

(Contract 011213)

# **Duurzaamheidsvaluatie van technologieën en modi in de transportsector in België (SUSATRANS)**

**Annex I: Eerste screening (Taak A)**

**Verbeiren S., De Vlioger I. en Pelkmans L.**

**Studie gefinancierd door Federaal Wetenschapsbeleid  
PODO II - Deel 1 – Duurzame productie en consumptiepatronen**

**2003/IMS/R/086**



**VITO**

**Mei 2003**



# INHOUDSTABEL

<b>0</b>	<b>MANAGEMENTSSAMENVATTING</b> .....	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>SITUERING</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>METHODOLOGIE</b> .....	<b>4</b>
2.1	INVENTARISATIE VAN TECHNOLOGIEËN .....	4
2.2	DUURZAAMHEIDFICHE .....	4
2.3	SELECTIE VAN TECHNOLOGIEËN.....	6
<b>3</b>	<b>TECHNOLOGIEBESCHRIJVING</b> .....	<b>7</b>
3.1	BRANDSTOFFEN .....	7
3.2	VOERTUIGTECHNOLOGIE.....	9
3.2.1	<i>Dieselmotor</i> .....	9
3.2.2	<i>Vonkontstekingsmotor</i> .....	10
3.2.3	<i>Hybride drijflijn</i> .....	11
3.2.4	<i>Zuiver elektrisch</i> .....	12
3.2.5	<i>Brandstofcel</i> .....	13
<b>4</b>	<b>RESPONDENTEN</b> .....	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>CRITERIA</b> .....	<b>15</b>
5.1	OMSCHRIJVING .....	15
5.2	INVULLING VOOR TECHNOLOGIEËN .....	16
5.3	BELANGRIJKHEID VAN CRITERIA .....	23
<b>6</b>	<b>RANGSCHIKKING ALTERNATIEVEN</b> .....	<b>24</b>
6.1	SCENARIO 1: ARGUS BASISSCENARIO.....	24
6.1.1	<i>Brandstoftechnologieën voor personenwagens</i> .....	27
6.1.2	<i>Brandstoftechnologieën voor vrachtwagens</i> .....	28
6.2	SENSITIVITEITSANALYSE .....	29
<b>7</b>	<b>SELECTIE TECHNOLOGIEËN VOOR DETAILEVALUATIE</b> .....	<b>30</b>
7.1	PERSONENWAGENS .....	30
7.2	VRACHTWAGENS .....	31
<b>8</b>	<b>BESLUITEN</b> .....	<b>33</b>
	<b>LIJST MET AFKORTINGEN</b> .....	<b>35</b>

## REFERENTIES

BIJLAGE A: TECHNOLOGIE DATABASE

BIJLAGE B: PROCES VAN OPBOUW VAN DE DUURZAAMHEIDFICHE

BIJLAGE C: AANNAMES VOOR DE 1<sup>E</sup> SCREENING IVM BRANDSTOFPRODUCTIE

BIJLAGE D: RESULTATEN VAN DE VERSCHILLENDE SCENARIO'S

BIJLAGE E: VOORSELECTIE OP BASIS VAN ARGUS-OEFENING

## **VERSPREIDINGSLIJST**

### **VITO:**

E. Cornelis  
I. De Vlieger  
L. Pelkmans  
S. Verbeiren

### **SECENE (2 exemplaren)**

### **DWTC + gebruikersgroep:**

Mevr. N. da Silva  
De heer D. Cosaert  
Mevr. L. Goorden  
De heer J. Knockaert  
De heer W. Bontinck  
Mevr. M. Govaerts  
De heer M. Peelman  
De heer J. Van Mierlo  
Mevr. T. Van Mierlo  
De heer H. de Beer de Laer  
Mevr. H. Van Dongen  
Mevr. C. De Bosscher

## 0 MANAGEMENTSSAMENVATTING

In het kader van het Federale onderzoeksprogramma ‘Duurzame productie- en consumptiepatronen’ loopt op Vito binnen het expertisecentrum Integrale Milieustudies het project ‘Duurzaamheidsvaluatie van technologieën en modi in de transportsector’. Dit project heeft tot doel een geïntegreerde evaluatie te maken van beleidsmaatregelen met het oog op een succesvolle introductie van nieuwe technologieën in de transportsector enerzijds, en een verschuiving in modi anderzijds en dit ter bevordering van duurzame mobiliteit.

Het voorliggende rapport kadert in de eerste taak van deze studie en geeft de methodologie en resultaten weer van een eerste voorlopige duurzaamheidsvaluatie. De duurzaamheidsvaluatie zelf werd opgesplitst in twee delen, een eerste screening en een meer gedetailleerde duurzaamheidsvaluatie, omwille van het feit dat de uitvoering van de gedetailleerde evaluatie onmogelijk bleek voor het grote aantal geïdentificeerde technologieën in de beschikbare tijdspanne en budget.

Door middel van 7 criteria (continuïteit van de energievoorziening, afhankelijkheid van fossiele brandstoffen, de meerkost van de brandstof/technologie, het potentieel van de brandstof, de energie-efficiënte, de broeikasgasemissies en deeltjesemissies) werden de technologieën voor wegverkeer een eerste keer ruw gescreend op hun duurzaamheid. Dit gebeurde door middel van een multicriteria methode, ARGUS. In het proces werden zowel experts binnen Vito geconsulteerd als de gebruikersgroep. In totaal werden 13 besluitnemers geconsulteerd. Uit de resultaten van het basisscenario werd een eerste selectie van een 16-tal technologieën voor personenvervoer en een 12-tal voor vrachtvervoer bekomen. Deze diende echter nog teruggebracht te worden in aantal. Deze eerste selectie van technologische opties, werd voorgelegd aan een expertenpanel inzake voertuigtechnologieën ten einde een gefundeerde reductie van het aantal opties te verkrijgen. Het panel bracht het aantal technologieën per modus terug tot een werkbaar aantal (13 voor personenvervoer en 6 voor vrachtvervoer) om een volledige duurzaamheidsvaluatie op los te laten (zie Tabel 1 en Tabel 2).

Het opzetten van een dergelijke oefening blijkt nog maar eens niet eenvoudig te zijn en vergt veel inspanning van de organisator. Het moeilijkste in dergelijke oefeningen is en blijft het engageren van de actoren. Niet alleen in de gebruikersgroep was er een lage opkomst, het bijeenzoeken van voldoende experts binnen Vito zelf heeft ook de nodige aandacht opgeëist.

De geselecteerde technologieën zullen in een volgende fase onderworpen worden aan een zeer gedetailleerde duurzaamheidsvaluatie, waaruit dan zal blijken welke technologie het best aan de eisen van duurzame ontwikkeling tegemoet komt. De evaluatie van deze technologieën zal evenals in de eerste screening gebeuren aan de hand van een ARGUS-oefening enerzijds door de mensen die meededen aan de eerste screening en anderzijds door laatstejaarsstudenten aan de Universiteit Antwerpen.

*Tabel 1: Selectie technologieën voor personenwagens*

<b>BRANDSTOF</b>	<b>TECHNOLOGIE</b>
<b>Conventionele technologische opties</b>	
Benzine	Indirecte injectie
Diesel	Directe injectie
LPG	Indirecte injectie
<b>Alternatieve technologische opties</b>	
Aardgas	Hybride
Aardgas	Vonkontstekingsmotor
Benzine	Directe brandstofinjectie
Benzine	Hybride met indirecte brandstofinjectie
5% biodiesel	Dieselmotor
Elektriciteit van het net	Batterij en elektromotor
H <sub>2</sub> uit aardgas	Brandstofcel
H <sub>2</sub> uit aardgas	Hybride
H <sub>2</sub> uit aardgas	Vonkontstekingsmotor
H <sub>2</sub> uit biomassa	Brandstofcel

*Tabel 2: Selectie technologieën voor vrachtwagens*

<b>BRANDSTOF</b>	<b>TECHNOLOGIE</b>
<b>Conventionele technologie</b>	
Diesel	Directe injectie
<b>Alternatieve technologische opties (distributievoertuigen stad tot 7,5 ton)</b>	
Aardgas	Vonkontstekingsmotor
Elektriciteit van het net	Batterij en elektromotor
H <sub>2</sub> uit aardgas	Brandstofcel
<b>Alternatieve technologische opties (zwaar vervoer)</b>	
5% biodiesel	Dieselmotor
Synthetische diesel uit biomassa	Dieselmotor

## 1 SITUERING

In het kader van het Federale programma 'Duurzame productie- en consumptiepatronen' loopt binnen het expertisecentrum Integrale Milieustudies (IMS) het project 'Duurzaamheidsvaluatie van technologieën en modi voor de transportsector in België'. Dit project heeft tot doel een geïntegreerde evaluatie te maken van beleidsmaatregelen met het oog op een succesvolle introductie van nieuwe technologieën in de transportsector enerzijds, en een verschuiving in modi anderzijds en dit ter bevordering van duurzame mobiliteit.

Per modus worden de verschillende nieuwe technologieën onderworpen aan een duurzaamheidsvaluatie om te komen tot een selectie van duurzame technologieën. Voor de eigenlijke penetratie van meer duurzame technologieën en modi worden beleidsmaatregelen voorgesteld en geëvalueerd op de kost voor de verschillende betrokkenen (gebruikers, technologieontwikkelaars, regulatoren) en de milieu-impact voor België. Ook worden een aantal Technology Assessment case studies uitgevoerd. Op basis van de resultaten van deze multidisciplinaire studie worden adviezen geformuleerd voor de verdere invulling van een duurzaam (mobiliteit)beleid.

In een eerste fase van het project worden de technologieën per modus geëvalueerd op hun duurzaamheid. Voor het wegvervoer wordt een selectie gemaakt aan de hand van een multicriteria analyse. De technologiekeuze voor de andere modi zal gebeuren op basis van de bevindingen voor wegverkeer, aangevuld met specifieke technologieën per modus.

Onderhavig rapport geeft de aanpak weer van de duurzaamheidsvaluatie voor wegverkeer. Verder worden voor personenwagens en vrachtwagens technologieën geselecteerd die in de tweede fase worden onderworpen aan een uitgebreide duurzaamheidsvaluatie.

## 2 METHODOLOGIE

### 2.1 Inventarisatie van technologieën

Een eerste deeltaak binnen de duurzaamheidsvaluatie van technologieën was het inventariseren van technologieën. Voor de verschillende vervoersmodi (weg, spoor en binnenvaart) werd een exhaustieve lijst opgesteld van nieuwe technologieën. Voor wegtransport werd deze lijst meer in detail uitgewerkt. Naast type brandstof en aandrijving, werd tevens een korte beschrijving van de technologie gegevens evenals het innovatieniveau (zie Bijlage A). Voor spoor en binnenvaart worden afzonderlijke rapporten opgesteld waarin the stand van zaken van de mogelijke technologische opties wordt beschreven met waar mogelijk een indicatie van de kostprijs van de technologische opties.

### 2.2 Duurzaamheidsfiche

Binnen de tweede deeltaak werd een duurzaamheidsfiche opgesteld om de verschillende technologieën per modi te kunnen evalueren op hun duurzaamheid. De vier hoofdcriteria reflecteren sociale, economische, milieu en technologische aspecten van de technologieën. Na verschillende brainstorm- en werkvergaderingen werd een draft duurzaamheidsfiche voorgelegd aan de gebruikersgroep en twee externe experts. Waar mogelijk werden de opmerkingen en suggesties opgenomen in de finale fiche. Dit gebeurde niet indien de commentaar irrelevant was voor onze studie of aanpassing een studie op zich inhoud. Voor meer uitleg omtrent het opbouwproces van de uitgebreide duurzaamheidsfiche wordt verwezen naar Bijlage B. De uiteindelijke fiche bevat 40 criteria, zie Figuur 1. De uitstoot aan broeikasgasemissies wordt uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten en omvat de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O-emissies. Waar mogelijk wordt bij de VOS-uitstoot een onderscheid gemaakt tussen NMVOS en CH<sub>4</sub>. Zeker voor aardgas als motorbrandstof is dit belangrijk.

Gezien de lange lijst met technologieën, kan de uitgebreide fiche niet voor elke technologie worden ingevuld. Vandaar werd een beknopte fiche opgesteld die slechts zeven criteria bevat en voor elke technologie wordt ingevuld. De 7 criteria voor de eerste beperkte duurzaamheidscreening zijn:

1. continuïteit van de energievoorziening,
2. afhankelijkheid van fossiele brandstoffen,
3. meerkost van de brandstof - technologie,
4. beschikbaarheid van de brandstof,
5. energie-efficiëntie,
6. broeikasgasemissies tijdens de productie en het gebruik en
7. PM-emissies tijdens het gebruik.

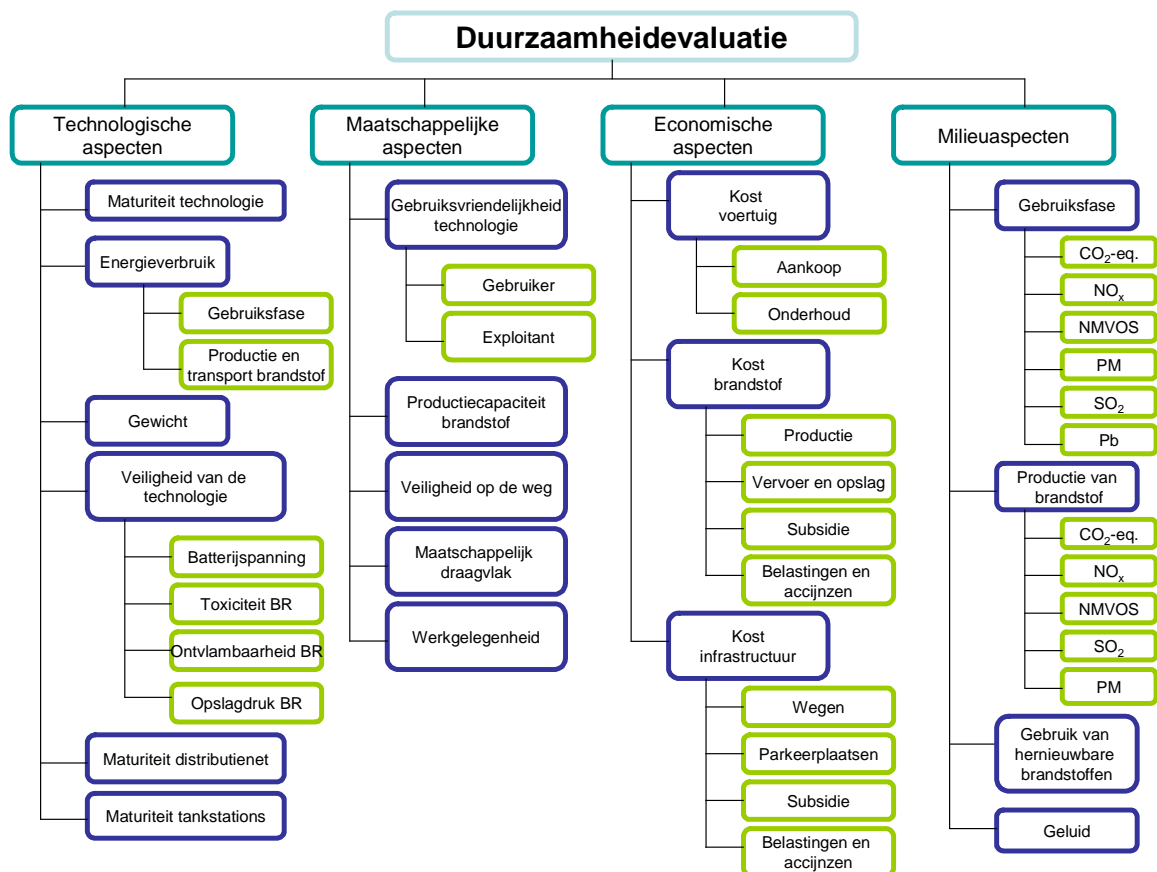
Deze criteria weerspiegelen enerzijds de Europese visie op deze problematiek, aangevuld met twee criteria waarvan uit eigen ervaring is gebleken dat deze belangrijk zijn (criteria 3 en 7). De technologieën die hier als beste naar voor komen, zullen in een tweede fase van de duurzaamheidsvaluatie meer in detail bekeken worden.



De alternatieven die binnen deze studie beschouwd worden, zijn een combinatie van een aandrijftechnologie en een brandstof. Er zullen dus geen merken vergeleken worden enkel typewagens. Dit heeft tot gevolg dat factoren<sup>1</sup> eigen aan een bepaald merk niet zullen worden meegenomen in deze evaluatie. Aangezien de eerste screening zich enkel toespitst op wegvervoer, worden hier enkel deze typevoertuigen gegeven (Tabel 3).

Tabel 3: eigenschappen van de typevoertuigen van het wegvervoer

	GROOTTE	REFERENTIEJAAR	BRANDSTOF	AANDRIJVING
Personenvervoer	middelgrote wagen (1400-2000cc)	2000	Diesel	Motor
Vrachtovervoer	< 7,5 ton (stadsdistributie)	2000		
	16 – 32 ton			



Figuur 1: Overzicht criteria voor de uitgebreide duurzaamheidsvaluatie.  
(BR = brandstof)

<sup>1</sup> Deze zaken zijn onder andere: kofferruimte, crashtest veiligheid, volume van de wagen en dergelijke.

## 2.3 Selectie van technologieën

De methode die gebruikt werd voor het rangschikken van de verschillende technologische opties is ARGUS (Achieving Respect for Grades Using ordinal Scales only). Deze methode werd reeds uitvoerig besproken in het DWTC project 'Maatregelen in de transportsector voor de vermindering van CO<sub>2</sub> en troposferische ozon' [1]. Een beschrijving van de methode en wanneer deze best gebruikt wordt, wordt uitgelegd door De Keyser [2]. Het voordeel van deze methode is dat enerzijds kwalitatieve gegevens op een ordinale wijze kunnen verwerkt worden, anderzijds dat de deelnemers individueel werken en het dus niet vereist is dat alle besluitnemers op eenzelfde tijdstip en plaats aanwezig moeten zijn.

Gezien onze ervaringen in het vorige project [1] dat uitgevoerd werd voor de DWTC en onze ervaring bij deze eerste screening is dit wel een belangrijk aspect.

In wat volgt wordt eerst een korte beschrijving gegeven van de technologische opties die meegenomen worden in de studie. Vervolgens wordt meer in detail ingegaan op de respondenten die betrokken waren bij de eerste screening, evenals de definitie, waarden en belangrijkheid van de 7 criteria. Verder wordt de rangschikking van de verschillende technologieën besproken. Tot slot wordt voor personenwagens en vrachtwagens een selectie gemaakt van brandstoftechnologieën die aan een uitgebreide duurzaamheidsvaluatie zullen onderworpen worden.

## 3 TECHNOLOGIEBESCHRIJVING

### 3.1 Brandstoffen

Hierna worden in het kort de brandstoffen beschreven die bij de eerste screening in beschouwing werden genomen.

De meeste alternatieve brandstoffen kunnen uit verschillende grondstoffen geproduceerd worden. Deze mogelijkheden kunnen echter niet alle meegenomen worden in deze studie. In eerste instantie wordt als grondstof de meest economische gekozen (onderstreept). Enkel voor waterstof en elektriciteit worden verschillende bronnen in overweging genomen.

#### 1. **Fossiele diesel:**

- Raffinage uit aardolie.
- Er wordt uitgegaan van een laag zwavelgehalte (<10ppm).
- Geschikt als brandstof voor dieselmotoren.

#### 2. **Fossiele benzine:**

- Raffinage uit aardolie.
- Er wordt uitgegaan van een laag zwavelgehalte (<10ppm).
- Geschikt als brandstof voor vonkontstekingsmotoren.
- Het is tevens mogelijk via een on-board reformer de benzine om te zetten in waterstof en deze in een brandstofcel te gebruiken.

#### 3. **LPG:**

- Bijproduct uit het raffinageproces van aardolie, tevens bijproduct van aardgasontginning.
- Opslag in het voertuig in vloeibare vorm bij een beperkte overdruk (8-10 bar).
- Geschikt als brandstof voor vonkontstekingsmotoren.

#### 4. **Aardgas:**

- Uit aardgasontginning.
- Opslag in het voertuig als gas (CNG) onder hoge druk (tot 200bar) of onder vloeibare vorm (LNG) bij zeer lage temperatuur (typisch -140°C / 3bar). In deze studie wordt enkel CNG meegenomen.
- Geschikt als brandstof voor vonkontstekingsmotoren.

#### 5. **Biogas:**

- Fermentatie van organisch afval + verwijderen van CO<sub>2</sub>.
- Opslag in het voertuig zoals aardgas.
- Geschikt als brandstof voor vonkontstekingsmotoren.

#### 6. **Biodiesel:**

- Veresterde koolzaadolie (RME). Eventueel ook uit andere oliehoudende planten of gerecycleerde gebruikte frituurolie.
- Geschikt als brandstof voor dieselmotoren.
- Menging met fossiele diesel mogelijk.

#### 7. **Ethanol:**

- Uit suikerhoudende gewassen (bv. suikerbiet) via fermentatie, distillatie en dehydratatie, eventueel ook uit zetmeelhoudende gewassen (bv. tarwe) of houtachtige materialen (bv. populier).

- Kan ook geproduceerd worden via hydrolyse van etheen ( $C_2H_4$ ), dat verkregen wordt uit aardgas of als bijproduct van aardolieraffinage. Dit wordt hier echter niet beschouwd.
- Geschikt als brandstof voor vonkontstekingsmotoren.
- Menging met fossiele benzine mogelijk (bv. E10, E85).
- Het is eventueel ook mogelijk (maar wordt weinig toegepast) om via een on-board reformer de ethanol om te zetten in waterstof en deze in een brandstofcel te gebruiken.

#### 8. **Methanol:**

- Synthese uit synthese gas ( $CO + H_2$ ), dat kan verkregen worden uit aardgas (via stoomreforming), steenkool of biomassa/hout (via partiële oxidatie / vergassing).
- geschikt als brandstof voor vonkontstekingsmotoren.
- Menging met fossiele benzine mogelijk (bv. M85).
- Het is tevens mogelijk via een on-board reformer de benzine om te zetten in waterstof en deze in een brandstofcel te gebruiken. Er wordt ook onderzoek verricht naar de toepassing van DMFC (Direct Methanol Fuel Cells), maar dit wordt hier verder niet meegenomen.

#### 9. **DME** (di-methyl ether):

- Dehydrogenatie van methanol (zie aanmaak methanol, uit aardgas, steenkool of biomassa).
- Opslag in het voertuig in vloeibare vorm bij een beperkte overdruk (10 bar).
- geschikt als brandstof voor dieselmotoren.

#### 10. **Synthetische diesel:**

- Productie via het Fisher-Tropsch (FT) proces uit synthese gas (gemaakt uit aardgas, steenkool of biomassa).
- Synthetische diesel heeft een hogere zuiverheid dan fossiele diesel en vrijwel geen zwavel.
- Geschikt als brandstof voor dieselmotoren.

#### 11. **Synthetische benzine** (naphta):

- Productie via het Fisher-Tropsch (FT) proces uit synthese gas (gemaakt uit aardgas, steenkool of biomassa).
- Synthetische benzine heeft een hogere zuiverheid dan fossiele benzine en vrijwel geen zwavel en aromaten.
- Geschikt als brandstof voor vonkontstekingsmotoren.
- Het is tevens mogelijk via een on-board reformer de synthetische benzine om te zetten in waterstof en deze in een brandstofcel te gebruiken (de zuiverheid van synthetische benzine is hierbij een groot voordeel).

#### 12. **Waterstof:**

- Productie via stoomreforming van aardgas (of biogas), partiële oxidatie (vergasning) van biomassa (of andere koolwaterstoffen), of via elektrolyse (uit het globale elektriciteitsnet, of via lokale elektriciteitsopwekking bv. met windmolens).
- Opslag in het voertuig als gas ( $CGH_2$ ) onder hoge druk (tot 350 of zelfs 700bar), of onder vloeibare vorm ( $LH_2$ ) bij extreem lage temperatuur (typisch  $-250^\circ C$ ). Stockage in metaalhydriden is tevens mogelijk. In deze studie wordt enkel  $CGH_2$  meegenomen.
- Geschikt als brandstof voor vonkontstekingsmotoren.
- Waterstof kan direct ingezet worden in een brandstofcel.

### 13. Elektriciteit:

- Batterijoplading met elektriciteit uit het globale elektriciteitsnet, of via lokale elektriciteitsopwekking bv. met windmolens.
- De manier van elektriciteitsopwekking (uit steenkool, aardgas, nucleair, ...) is belangrijk voor het globale plaatje van deze voertuigen. In deze studie wordt voor het globale elektriciteitsnet gewerkt met de Belgische elektriciteitsmix (inclusief nucleaire energie) van 2001. Ter indicatie: de gemiddelde CO<sub>2</sub> uitstoot voor elektriciteitsproductie in 2001 op Belgisch niveau bedroeg 290gCO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub>. Direct gerelateerd naar de fossiele energieopwekking (aardgas, steenkool, aardolie) is dit 680gCO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub> [Milieurapport Electrabel 2001].

## 3.2 Voertuigtechnologie

Bovenvernoemde brandstoffen worden ingezet in een bepaalde aandrijftechnologie. Volgende aandrijftechnologieën worden in overweging genomen:

- Dieselmotor
- Vonkontstekingsmotor (IDI of DI)
- Hybride drijflijn (elektromotor gecombineerd met dieselmotor of vonkontstekingsmotor)
- Zuiver elektrisch
- Brandstofcel (eventueel in combinatie met een brandstofreformer)

### 3.2.1 Dieselmotor

#### a. personenwagens

Voor de dieseltechnologie van personenwagens wordt uitgegaan van common rail directe injectie met elektronische aansturing via een motormanagement systeem, zoals bij de meeste automerken ook beschikbaar is (Euro 3).

Wat betreft emissiebehandeling wordt voorlopig enkel rekening gehouden met de aanwezigheid van een oxidatiekatalysator voor beperking van CO en HC (en in beperkte mate PM).

Er wordt nog geen rekening gehouden met roetfilters, DeNO<sub>x</sub> katalysatoren of NO<sub>x</sub>-adsorbers.

#### b. vrachtwagens

Voor de dieseltechnologie van vrachtwagens wordt uitgegaan van directe injectie door middel van pompinjectoren (pump units), die elektronisch aangestuurd worden via een motormanagement systeem. Ook dit is bij de meeste fabrikanten van HD motoren beschikbaar in de Euro 3 versies.

Er wordt voor de referentietoestand in 2000 geen rekening gehouden met emissiebehandeling zoals oxidatiekatalysatoren, roetfilters (CRT) of DeNO<sub>x</sub> katalysatoren (SCR). Het is de bedoeling om nabehandelingstechnieken te integreren in het

referentiescenario (tijdshorizon 2020), maar enkel voor nieuwe voertuigen. Het staat nog niet vast of bij de beleidsopties retrofit van bestaande voertuigen zal geëvalueerd worden binnen deze studie. Er kan verwezen worden naar bevindingen van recente of nog lopende studies.

### 3.2.2 Vonkontstekingsmotor

#### a. personenwagens

Voor de vonkontstekingsmotor (op benzine, LPG, aardgas, ethanol of methanol) wordt standaard uitgegaan van indirecte injectie (IDI), met multi-point injectie, elektronisch aangestuurd via een motormanagement systeem.

Wat betreft emissiebehandeling wordt uitgegaan van stoechiometrische ( $\lambda=1$ ) brandstofcontrole en een drie-weg katalysator.

Voor benzinemotoren wordt ook de optie van directe injectie (GDI) meegenomen, die al door enkele merken wordt toegepast. De brandstofinjectie wordt ook hier aangestuurd via een motormanagement systeem. Verscheidene controlestrategieën zijn mogelijk, variërend tussen stoechiometrische ( $\lambda=1$ ) controle en lean burn controle. In het geval van stoechiometrische controle kan nog steeds een drie-weg katalysator gebruikt worden; in het geval van lean burn controle zal de inzet van DeNO<sub>x</sub> verlagende nabehandelingssystemen nodig zijn (wat ook een laag zwavelgehalte van de brandstof impliceert). Via lean burn controle is de grootste winst in brandstofverbruik mogelijk. Een courante strategie is  $\lambda=1$  controle bij vollast en lean burn controle bij deellast (met tijdelijke NO<sub>x</sub> adsorptie). GDI technologie met deze strategie wordt in deze studie meegenomen.

Voor vonkontstekingsmotoren op waterstof wordt de BMW technologie voor waterstofmotoren als maatstaf genomen, waarbij een lean burn controle toegepast wordt (met indirecte injectie), en niet gewerkt wordt met emissiebehandeling.

#### b. vrachtwagens

Voor heavy-duty vonkontstekingsmotoren worden benzine, LPG, aardgas en waterstof in aanmerking genomen.

Voor benzine en LPG wordt uitgegaan van de stoechiometrische ( $\lambda=1$ ) technologie, met indirecte injectie (multipoint), aangevuld met drie-weg katalysator.

De toepassing van aardgasmotoren in heavy-duty situeert zich vooral in stadsverkeer (stadsbussen, vuilniswagens, ...). Twee controlestrategieën voor de brandstofregeling zijn mogelijk: lean burn en stoechiometrisch. Over het algemeen worden met de stoechiometrische regeling de laagste emissies bereikt (door de aanwezigheid van de 3-weg katalysator), terwijl bij de lean burn regeling het brandstofverbruik dan weer lager ligt.

Lean burn CNG wordt iets meer toegepast, en dan vooral in de VS.

Voor heavy-duty aardgasmotoren wordt in de eerste screening de lean burn technologie meegenomen (met multi-point injectie en oxidatiekatalysator).

Voor waterstofmotoren wordt (zoals bij light-duty) uitgegaan van de BMW technologie.

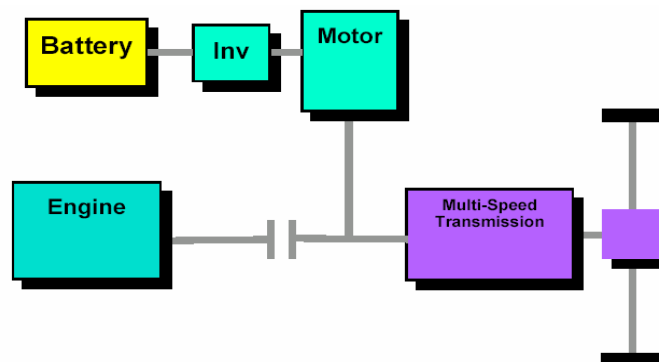
### 3.2.3 Hybride drijflijn

Hybride systemen zijn er in verschillende uitvoeringen (parallel, serieel of combinaties), met verschillende mogelijke controlestrategieën.

#### a. personenwagens

Voor hybride personenwagens wordt in deze studie uitgegaan van een parallelhybride drijflijn (zie Figuur 2), met geavanceerde elektromotor (permanent magneet), die dienst doet als power assist (integrated starter-alternator), en NiMH batterijen. Typevoorbeeld is de huidige Honda Civic Hybrid, modeljaar 2003 (beschikbaar in Japan en VS).

Het piekvermogen van de elektromotor is typisch 10 tot 20kW, terwijl de verbrandingsmotor een maximum vermogen heeft van ongeveer 50kW. De batterij heeft een typische capaciteit van 1 kWh (bv. Honda Insight & Honda Civic Hybrid: 6.5 Ah @ 144V).



*Figuur 2: Parallelhybride configuratie [3]*

De controle strategie is “charge sustaining”, d.w.z. dat de batterijen niet extern (= vanuit het elektriciteitsnet) worden bijgeladen.

Verdere aspecten van de controlestrategie:

- De verbrandingsmotor wordt afgeschakeld bij stilstand.
- De batterij neemt de opstart (“launch”) van het voertuig voor zijn rekening tot ongeveer 20 à 30 km/h, tenzij een hogere acceleratie gevraagd wordt of de ladingstoestand van de batterij te laag wordt.
- Bij sterke acceleratie assisteert de batterij de verbrandingsmotor.
- De batterij wordt (afhankelijk van zijn ladingstoestand) bijgeladen door de verbrandingsmotor bij cruising (constante snelheid), en door remenergierecuperatie tijdens het remmen.

Deze strategie wordt onafhankelijk geacht van de technologie van de verbrandingsmotor (diesel, benzine, aardgas, LPG, waterstof, ...).

#### b. vrachtwagens

De hybride technologie bij vrachtwagens (en bussen) ligt iets anders dan bij personenwagens.

Voor lange-afstandsvervoer is hybridisatie (zeker serieel) minder interessant, gezien de motor een groot deel van de tijd al op vollast (en hoog rendement) draait. Enkel een lichte hybridisatie (met starter-generator) kan hier interessant zijn.

De belangrijkste toepassing van hybride systemen in heavy duty ligt echter in stadsverkeer (stadsbussen, stadsdistributievrachtwagens). In de centra zelf wordt vaak vooropgesteld dat lokaal zonder emissies (= zuiver elektrisch) moet kunnen gereden worden. Daarom wordt voor heavy-duty meestal de voorkeur gegeven aan serieel hybride systemen, waarbij de verbrandingsmotor tijdelijk volledig kan uitgeschakeld worden. Deze technologie wordt in de eerste screening meegenomen.

Er wordt dus uitgegaan van een serieel hybride drijflijnconfiguratie, waarbij de verbrandingsmotor via een elektrische generator gekoppeld is aan een batterij. De aandrijving van de wielen wordt verzorgd door één of twee geavanceerde elektromotoren (permanent magneet), die via een inverter door de batterij gevoed worden.

De verbrandingsmotor en de combinatie van elektromotoren zijn ongeveer op hetzelfde piekvermogen gedimensioneerd (~150kW). Het batterijpakket bestaat uit geavanceerde lood-zuur batterijen, en is gedimensioneerd om ongeveer 20 à 30km zuiver elektrisch te kunnen rijden (startend met volle batterij), met een typische capaciteit van 60kWh.

De controle strategie die hier verondersteld wordt is “charge sustaining”, d.w.z. dat de batterijen niet extern (= vanuit het elektriciteitsnet) worden bijgeladen. Eventueel kan een gedeeltelijke bijlading vanuit het net in een latere fase van de studie (detailuitwerking) wel meegenomen worden.

Verdere aspecten van de controlestrategie:

Er kunnen via een schakelaar twee modes ingesteld worden: zuiver elektrische mode en hybride mode. In zuiver elektrische mode kan op bepaalde plaatsen (typisch in stadscentra) zonder emissies gereden worden. In hybride mode wordt de verbrandingsmotor aangeschakeld zodra de ladingstoestand van de batterij (SOC) beneden een bepaald niveau daalt (bv. 40%) en wordt terug afgeschakeld als de SOC boven een bepaald niveau uitkomt (bv. 80%). De verbrandingsmotor wordt bedreven in een optimaal werkingsgebied.

Deze strategie wordt onafhankelijk geacht van de technologie van de verbrandingsmotor (diesel, benzine, aardgas, LPG, waterstof, ...).

### **3.2.4 Zuiver elektrisch**

Zuiver elektrische of batterij elektrische voertuigen (BEV) trekken hun energie uit batterijen, die (meestal 's nachts) via het elektriciteitsnet bijgeladen worden. Ook hier gaat het eerder om stadsvoertuigen.

De meest toegepaste batterijtypes tot nu toe zijn lood-zuur, nikkel-cadmium en nikkel-metaalhydride. De capaciteit van de batterijen is bepalend voor de autonomie van het voertuig.

Typische autonomie voor personenwagens is tussen 100 en 200km. Dit vraagt al wel een batterijpakket van ongeveer 500kg.

Voor elektrische bussen of vrachtwagens ligt de typische autonomie tussen 30 en 50km. Om het bereik op dagbasis te verhogen, kan bijgeladen worden via snelladers.



### 3.2.5 Brandstofcel

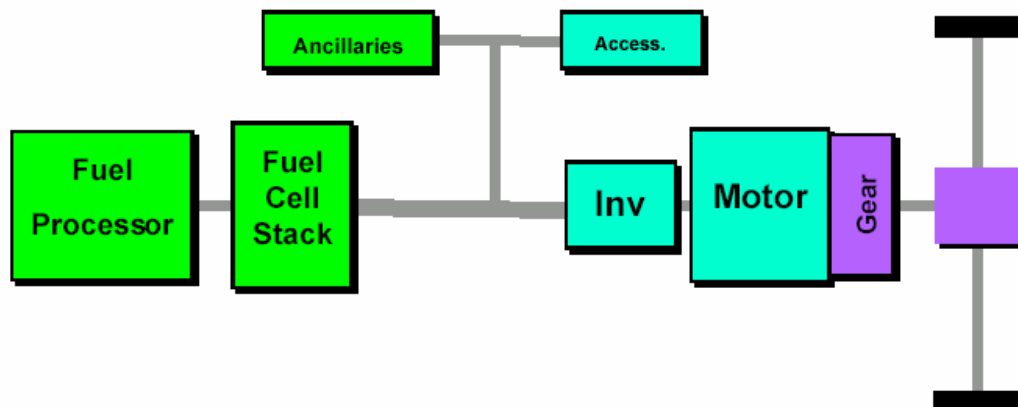
De meeste brandstofcelvoertuigen op dit moment zijn conceptvoertuigen of testvoertuigen. Recent zijn wel enkele demonstratieprojecten gestart om de technologie in reële toepassingen te kunnen evalueren.

Er zijn verschillende types brandstofcellen, gecatalogeerd naargelang het gebruikte elektrolyet en het temperatuursgebied waarin de brandstofcel werkt. Voor wegverkeer is het vooral de PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell), met een werkingstemperatuur rond 80°C, die in overweging genomen wordt.

De PEMFC gebruikt waterstof (met hoge zuiverheid) om in combinatie met zuurstof elektrische stroom te genereren. Deze waterstof kan aan boord opgeslagen zijn, of ook aangemaakt worden uit een andere brandstof via een on-board reformer (of fuel processor).

Voor personenwagens wordt in deze studie een typische configuratie genomen, gebaseerd op voorbeelden zoals de NECAR 5 van DaimlerChrysler (gebaseerd op Mercedes A), en de HydroGen 3 van General Motors (gebaseerd op Opel Zafira). Deze hebben een brandstofcel met piekvermogen rond 75kW, en voor de aandrijving van de wielen een geavanceerde elektromotor met hetzelfde vermogen. Er is een batterij van beperkte omvang voorzien voor een aantal stroomvoorzieningen (vooral voor als de brandstofcel afgeschakeld wordt) en remenergierecuperatie.

Voor zwaar vervoer zijn er veel minder prototypes voor handen. Vooral DaimlerChrysler is hier actief voor stadsbussen op brandstofcellen (zie EC demonstratieproject 'CUTE' in 9 Europese steden).



*Figuur 3: Configuratie van een brandstofceldrijlijn [3]*

Als brandstoffen worden waterstof, maar ook benzine (fossiel en synthetisch), methanol, ethanol en aardgas (enkel voor zwaar vervoer) beschouwd.

## 4 RESPONDENTEN

Omdat het hier om technologieën (technologische opties=TO) gaat en niet om beleidsopties werden vooral onderzoekers in verschillende disciplines van onderzoek rond transport gecontacteerd en niet zozeer beleidsmensen.

Ondanks de oproep naar verscheidene onderzoekers dat dit een belangrijk project is en de eerste screening hierin een cruciale rol speelt, blijkt toch maar weer eens hoe moeilijk het is om mensen te motiveren om aan een dergelijke oefening deel te nemen. Van de 23 onderzoekers die gecontacteerd werden binnen Vito hebben een 8-tal mensen deelgenomen aan de oefening. De oefening werd ook toegepast binnen het gebruikersgroep<sup>2</sup> van het project waar welgeteld 5 mensen aan deelnamen (inclusief de onderzoeker aan de KUL die meewerkt aan het project). De respondenten voor de eerste screening werden enerzijds gerekruteerd uit de Werkgroep Verkeer van Vito en het begeleidingscomité van het project. In totaal hebben 13 respondenten de oefening gemaakt.

### Gebruikersgroep:

T. Van Mierlo	Aminal
L. Wittevrongel	NMBS
D. Cosaert	viWTA
H. Van Dongen	DWTC

### Onderzoekers:

I. De Vlieger	Vito
J. Knockaert	CES-KUL
L. Pelkmans	Vito
L. Int Panis	Vito
E. Cornelis	Vito
H. Van Rompaey	Vito
G. Wouters	Vito
L. Govaerts	Vito
S. Verbeiren	Vito

---

<sup>2</sup> De gebruikersgroep bestaat uit 11 leden in totaal.

## 5 CRITERIA

### 5.1 Omschrijving

De eerste screening gebeurt aan de hand van 7 criteria die enerzijds de Europese visie<sup>3</sup> weergeven op deze problematiek, aangevuld met een criterium uit eigen ervaring dat belangrijk is, namelijk PM-emissies (volksgezondheid) en de meerkost. Er werd eveneens op gelet dat zowel technische, sociale, economische als milieucriteria werden meegenomen in deze eerste screening. Tabel 4 zet de zeven criteria op een rijtje.

*Tabel 4: Overzicht van de criteria voor de eerste screening*

NR	CRITERIUM	OMSCHRIJVING	EENHEID/ WAARDE	DOMEIN
1	Continuïteit van de energievoorziening	Hier wordt gemeten hoe we in de toekomst in een bepaalde brandstof kunnen blijven voorzien.	Hernieuwbare voorraad Voorraad $\geq$ 100 jaar Voorraad $\geq$ 50 jaar, maar $<$ 100 jaar Voorraad $<$ 50 jaar	Maatschappelijk – economisch (toekomst)
2	Afhankelijkheid van niet-hernieuwbare grondstoffen	Hier meten we hoeveel % van de brandstof afkomstig is van niet-hernieuwbare grondstoffen.	%	Milieu (toekomst)
3	Potentieel van de brandstof	De beschikbaarheid van de brandstof, m.a.w. in hoeverre kan deze brandstof voldoen aan de huidige jaarlijkse brandstofvraag.	Klein Matig Groot	Maatschappelijk - economisch
4	Meerkost van de brandstoftechnologie	Dit criterium geeft weer hoeveel de productie van de beschouwde brandstof en technologie duurder is dan een dieselveertuig. (op middellange termijn, ca. 2010)	Zeer hoog Hoog Matig Beperkt Vergelijkbaar	Economie
5	Energie-efficiëntie (well – to – wheel; bron tot wiel)	Dit criterium meet hoeveel energie er effectief gebruikt wordt voor het voortbewegen van het voertuig (van de bron tot aan het wiel).	MJ/km	Technologie
6	Broeikasgasemissies tijdens de productie- en gebruiksfase	Dit criterium geeft aan hoeveel broeikasgasemissies er tijdens de gehele levensfase (buiten de afvalbehandeling) van het voertuig geproduceerd worden.	CO <sub>2</sub> -equivalenten/km	Milieu (globaal)
7	PM-emissies in de gebruiksfase	Dit criterium geeft de massa aan fijn stof weer die gerelateerd is aan de emissies van de technologie.	g/km	Milieu

<sup>3</sup> Com(2001) 547 def. Mededeling van de Commissie aan het Europees Parlement, de Raad, Het economisch en sociaal comité en het comité van de regio's over alternatieve brandstoffen voor het wegvervoer en een pakket maatregelen ter bevordering van het gebruik van biobrandstoffen.

## 5.2 Invulling voor technologieën

De eerste screening werd enkel uitgevoerd voor de technologieën gerelateerd aan wegtransport, meer bepaald personen- en vrachtvervoer. Voor deze twee modi werden immers een 40-tal technologieën voor elk geïdentificeerd. Voor de andere modi (tweewielers, spoor en binnenvaart), waarvoor er minder informatie beschikbaar is, worden de bevindingen voor personenwagens en vrachtwagens als basis gebruikt. Deze worden evenwel aangevuld met specifieke technologieën per modus. De keuze en beschrijving van deze technologieën worden in afzonderlijk rapport beschreven.

De gegevens voor personenwagens voor de eerste screening zijn voor het grootste deel (type, verbruik en CO<sub>2</sub>) afkomstig uit [3]. Voor PM uitstoot zijn cijfers genomen uit [4]. Een typische middenklasser met cilinderinhoud tussen 1400 en 2000 cc, met manuele transmissie (5 versnellingen) wordt als referentie genomen.

Verbruiks- en emissiecijfers zijn gebaseerd op de Europese homologatiecyclus (EDC).

De gegevens voor vrachtwagens voor de eerste screening zijn grotendeels gebaseerd op [5]. Hier wordt gewerkt met een gemiddeld energieverbruik voor vrachtvervoer (dieselvrachtwagens) van 1,2MJ(fuel)/ton.km, gerekend in termen van belading. Emissies worden in deze studie ook gerelateerd naar het gemiddeld energieverbruik.

De gemiddelde belading wordt op 10 ton verondersteld.

Tabel 5 geeft de scores weer van de verschillende geïdentificeerde technologieën volgens de criteria voor het personenvervoer, Tabel 6 geeft deze weer voor het vrachtvervoer. De technologieaannames zijn vermeld in vorig hoofdstuk; de aannames voor de brandstofketen zijn terug te vinden in Bijlage C.

Tabel 5: Gegevens voor het personenvervoer

BRANDSTOF	AANDRIJVING	CONTINUÏTEIT	AFHANKELIJKHEID	POTENTIEEL	MEERKOST	PRIMAIR ENERGIE- VERBRUIK (MJ/KM)	PM-EMISSIES (MOTOR) TIJDENS GEBRUIK (G/KM)	BROEIKASGAS- EMISSIES (G/KM)
Diesel	Dieselmotor	< 50 jaar	100	groot	vergelijkbaar	2,20	0,04	166
Diesel	Hybride	< 50 jaar	100	groot	beperkt	1,85	0,02	140
Diesel + 5% biodiesel	Dieselmotor	< 50 jaar	95	groot	vergelijkbaar	2,25	0,04	161
Diesel + 5% biodiesel	Hybride	< 50 jaar	95	groot	beperkt	1,90	0,02	136
Biodiesel	Dieselmotor	Hernieuwbaar	0	klein	beperkt	3,33	0,02	59
Biodiesel	Hybride	Hernieuwbaar	0	klein	matig	2,81	0,01	50
Synthetische diesel uit aardgas	Dieselmotor	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	beperkt	3,41	0,02	198
Synthetische diesel uit aardgas	Hybride	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	matig	2,87	0,01	167
Benzine	Vonkontstekings- motor IDI	< 50 jaar	100	groot	vergelijkbaar	2,83	0,0005	217
Benzine	Hybride, IDI	< 50 jaar	100	groot	beperkt	2,06	0,0005	159
Benzine	Vonkontstekings- motor, DI	< 50 jaar	100	groot	vergelijkbaar	2,42	0,001	187
Benzine	Hybride, DI	< 50 jaar	100	groot	beperkt	1,91	0,001	148
Benzine	Brandstofcel + EM	< 50 jaar	100	groot	hoog	2,05	0	157
LPG	Vonkontstekings- motor	< 50 jaar	100	matig	vergelijkbaar	2,73	0,0005	189

BRANDSTOF	AANDRIJVING	CONTINUÏTEIT	AFHANKELIJKHEID	POTENTIEEL	MEERKOST	PRIMAIR ENERGIE- VERBRUIK (MJ/KM)	PM-EISSIES (MOTOR) TIJDENS GEBRUIK (G/KM)	BROEIKASGAS- EMISSIES (G/KM)
LPG	Hybride	< 50 jaar	100	matig	matig	1,99	0,0005	139
Aardgas	Vonkontstekings- motor	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	beperkt	2,68	0,0005	162
Aardgas	Hybride	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	matig	2,06	0,0005	126
Biogas	Vonkontstekings- motor	Hernieuwbaar	0	klein	beperkt	3,30	0,0005	23
Biogas	Hybride	Hernieuwbaar	0	klein	matig	2,55	0,0005	19
Waterstof uit aardgas	Vonkontstekings- motor	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	matig	3,19	0	182
Waterstof uit aardgas	Hybride	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	hoog	2,34	0	134
Waterstof uit aardgas	Brandstofcel + EM	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	hoog	1,79	0	100
Waterstof uit elektrolyse (net)	Vonkontstekings- motor	>= 100 jaar	95	groot	hoog	9,32	0	263
Waterstof uit elektrolyse (net)	Hybride	>= 100 jaar	95	groot	hoog	6,84	0	194
Waterstof uit elektrolyse (net)	Brandstofcel + EM	>= 100 jaar	95	groot	zeer hoog	5,46	0	152
Waterstof uit elektrolyse (lokaal windmolenpark)	Vonkontstekingsmot or	Hernieuwbaar	0	klein	zeer hoog	3,35	0	3
Waterstof uit elektrolyse (lokaal windmolenpark)	Hybride	Hernieuwbaar	0	klein	zeer hoog	2,46	0	3
Waterstof uit elektrolyse (lokaal windmolenpark)	Brandstofcel + EM	Hernieuwbaar	0	klein	zeer hoog	1,88	0	0
Waterstof uit biomassa	Vonkontstekings- motor	Hernieuwbaar	0	matig	hoog	3,84	0	46

BRANDSTOF	AANDRIJVING	CONTINUÏTEIT	AFHANKELIJKHEID	POTENTIEEL	MEERKOST	PRIMAIR ENERGIE- VERBRUIK (MJ/KM)	PM-EMISSIES (MOTOR) TIJDENS GEBRUIK (G/KM)	BROEIKASGAS- EMISSIES (G/KM)
Waterstof uit biomassa	Hybride	Hernieuwbaar	0	matig	hoog	2,82	0	35
Waterstof uit biomassa	Brandstofcel + EM	Hernieuwbaar	0	matig	zeer hoog	2,15	0	24
Bio-Ethanol	Vonkontstekings- motor	Hernieuwbaar	0	klein	beperkt	6,22	0,0005	140
Bio-Ethanol	Hybride	Hernieuwbaar	0	klein	matig	4,54	0,0005	103
Bio-Ethanol	Brandstofcel + EM	Hernieuwbaar	0	klein	zeer hoog	4,28	0,0005	97
Methanol uit aardgas	Vonkontstekings- motor	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	beperkt	3,98	0,0005	231
Methanol uit aardgas	Hybride	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	matig	2,90	0,0005	170
Methanol uit aardgas	Brandstofcel + EM	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	hoog	2,64	0	153
Synthetische benzine uit aardgas	Vonkontstekings- motor	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	beperkt	4,27	0,0005	251
Synthetische benzine uit aardgas	Hybride	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	matig	3,12	0,0005	184
Synthetische benzine uit aardgas	Brandstofcel + EM	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	zeer hoog	3,10	0	183
Batterijen (net)	Elektromotor	>= 100 jaar	95	groot	matig	2,44	0	68
Batterijen (lokaal windmolenpark)	Elektromotor	Hernieuwbaar	0	klein	hoog	0,88	0	0

Tabel 6: Gegevens voor het vrachtvervoer

BRANDSTOF	AANDRIJVING	CONTINUÏTEIT	AFHANKELIJKHEID	POTENTIEEL	MEERKOST	PRIMAIR ENERGIE- VERBRUIK (MJ/KM)	PM-EMISSIES (MOTOR) TIJDENS GEBRUIK (G/KM)	BROEIKASGAS- EMISSIES (G/KM)
Diesel	Dieselmotor	< 50 jaar	100	groot	vergelijkbaar	13,4	0,4	1001
Diesel	Hybride	< 50 jaar	100	groot	matig	13,4	0,3	1001
Diesel + 5% biodiesel	Dieselmotor	< 50 jaar	95	groot	vergelijkbaar	13,8	0,4	969
Diesel + 5% biodiesel	Hybride	< 50 jaar	95	groot	matig	13,8	0,3	969
Biodiesel	Dieselmotor	Hernieuwbaar	0	klein	beperkt	20,4	0,3	347
Biodiesel	Hybride	Hernieuwbaar	0	klein	matig	20,4	0,2	347
DME uit aardgas	Dieselmotor	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	matig	21,4	0,08	1210
DME uit aardgas	Hybride	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	hoog	21,4	0,05	1210
DME uit aardgas	Brandstofcel + EM	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	zeer hoog	21,8	0	1234
Synthetische diesel uit aardgas	Dieselmotor	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	beperkt	20,3	0,3	1180
Synthetische diesel uit aardgas	Hybride	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	matig	20,3	0,2	1180
benzine	Vonkontstekings- motor	< 50 jaar	100	groot	vergelijkbaar	16,9	0,05	1267
Benzine	Brandstofcel + EM	< 50 jaar	100	groot	hoog	14,9	0	1119
LPG	Vonkontstekingsmot or	< 50 jaar	100	matig	beperkt	16,3	0,05	1115
LPG	Hybride	< 50 jaar	100	matig	matig	15,6	0,03	1064

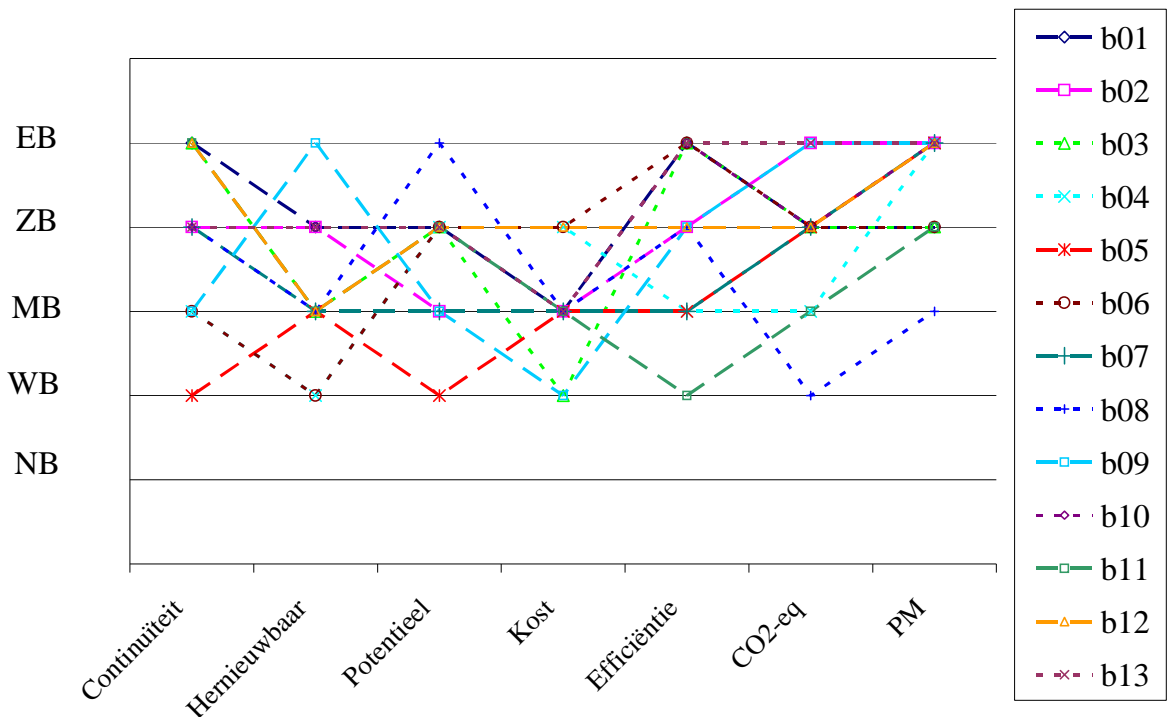


BRANDSTOF	AANDRIJVING	CONTINUÏTEIT	AFHANKELIJKHEID	POTENTIEEL	MEERKOST	PRIMAIR ENERGIE- VERBRUIK (MJ/KM)	PM-EMISSIONS (MOTOR) TIJDENS GEBRUIK (G/KM)	BROEIKASGAS- EMISSIONS (G/KM)
Aardgas	Vonkontstekings- motor	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	beperkt	18,3	0,05	1077
Aardgas	Hybride	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	matig	17,5	0,03	1029
Aardgas	Brandstofcel + EM	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	hoog	15,1	0	888
Biogas	Vonkontstekings- motor	Hernieuwbaar	0	klein	beperkt	22,6	0,05	128
Biogas	Hybride	Hernieuwbaar	0	klein	matig	21,6	0,03	195
Biogas	Brandstofcel + EM	Hernieuwbaar	0	klein	hoog	18,6	0	169
Waterstof uit aardgas	Vonkontstekings- motor	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	matig	22,6	0	1267
Waterstof uit aardgas	Hybride	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	hoog	21,5	0	1210
Waterstof uit aardgas	Brandstofcel + EM	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	hoog	14,1	0	795
Waterstof uit elektrolyse (net)	Vonkontstekings- motor	>= 100 jaar	95	groot	hoog	65,9	0	1842
Waterstof uit elektrolyse (net)	Hybride	>= 100 jaar	95	groot	hoog	62,9	0	1758
Waterstof uit elektrolyse (net)	Brandstofcel + EM	>= 100 jaar	95	groot	zeer hoog	41,3	0	1155
Waterstof uit elektrolyse (lokaal windmolenpark)	Vonkontstekings- motor	Hernieuwbaar	0	klein	zeer hoog	23,7	0	3
Waterstof uit elektrolyse (lokaal windmolenpark)	Hybride	Hernieuwbaar	0	klein	zeer hoog	22,6	0	3
Waterstof uit elektrolyse (lokaal windmolenpark)	Brandstofcel + EM	Hernieuwbaar	0	klein	zeer hoog	14,8	0	3
Waterstof uit biomassa	Vonkontstekings- motor	Hernieuwbaar	0	matig	hoog	27,1	0	336

BRANDSTOF	AANDRIJVING	CONTINUÏTEIT	AFHANKELIJKHEID	POTENTIEEL	MEERKOST	PRIMAIR ENERGIE- VERBRUIK (MJ/KM)	PM-EMISSIONS (MOTOR) TIJDENS GEBRUIK (G/KM)	BROEIKASGAS- EMISSIONS (G/KM)
Waterstof uit biomassa	Hybride	Hernieuwbaar	0	matig	hoog	25,9	0	321
Waterstof uit biomassa	Brandstofcel + EM	Hernieuwbaar	0	matig	zeer hoog	17,0	0	212
Ethanol	Dieselmotor met ignition starter	Hernieuwbaar	0	klein	beperkt	31,2	0,3	691
Ethanol	Brandstofcel + EM	Hernieuwbaar	0	klein	zeer hoog	31,2	0	691
Methanol uit aardgas	Brandstofcel + EM	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	hoog	18,6	0	1072
Synthetische benzine uit aardgas	Brandstofcel + EM	>= 50 jaar, maar < 100 jaar	100	groot	zeer hoog	22,5	0	1311
Batterijen (net)	Elektromotor	>= 100 jaar	95	groot	matig	26,2	0	732
Batterijen (lokaal windmolenpark)	Elektromotor	Hernieuwbaar	0	klein	hoog	9,4	0	3

### 5.3 Belangrijkheid van criteria

Figuur 4 toont de belangrijkheid van de zeven criteria voor elke deelnemer van de consultatierondes (= besluitnemer, vandaar 'b' in de legende). Opmerkelijk is dat geen enkel criterium als niet belangrijk werd beoordeeld. Dit toont aan dat er wel degelijk relevante criteria werden gedefinieerd voor de eerste screening. Het is moeilijk om te zeggen welk criterium door de besluitnemers nu als het belangrijkste van de zeven wordt gezien. Uit Figuur 4 kan afgeleid worden dat criterium 4 (meerkost van de brandstof) iets minder en criterium 7 (PM-emissies) iets meer belangrijk gevonden worden dan de andere.



Figuur 4: Overzicht van belangrijkheid van de criteria door de 13 deelnemers  
(NB = niet belangrijk; WB = weinig belangrijk; MB = matig belangrijk;  
ZB = zeer belangrijk; EB = extreem belangrijk)

Tabel 7: Overzicht van het aantal keer dat een criterium scoorde op een bepaalde  
belangrijkheid (NB = niet belangrijk; WB = weinig belangrijk; MB = matig belangrijk;  
ZB = zeer belangrijk; EB = extreem belangrijk)

	NB	WB	MB	ZB	EB
Continuïteit	-	1	3	5	4
Hernieuwbaar	-	2	6	4	1
Potentieel	-	1	3	8	1
Kost	-	2	8	3	-
Efficiëntie	-	1	3	4	5
CO2-eq	-	1	2	7	3
PM	-	-	1	4	8

## 6 RANGSCHIKKING ALTERNATIEVEN

Het rangschikken van de technologieën (ook alternatieven of TO genoemd) gebeurde door middel van twee workshops: een interne workshop waarop de onderzoekers binnen Vito hun voorkeuren en belangrijkheden weergaven en een externe workshop waarop de leden van het gebruikerscomité de kans kregen hun meningen weer te geven.

In deze rangschikking wordt vooral gekeken naar de plaats van de traditionele technologieën binnen de modus. Tabel 8 geeft de verschillende traditionele technologieën weer waarmee binnen Europa gereden wordt.

*Tabel 8: Gebruikte traditionele technologieën binnen België*

MODUS	TRADITIONELE TECHNOLOGIEËN	PERCENTAGE (BELGIË, 2000) [3]
Personenvervoer	Diesel met dieselmotor	39.9%
	Benzine met IDI vonkontstekingsmotor	58.8%
	Benzine met DI vonkontstekingsmotor	
	LPG vonkontstekingsmotor	0.9%
	Diesel met 5% biodiesel en een dieselmotor	0.4%
	Biodiesel met een dieselmotor	
	Benzine hybride IDI	
	Aardgas met een vonkontstekingsmotor	
	Batterijen (elektriciteit van het net) met elektromotor	
Vrachtervervoer	Diesel met een dieselmotor	93.6%
	Benzine vonkontstekingsmotor	2.5%
	LPG vonkontstekingsmotor	0.1%
	Biodiesel met een dieselmotor	3.8%
	Aardgas met een vonkontstekingsmotor	

### 6.1 Scenario 1: ARGUS basisscenario

Het ARGUS-basisscenario houdt bij het rangschikken van de beleidsopties rekening met alle criteria (= ARGUS-scenario 1). Tabel 9 en Tabel 10 geven een overzicht van de groepsrangschikking van de technologische opties (TO) in het basisscenario voor personenvervoer, respectievelijk vrachtervervoer. Deze groepsbeslissing werd op bepaald via de ARGUS-MCA.

Tabel 9: Overzicht groepsrangschikkingen van alle ARGUS-scenario's voor personenvervoer (met eliminatie van de TO's met klein potentieel)

Rang	Basisscenario	invloed van "afhankelijkheid van niet-hernieuwbare grondstoffen"	invloed van de kost	invloed van de technologische component	enkel de drie beste criteria	de toekomst	de Europese visie
1	H2biomassa brandstofcel	H2biomassa brandstofcel	H2biomassa brandstofcel	H2biomassa brandstofcel H2biomassa hybride	H2biomassa brandstofcel	H2biomassa brandstofcel	H2biomassa brandstofcel
2	H2biomassa hybride	H2gas brandstofcel H2biomassa hybride Batterijen net	H2biomassa hybride	H2biomassa vonkmotor	H2gas brandstofcel H2biomassa hybride	H2biomassa hybride Batterijen net	H2biomassa hybride Batterijen net
3	Biogas vonkmotor	Benzine hybride IDI Benzine hybride DI	Biogas vonkmotor	Biogas vonkmotor	H2gas hybride	H2biomassa vonkmotor	Biogas vonkmotor
4	H2biomassa vonkmotor Batterijen net	Benzine motor IDI LPG vonkmotor Biogas vonkmotor	H2biomassa vonkmotor	Biodiesel motor	Benzine brandstofcel Biogas vonkmotor	5%biodiesel motor 5%biodiesel hybride Biodiesel motor Aardgas hybride Biogas vonkmotor H2gas hybride H2gas brandstofcel	Biodiesel motor H2gas brandstofcel H2biomassa vonkmotor
5	H2gas brandstofcel	Aardgas hybride H2gas hybride H2biomassa vonkmotor	H2gas brandstofcel Batterijen net	Bioethanol vonkmotor	H2biomassa vonkmotor Benzine hybride DI	Diesel motor Diesel hybride Benzine hybride IDI Benzine brandstofcel Benzine motor DI Benzine hybride DI	Aardgas hybride H2gas hybride
6	Biodiesel motor Aardgas hybride H2gas hybride Bioethanol vonkmotor	Benzine brandstofcel LPG hybride Aardgas vonkmotor Benzine motor DI	Biodiesel motor H2gas hybride	H2gas brandstofcel H2net hybride	Aardgas hybride	Synth diesel hybride LPG hybride Aardgas vonkmotor H2net hybride H2net brandstofcel Bioethanol vonkmotor Methanol hybride Methanol brandstofcel	Diesel hybride 5%biodiesel hybride
7	5%biodiesel hybride Benzine hybride IDI Benzine brandstofcel LPG hybride H2net hybride Benzine hybride DI	Bioethanol vonkmotor	Aardgas hybride Bioethanol vonkmotor	Batterijen net	LPG hybride H2gas vonkmotor Bioethanol vonkmotor	Benzine motor IDI H2net vonkmotor	Diesel motor 5%biodiesel motor Benzine hybride IDI Benzine brandstofcel LPG hybride Benzine motor DI Benzine hybride DI
8	Aardgas vonkmotor H2net brandstofcel Benzine motor DI	Biodiesel motor H2gas vonkmotor Methanol hybride	Benzine brandstofcel H2net hybride H2net brandstofcel	H2gas hybride H2net brandstofcel	Benzine hybride IDI Batterijen net	LPG vonkmotor H2gas vonkmotor Synth benzine hybride Synth benzine brandstofcel	Synth diesel hybride Aardgas vonkmotor Bioethanol vonkmotor Methanol hybride Methanol brandstofcel
9	H2gas vonkmotor	Diesel hybride 5%biodiesel hybride H2net hybride	5%biodiesel hybride Benzine hybride IDI LPG hybride H2gas vonkmotor H2net vonkmotor Benzine hybride DI	Aardgas hybride H2net vonkmotor	Aardgas vonkmotor H2net hybride H2net brandstofcel Benzine motor DI	Synth diesel motor Methanol vonkmotor Synth benzine vonkmotor	LPG vonkmotor H2gas vonkmotor Synth benzine hybride Synth benzine brandstofcel
10	Diesel hybride Benzine motor IDI LPG vonkmotor H2net vonkmotor Methanol hybride	H2net brandstofcel Methanol brandstofcel	Aardgas vonkmotor Benzine motor DI	5%biodiesel hybride Aardgas vonkmotor H2gas vonkmotor	LPG vonkmotor H2net vonkmotor Methanol hybride		Synth diesel motor H2net hybride H2net brandstofcel
11	5%biodiesel motor Synth diesel hybride	Diesel motor 5%biodiesel motor Synth diesel hybride	Diesel hybride Benzine motor IDI LPG vonkmotor Methanol hybride	5%biodiesel motor Benzine hybride IDI Benzine brandstofcel LPG hybride Benzine hybride DI	Diesel hybride 5%biodiesel hybride Benzine motor IDI Methanol brandstofcel		Benzine motor IDI H2net vonkmotor
12	Diesel motor Methanol brandstofcel	H2net vonkmotor Synth benzine hybride Synth benzine brandstofcel	5%biodiesel motor Synth diesel hybride Methanol brandstofcel	Benzine motor IDI LPG vonkmotor Benzine motor DI	Biodiesel motor Synth diesel hybride		Methanol vonkmotor Synth benzine vonkmotor
13	Synth benzine hybride Synth benzine brandstofcel	Synth diesel motor	Synth benzine brandstofcel	Methanol hybride	Synth benzine brandstofcel		
14	Synth diesel motor	Methanol vonkmotor Synth benzine vonkmotor	Diesel motor Synth diesel motor Synth benzine hybride	Synth diesel hybride	Methanol vonkmotor Synth benzine vonkmotor Synth benzine hybride		
15	Methanol vonkmotor Synth benzine vonkmotor		Methanol vonkmotor Synth benzine vonkmotor	Diesel hybride Methanol vonkmotor Methanol brandstofcel Synth benzine vonkmotor	Diesel motor 5%biodiesel motor Synth diesel motor		
16				Synth diesel motor Synth benzine brandstofcel			
17				Synth benzine hybride			
18				Diesel motor			

Tabel 10: Overzicht groepsrangschikkingen van alle ARGUS-scenario's voor vrachtvervoer (met eliminatie van de TO's met klein potentieel)

Rang	Basisscenario	invloed van "afhankelijkheid van niet-hernieuwbare grondstoffen"	invloed van de kost	invloed van de technologische component	enkel de drie beste criteria	de toekomst	de Europese visie
1	H2 biomassa - brandstof	H2 biomassa - brandstof	H2 biomassa - brandstof	H2 biomassa - brandstof	H2 biomassa - brandstof	H2 biomassa - brandstof	H2 biomassa - brandstof
2	H2 biomassa - hybride H2 biomassa - vonk	H2 biomassa - hybride H2 biomassa - vonk	H2 biomassa - vonk H2 biomassa - hybride	H2 biomassa - hybride H2 biomassa - vonk	H2 biomassa - vonk H2 biomassa - hybride	biodiesel - dieselmotor biogas - vonk H2 biomassa - vonk H2 biomassa - hybride	biogas - vonk
3	biogas - vonk H2 aardgas - brandstof Batterijen net	biogas - vonk H2 aardgas - brandstof Batterijen net	H2 aardgas - brandstof	Batterijen net	aardgas - brandstof H2 aardgas - brandstof Methanol - brandstof	5%biodiesel - dieselmotor 5%biodiesel - hybride aardgas - vonk aardgas - hybride aardgas - brandstof H2 aardgas - brandstof Ethanol - dieselmotor Methanol - brandstof Batterijen net	biodiesel - dieselmotor H2 biomassa - hybride H2 biomassa - vonk
4	Methanol - brandstof aardgas - brandstof	biodiesel - dieselmotor aardgas - brandstof Methanol - brandstof	biogas - vonk Batterijen net	biogas - vonk	benzine - brandstof Batterijen net	diesel - dieselmotor diesel - hybride benzine - brandstof H2 net - brandstof benzine - vonk	H2 aardgas - brandstof
5	biodiesel - dieselmotor benzine - brandstof aardgas - hybride	benzine - brandstof aardgas - hybride	aardgas - brandstof Methanol - brandstof	H2 aardgas - brandstof H2 net - brandstof	DME - brandstof H2 aardgas - vonk H2 aardgas - hybride	DME - dieselmotor DME - hybride DME - brandstof Synth diesel - dieselmotor Synth diesel hybride LPG - vonk LPG - hybride H2 aardgas - vonk H2 aardgas - hybride H2 net - vonk H2 net - hybride Synth benzine - brandstof	aardgas - vonk aardgas - hybride aardgas - brandstof Methanol - brandstof Batterijen net
6	H2 aardgas - vonk Ethanol - dieselmotor aardgas - vonk	H2 aardgas - vonk aardgas - vonk	benzine - brandstof biodiesel - dieselmotor	biodiesel - dieselmotor H2 aardgas - vonk H2 net - vonk H2 net - hybride	aardgas - hybride biogas - vonk		diesel - dieselmotor diesel - hybride 5%biodiesel - dieselmotor 5%biodiesel - hybride benzine - brandstof Ethanol - dieselmotor
7	5%biodiesel - dieselmotor H2 aardgas - hybride H2 net - brandstof benzine - vonk	LPG - hybride H2 aardgas - hybride benzine - vonk	DME - brandstof aardgas - hybride H2 aardgas - vonk H2 aardgas - hybride H2 net - brandstof Ethanol - dieselmotor	aardgas - brandstof Ethanol - dieselmotor Methanol - brandstof	H2 net - brandstof		LPG - vonk LPG - hybride H2 net - brandstof benzine - vonk
8	5%biodiesel - hybride DME - brandstof H2 net - vonk H2 net - hybride	diesel - hybride 5%biodiesel - hybride DME - brandstof H2 net - brandstof Ethanol - dieselmotor	aardgas - vonk H2 net - vonk H2 net - hybride	5%biodiesel - dieselmotor benzine - brandstof aardgas - hybride	biodiesel - dieselmotor H2 net - vonk H2 net - hybride		DME - dieselmotor DME - hybride DME - brandstof Synth diesel - dieselmotor Synth diesel hybride H2 aardgas - vonk H2 aardgas - hybride Synth benzine - brandstof
9	diesel - dieselmotor LPG - hybride	diesel - dieselmotor 5%biodiesel - dieselmotor LPG - vonk H2 net - vonk H2 net - hybride	5%biodiesel - hybride LPG - hybride Synth benzine - brandstof	aardgas - vonk H2 aardgas - hybride	LPG - hybride Synth benzine - brandstof		H2 net - vonk H2 net - hybride
10	LPG - vonk	Synth benzine - brandstof	5%biodiesel - dieselmotor LPG - vonk benzine - vonk	5%biodiesel - hybride DME - brandstof	aardgas - vonk		
11	diesel - hybride Synth benzine - brandstof	DME - hybride	diesel - hybride DME - hybride	diesel - dieselmotor LPG - hybride Synth benzine - brandstof	LPG - vonk benzine - vonk		
12	DME - hybride	DME - dieselmotor	diesel - dieselmotor DME - dieselmotor	LPG - vonk benzine - vonk	DME - hybride		
13	DME - dieselmotor	Synth diesel hybride	Synth diesel hybride	DME - hybride	DME - dieselmotor		
14	Synth diesel hybride	Synth diesel - dieselmotor	Synth diesel - dieselmotor	DME - dieselmotor	diesel - hybride 5%biodiesel - hybride Synth diesel hybride Ethanol - dieselmotor		
15	Synth diesel - dieselmotor			diesel - hybride Synth diesel hybride	diesel - dieselmotor 5%biodiesel - dieselmotor Synth diesel - dieselmotor		
16				Synth diesel - dieselmotor			

### 6.1.1 Brandstoftechnologieën voor personenwagens

Tabel 9 leert dat er bij de hoogst gerangschikte combinaties van technologieën en brandstoffen verschillende staan die slechts in zeer beperkte mate kunnen voldoen aan de huidige mobiliteitsvraag. Vandaar wordt geopteerd om deze voor te behouden voor specifieke nichemarkten. Verdere studie terzake moet dan ook gezien worden in het kader van specifieke casestudies waar de toepassing relevant is. Bijgevolg worden de combinatie technologie/brandstof waarvan het potentieel 'klein' is (cfr. Tabel 5) niet weerhouden in deze studie. De enige uitzondering vormt biodiesel, omdat deze aan fossiele diesel kan toegevoegd worden.

Deze eliminatie resulteert in de drie hoogste rangen met volgende technologie/brandstof combinaties:

- Rang 1: H<sub>2</sub> uit biomassa met brandstofcel
- Rang 2: H<sub>2</sub> uit biomassa hybride
- Rang 3: Elektrische auto (elektriciteit van het net) en H<sub>2</sub> uit biomassa met vonkontstekingsmotor.

Deze drie beste opties kunnen ook niet voldoen aan de huidige mobiliteitsvraag. Voor de waterstofvoertuigen is dit omwille van matige beschikbaarheid van H<sub>2</sub> uit biomassa. Voor elektrische (batterij) personenwagens is dat omwille van de kleinere actieradius dan benzine- of dieselveertuigen. Bijgevolg moeten er nog andere opties opgenomen worden.

Tabel 9 leert dat het gebruik van methanol, synthetische benzine en synthetische diesel (geproduceerd uit aardgas) vanuit het hier gedefinieerde duurzaamheidsbeginsel geen geschikte opties vormen. Bijgevolg elimineren we ook deze brandstoffen uit de verdere studie. Er dient wel opgemerkt dat deze brandstoffen ook uit biomassa kunnen geproduceerd worden, wat duidelijk een hogere duurzaamheid zal geven. Bij opmaak van de eerste screening zijn echter de meest economische (en meest waarschijnlijke) productiemethoden meegenomen voor deze brandstoffen. Enkel voor waterstof werden meerdere productieopties meegenomen.

Opties die wel in aanmerking komen, zijn waterstof uit aardgas in brandstofcelvoertuigen en verschillende vormen van hybride voertuigen. De hoogst gerangschikte hybride voertuigen zijn deze op aardgas en H<sub>2</sub> uit aardgas.

Enkele technologie/brandstof combinaties zijn vandaag reeds op de markt en worden bijgevolg ook meegenomen in het vervolg van de studie. Het betreft:

- Hybride voertuigen op benzine met indirecte brandstofinjectie;
- Aardgasvoertuigen met een vonkontstekingsmotor;
- Benzinevoertuigen met directe brandstofinjectie;
- 5% biodiesel motor;
- Biodiesel motor.

Niettegenstaande de slechte rangschikking van klassieke diesel-, benzine- en LPG-wagens zullen deze de komende 20 à 30 jaar nog een groot deel van de mobiliteitsvraag invullen. Deze voertuigen moeten dus ook opgenomen worden in de verdere studie. Bovendien dient opgemerkt dat hun verbruiks- en emissiecijfers significant zullen dalen in de periode

2000-2020. Voor zwaar vervoer wordt enkel diesel beschouwd als een conventionele brandstof.

### 6.1.2 Brandstoftechnologieën voor vrachtwagens

Analyse van Tabel 6 en Tabel 10 leert dat naar analogie met personenwagens, er bij de hoogst gerangschikte combinaties van technologieën en brandstoffen verschillende staan die slechts in zeer beperkte mate kunnen voldoen aan de huidige mobiliteitsvraag. Vandaar wordt ook hier geopteerd om deze voor te behouden voor specifieke nichemarkten en worden ze hier verder niet meer bekeken. De enige uitzondering vormt biodiesel, omdat deze aan fossiele diesel kan toegevoegd worden.

Deze eliminatie resulteert in de volgende technologie/brandstof combinaties die in de drie hoogste rangen staan:

- Rang 1: H<sub>2</sub> uit biomassa in brandstofcel
- Rang 2: H<sub>2</sub> biomassa – vonkontstekingsmotor  
H<sub>2</sub> uit biomassa hybride
- Rang 3: H<sub>2</sub> aardgas brandstofstel  
Elektrisch voertuig met batterij (elektriciteit van het net).

Niettegenstaande het potentieel om aan de huidige mobiliteitsvraag van vrachtvervoer te voldoen hoog is met de TO's uit de drie hoogste rangen, worden nog andere TO's opgenomen in het verdere verloop van de studie. Dit enerzijds omwille van de kleinere laadruimte en actieradius van batterijvoertuigen en anderzijds, omdat waterstofvoertuigen op middellange termijn (2020) niet volledig kunnen penetreren in de ganse voertuigenvloot. Dit laatste is te wijten aan de turnover periode van vrachtwagens (25 jaar) en de beschikbaarheid van de tankfaciliteiten voor waterstofgas.

Tabel 10 leert dat het gebruik synthetische diesel uit aardgas, inclusief DME, en LPG bij zwaar vervoer vanuit het hier gedefinieerde duurzaamheidsbeginsel geen geschikte opties vormen. Bijgevolg elimineren we ook deze brandstoffen uit de verdere studie. Uitzondering vormt immers LPG met vonkontstekingsmotor omdat deze reeds op de markt is.

Opties die wel in aanmerking komen, zijn brandstofcelvoertuigen op methanol en aardgas.

Enkele technologie/brandstof combinaties zijn vandaag reeds op de markt en worden bijgevolg meegenomen in het vervolg van de studie. Het betreft:

- Biodiesel in combinatie met een dieselmotor;
- Aardgas in combinatie met een vonkontstekingsmotor;
- Benzine in combinatie met een vonkontstekingsmotor;
- LPG in combinatie met een vonkontstekingsmotor.

Niettegenstaande de matige rangschikking van klassieke dieselvrachtwagens zullen deze de komende 20 à 30 jaar nog een groot deel van de mobiliteitsvraag invullen. Deze voertuigen moeten dus ook opgenomen worden in de verdere studie. Bovendien dient opgemerkt dat hun emissiecijfers significant zullen dalen in de periode 2000-2020.



## 6.2 Sensitiviteitsanalyse

Er werd nagegaan wat het effect op de rangschikking van de beleidsopties zou zijn als één of meerdere criteria zouden wegvallen. Tabel 11 geeft een overzicht van de opbouw van de verschillende ARGUS-scenarios.

*Tabel 11: Overzicht ARGUS-scenario's voor sensitiviteitsanalyse op rangschikking*

SCENARIO	OPGENOMEN CRITERIA
1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
2	1, 3, 4, 5, 6, 7
3	1, 2, 3, 5, 6, 7
4	1, 2, 3, 4, 6, 7
5	5, 6, 7 of 1, 5, 7
6	1, 2, 3, 5
7	1, 3, 5, 6

De resultaten van scenario's 2 t.e.m. 7 worden weergegeven in Tabel 9 en Tabel 10 en besproken in Bijlage D. Naargelang het ARGUS-scenario varieert het aantal rangen. In het algemeen kan gesteld worden dat de verschillende ARGUS-scenario's de rangschikking van technologieën weinig beïnvloed. Een visuele voorstelling van de resultaten is niet mogelijk aangezien er teveel TO's zijn om een overzichtelijke figuur te bekomen.

## 7 SELECTIE TECHNOLOGIEËN VOOR DETAILEVALUATIE

Analyse van de resultaten verkregen uit enerzijds het Argus-basisscenario, en anderzijds de scenario's om de gevoeligheid van de criteriakeuzes op de rangschikking van de TO's in te schatten, blijkt dat zowel voor personenwagens als vrachtwagens, de TO's kunnen geselecteerd worden op basis van de resultaten van het basisscenario (zie Bijlage E).

Een toetsing van deze keuze gebeurde in een expertenpanel waarbij enkele projectmedewerkers bij betrokken zijn, evenals enkele experts inzake voertuigtechnologie voor wegvoertuigen uit de groep Voertuigtechnologie op Vito.

### 7.1 Personenwagens

Op basis van de resultaten van de Argus-oefening van de eerste screening bleven er bij de preselectie voor personenwagens 15 technologische opties over: 12 alternatieve en 3 conventionele (diesel DI, Benzine IDI, LPG IDI).

In de preselectie komen drie TO's voor die H<sub>2</sub> produceren uit biomassa. Deze H<sub>2</sub>-productie moet eerder aanzien worden als een langere termijn mogelijkheid, maar kan niet veralgemeend worden in een tijdshorizon tot 2020 [7]. Vandaar wordt beslist om alleen de best gerangschikte optie met biomassa op te nemen: H<sub>2</sub> uit biomassa met brandstofcel.

De Argus-oefening resulteerde tevens in een redelijke score voor H<sub>2</sub> uit aardgas met brandstofcel en een hybride uitvoering. Deze beide opties worden weerhouden, omdat reforming uit aardgas op het niveau van het tankstation veelbelovend is omwille van het beschikbare distributienet voor aardgas.

Over de productie en -distributie van het waterstof bestaat nog geen consensus in industrie of onderzoekswereld. Verscheidene opties blijven mogelijk. Het 'reformen' van benzine lijkt onwaarschijnlijk, omdat zolang er benzine beschikbaar is het energie-efficiënter zal zijn deze rechtstreeks aan te wenden als brandstof. Zoals hoger vermeld lijkt 'reforming' uit aardgas veelbelovend omdat het distributienet voor aardgas toch aanwezig is, maar ook reforming uit steenkool, biomassa, ... blijven mogelijkheden die onderzocht worden. Er loopt bij de groep voertuigtechnologie (Vito) een waterstofproject i.o.v. Aminor, waarin de verscheidene productiemethoden met elkaar worden vergeleken (Wetenschappelijke beoordeling van het gebruik van waterstof als brandstof voor bussen [8]).

Hoewel in de Argus-oefening H<sub>2</sub> uit aardgas met vonkontstekingsmotor pas op rang 9 (van totaal 15) staat, wordt deze optie meegenomen in de verdere studie. Het wordt beschouwd als een intermediaire brandstoftechnologie. De well-to-wheel CO<sub>2</sub>-emissies kunnen echter tot 70% hoger liggen dan bij directe verbranding van aardgas. Deze laatste optie werd ook geselecteerd om een directe vergelijking te kunnen maken.

Er dient opgemerkt dat er nogal wat onduidelijkheden zijn over de werking van H<sub>2</sub>-motoren. Zowel BMW, Ford en Hydrogen Systems (bus) melden technische problemen. De grootste knelpunten zijn de niet-smerende werking van H<sub>2</sub> en de grote H<sub>2</sub>-debieten.

Verder wordt om het aantal opties te reduceren 100% biodiesel in dieselmotor niet opgenomen. 5% biodiesel wordt wel opgenomen, het kan zonder aanpassing geïmplementeerd worden in de conventionele diesellooptuigen.

In Tabel 12 wordt een overzicht gegeven van de uiteindelijke selectie van technologische opties voor personenwagens. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen conventionele en alternatieve brandstoftechnologieën. De opties worden alfabetisch opgelijst. Het aantal TO's is gereduceerd tot 13, waar dit bij de preselectie 15 was (zie Bijlage C).

*Tabel 12: Finale selectie van technologische opties voor personenwagens*

BRANDSTOF	TECHNOLOGIE
<b>Conventionele TO's</b>	
Benzine	IDI
Diesel	DI
LPG	IDI
<b>Alternatieve TO's</b>	
Aardgas	Hybride
Aardgas	Vonkontstekingsmotor
Benzine	Directe brandstofinjectie
Benzine	Hybride met indirecte brandstofinjectie
5% biodiesel	Dieselmotor
Elektriciteit van het net	Batterij en elektromotor
H <sub>2</sub> uit aardgas	Brandstofcel
H <sub>2</sub> uit aardgas	Hybride
H <sub>2</sub> uit aardgas	Vonkontstekingsmotor
H <sub>2</sub> uit biomassa	Brandstofcel

## 7.2 Vrachtwagens

Voor vrachtwagens wordt in de periode tot 2020 de TO's met H<sub>2</sub> uit biomassa niet opgenomen. Voor het relatieve effect van H<sub>2</sub> uit biomassa t.o.v. H<sub>2</sub> uit aardgas kan verwezen worden naar de uitwerking voor personenwagens. In de periode tot 2020 is het meer waarschijnlijk dat H<sub>2</sub> uit aardgas wordt gemaakt. Voor distributievrachtwagens, met een belangrijk aandeel stadsverkeer (en beperkt rijbereik), worden H<sub>2</sub> uit aardgas met brandstofcel, elektriciteit (net via batterij) en aardgas met vonkontstekingsmotor weerhouden. Methanol als brandstof is agressief en impliceert aanpassingen qua materiaalkeuze en voorzorgen naar veiligheid en werd om deze redenen niet opgenomen in de finale lijst.

Zware vrachtwagens, die vooral voor langere afstanden gebruikt worden, zitten dicht bij hun optimaal rendement. Hybridisatie geeft hierbij weinig voordelen. 5% biodiesel wordt als mogelijke optie gekozen.

Zowel bij personenwagens als bij vrachtwagens deden de synthetische brandstoffen geproduceerd uit aardgas het slecht in de eerste screening van de duurzaamheidsvaluatie. Vito/CES wenst synthetische brandstoffen echter niet volledig te bannen uit de studie,

vandaar wordt synthetische diesel uit biomassa (en NIET uit aardgas) meegenomen in de uitgebreide duurzaamheidsevaluatie<sup>4</sup>.

In Tabel 13 wordt een overzicht gegeven van de uiteindelijke selectie van technologische opties voor vrachtwagens. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen conventionele en alternatieve brandstoftechnologieën voor enerzijds distributievoertuigen in de stad en anderzijds zware vrachtwagens. De opties worden alfabetisch opgelijst. Het aantal opties werd gereduceerd tot 6, waar dit in de preselectie nog 12 bedroeg.

*Tabel 13: Finale selectie van technologische opties voor vrachtwagens*

BRANDSTOF	TECHNOLOGIE
<b>Conventionele TO's</b>	
Diesel	DI
<b>Alternatieve TO's (distributievoertuigen stad tot 7,5 ton)</b>	
Aardgas	Vonkontstekingsmotor
Elektriciteit van het net	Batterij en elektromotor
H <sub>2</sub> uit aardgas	Brandstofcel
<b>Alternatieve TO's (zwaar vervoer)<sup>5</sup></b>	
5% biodiesel	Dieselmotor
Synthetische diesel uit biomassa	Dieselmotor

<sup>4</sup> Synthetische brandstoffen uit biomassa werden niet opgenomen bij de eerste screening. HD constructeurs (in casu Volvo) hechten wel groot belang aan deze optie (cfr. Enigmatic Workshop, Brussel 23/04/2002 [9])

<sup>5</sup> Op vraag van de gebruikersgroep wordt indien er budgettaire ruimte is binnen het project ook een duurzaamheidsevaluatie gemaakt van hybride uitvoeringen bij zwaar vervoer. Dit vooral om een extrapolatie te kunnen doen naar stadsbussen. Mocht het niet mogelijk zijn dan wordt bij de beleidsadviezen zeker rekening gehouden met recente of nog lopende projecten rond hybride bussen.

## 8 BESLUITEN

Het selecteren van voertuigtechnologieën was andermaal niet gemakkelijk. Vooreerst is maar weer eens gebleken hoe moeilijk het is om mensen gemotiveerd te krijgen om een inspanning te leveren voor een project. Slechts vier mensen uit de gebruikersgroep hebben deelgenomen aan de ARGUS-oefening, alhoewel deze op dezelfde dag plaats had als de reeds lang op voorhand vastgelegde gebruikersgroepvergadering. Zelfs intern op Vito was het niet gemakkelijk om mensen bijeen te krijgen. Uiteindelijk werd de oefening uitgevoerd door een 13 personen.

De eigenlijke selectie van de technologische opties was ook niet geheel eenduidig. De uitkomst van het basisscenario was toch enigszins verrassend in die zin dat de synthetische benzine en diesel hier slecht uit de evaluatie naar voren kwamen en dat anderzijds de topposities in beslag genomen werden door technologieën die enkel in nichemarkten thuishoren. Desalniettemin kon een finale selectie gemaakt worden van technologieën die in de gedetailleerde duurzaamheidsvaluatie kan meegenomen worden. Deze selectie moest echter zeer minutieus gebeuren aangezien in het project noch de tijd noch de middelen beschikbaar zijn om alle technologieën mee te nemen.

De uitgebreide duurzaamheidsvaluatie zal op een gelijkaardige manier worden uitgevoerd als de eerste screening. Het verschil zal hem vooral zitten in de samenstelling van de besluitnemers die de ARGUS-oefening zullen uitvoeren. Deze zullen enerzijds bestaan uit de deelnemers van de eerste screening en anderzijds laatstejaars studenten van de Universiteit Antwerpen. Het laatste zal nagenoeg volledig gebeuren door W. De Keyser (in onderaanneming).

## REFERENTIES

- [1] De Keyser W., De Vlieger I. & Verbeiren S. (April 2001) 'Maatregelen in de transportsector voor de vermindering van CO<sub>2</sub> en troposferische ozon – Multicriteria analyse (Taak 4)', 2001/IMS/R/058.
- [2] De Keyser W. and Peeters P. (1994) 'ARGUS - a new multiple criteria method based on the general idea of outranking' in M. Paruccini (ed) '*Applying Multicriteria Aid for Decision to Environmental Management*', Kluwer (ISBN 0-7923-2922-8), 263 – 278
- [3] General Motors (2002): 'GM well-to-wheel analysis of energy use and greenhouse gas emissions of advanced fuel/vehicle systems – a European Study'
- [4] Kampman B., Vermeulen J., Dings J. (2001) 'Benzine, diesel en LPG, balanceren tussen milieu en economie; Update van 'optimale brandstofmix voor het wegverkeer', CE Delft rapport 01.4840.11
- [5] Beer T. et al. (2001) 'Comparison of Transport Fuels', Final report to the Australian Greenhouse Office on the Stage 2 study of Life-Cycle Emissions Analysis of Alternative Fuels for Heavy Vehicles
- [6] FEBIAC (2000) 'Evolutie van het personenwagenpark per brandstofsoort'. ([http://www.febiac.be/nl/statistics/gen\\_parc.asp](http://www.febiac.be/nl/statistics/gen_parc.asp))
- [7] Pelkmans L., et al (2003): 'Trends in vehicle and fuel technologies', studie uitgevoerd voor ESTO
- [8] Van Poppel M. (2003): 'Wetenschappelijke beoordeling van het gebruik van waterstof als brandstof voor bussen', studie uitgevoerd voor Aminal, rapport in voorbereiding
- [9] Wancura H., De Keukeleere D., Jensen P. (2002): 'Enigmatic workshop report: European Alternative Fuel Policy – Status and Outlook', Brussel, 23/04/2002

## LIJST MET AFKORTINGEN

Aminal	Administratie Milieu, Natuur en Land- en Waterbeheer, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
ARGUS	Achieving Respect for Grades Using ordinal Scales only (een multicriteria methode)
BEV	Batterij elektrische voertuigen
BN	Besluitnemer
cc	Cilinderinhoud (cm <sup>3</sup> )
CES-KUL	Centrum voor Economische Studies – Katholieke Universiteit Leuven
CH <sub>4</sub>	Methaan, hoofdbestanddeel in aardgas
CO <sub>2</sub>	Koolstofdioxide
CRT	Continuous Regenerating Trap
DI	Directe injectie
DME	Dimethylether
DWTC	Diensten voor Wetenschappelijke, Technische en Culturele aangelegenheden
EC	Europese Commissie
EDG	European Driving Cycle, gebruikt bij de homologatietest
H <sub>2</sub>	Waterstof
HD	Heavy Duty
IDI	Indirecte injectie
LPG	Liquified Petroleum Gas
MCA	Multicriteria analyse
NMBS	Nationale Maatschappij van de Belgische Spoorwegen
NMVOS	Niet-methaan vluchtige organische stoffen
N <sub>2</sub> O	Distikstofoxide of lachgas
PEMFC	Proton Exchange Membrane Fuel Cell
PM	Particulate Matter (deeltjes)
SCR	Selective Catalytic reduction
TO	Technologische optie
UA	Universiteit Antwerpen
Vito	Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek
viWTA	Vlaamse Instelling voor Wetenschappelijk en Technologisch Aspectenonderzoek
VOS	Vluchtige organische componenten
VS	Verenigde Staten





## BIJLAGE A: TECHNOLOGIE DATABASE

		Omschrijving	Optie	Toepassingsgebied (Modi, categorie)					Innovatieniveau					Opmerkingen		
				Weg: tweewielers	Weg: personenwagens	Weg: vrachtwagens/bussen	Spoor	Binnenvaart	Opmerkingen	Commercieel	Marktintroductie	Prototypefase	Onderzoeksfase		Denkpiste	
Diesel	Dieselmotor	Klassieke technologie	Verdere ontwikkelingen voor emissieverlaging (nieuwe dieselinspuitsystemen + nabehandeling)		X	X	X	X			X					Opmerkingen
	Hybride	Dieselmotor gecombineerd met batterij + elektromotor	Serieel / parallel hybride of combinatie		X	X	X					X				Eerste marktintroducties, fase van technologie-innovatie nog niet voltooid
Diesel + 5% biodiesel	Dieselmotor	Klassieke technologie	Verdere ontwikkelingen voor emissieverlaging (nieuwe dieselinspuitsystemen + nabehandeling)		X	X	X	X			X					klassieke technologie + ruimte voor productverbetering (vooral gericht op emissieverlaging)
	Hybride	Dieselmotor gecombineerd met batterij + elektromotor	Serieel / parallel hybride of combinatie		X	X	X					X				Eerste marktintroducties, fase van technologie-innovatie nog niet voltooid
Biodiesel / B20	Dieselmotor	Klassieke technologie (zeer beperkte aanpassingen)	Verdere ontwikkelingen voor emissieverlaging (nieuwe dieselinspuitsystemen + nabehandeling)		X	X	X	X			X					klassieke technologie + ruimte voor productverbetering (vooral gericht op emissieverlaging)
	Hybride	Dieselmotor gecombineerd met batterij + elektromotor	Serieel / parallel hybride of combinatie		X	X	X					X				Eerste marktintroducties, fase van technologie-innovatie nog niet voltooid
DME	Dieselmotor	Klassieke technologie (beperkte aanpassingen)	Verdere ontwikkelingen voor emissieverlaging (nieuwe dieselinspuitsystemen + nabehandeling)			X	X	X				X				eerste trials en prototypes
	Hybride	Dieselmotor gecombineerd met batterij + elektromotor	Serieel / parallel hybride of combinatie			X	X							X		Concept analoog aan diesel hybride

		Omschrijving	Optie	Toepassingsgebied (Modi, categorie)					Innovatieniveau					Opmerkingen	
				Weg: tweewielers	Weg: personenwagens	Weg: vrachtwagens/bussen	Spoor	Binnenvaart	Opmerkingen	Commercieel	Marktintroductie	Prototyp fase	Onderzoeksfase		Denkpiste
Synthetische diesel	Dieselmotor	Klassieke technologie	Verdere ontwikkelingen voor emissieverlaging (nieuwe dieselinpuitsystemen + nabehandeling)		X	X	X	X			X				klassieke technologie + ruimte voor productverbetering (vooral gericht op emissieverlaging)
	Hybride	Dieselmotor gecombineerd met batterij + elektromotor	Serieel / parallel hybride of combinatie		X	X	X							X	Eerste marktintroducties, fase van technologie-innovatie nog niet voltooid
Benzine	Vonkontstekingsmotor	Klassieke technologie	+ lambdacontrole, OBD, catalysatoren, ...	X	X						X				klassieke technologie + ruimte voor productverbetering (vooral gericht op emissieverlaging)
	Hybride	Benzinemotor gecombineerd met batterij + elektromotor	Serieel / parallel hybride of combinatie		X							X			Eerste marktintroducties, fase van technologie-innovatie nog niet voltooid
	Brandstofcel + EM	met reformer (benzine tot waterstof)			X	X							X		eerste trials, maar technologie nog niet bewezen
LPG	Vonkontstekingsmotor	Klassieke technologie (beperkte aanpassingen)	+ lambdacontrole, OBD, catalysatoren, ...		X	X					X				klassieke technologie + ruimte voor productverbetering (vooral gericht op emissieverlaging)
	Hybride	LPG-motor gecombineerd met batterij + elektromotor	Serieel / parallel hybride of combinatie		X	X						X			Concept analoog aan benzine hybride
	Brandstofcel + EM	met reformer (LPG tot waterstof)			X	X								X	
Aardgas / biogas	Vonkontstekingsmotor	Klassieke technologie (beperkte aanpassingen)	+ lambdacontrole, OBD, catalysatoren, ...		X	X					X	X			klassieke technologie + ruimte voor productverbetering (vooral gericht op emissieverlaging)
	Hybride	aardgasmotor gecombineerd met batterij + elektromotor	Serieel / parallel hybride of combinatie		X	X						X			Concept analoog aan benzine hybride
	Brandstofcel + EM	met reformer (aardgas tot waterstof)			X	X							X		reforming aardgas naar waterstof zal eerder gebeuren in stationaire opstellingen.

		Omschrijving	Optie	Toepassingsgebied (Modi, categorie)					Innovatieniveau					Opmerkingen	
				Weg: tweewielers	Weg: personenwagens	Weg: vrachtwagens/bussen	Spoor	Binnenvaart	Opmerkingen	Commercieel	Marktintroductie	Prototyp fase	Onderzoeksfase		Denkpiste
Waterstof	Vonkontstekingsmotor	Gekende technologie met nieuw brandstofsysteem	brandstofsysteem = vernieuwend		X	X						X			eerste trials en prototypes
	Hybride	waterstofmotor gecombineerd met batterij + elektromotor	Serieel / parallel hybride of combinatie		X	X								X	Concept analoog aan benzine hybride
	Brandstofcel + EM	Direct bruikbaar in PEM-brandstofcel			X	X		X				X			eerste trials
Ethanol / E85	Vonkontstekingsmotor	Klassieke technologie (beperkte aanpassingen)			X	X					X	X			klassieke technologie (commercieel in een aantal landen) + ruimte voor productverbetering (vooral gericht op emissieverlaging)
	Hybride	ethanolmotor gecombineerd met batterij + elektromotor			X									X	Concept analoog aan benzine hybride
	Brandstofcel + EM	met reformer (ethanol tot waterstof)			X	X								X	
Methanol / M85	Vonkontstekingsmotor	Klassieke technologie (beperkte aanpassingen)			X						X	X			klassieke technologie (commercieel in een aantal landen) + ruimte voor productverbetering (vooral gericht op emissieverlaging)
	Hybride	methanolmotor gecombineerd met batterij + elektromotor			X									X	Concept analoog aan benzine hybride
	Brandstofcel + EM	met reformer (methanol tot waterstof)			X	X						X			nog in trial en prototype fase
Synthetische benzine	Vonkontstekingsmotor	Klassieke technologie	+ lambdacontrole, OBD, catalysatoren, ...	X	X						X				klassieke technologie + ruimte voor productverbetering (vooral gericht op emissieverlaging)
	Hybride	Benzinemotor gecombineerd met batterij + elektromotor	Serieel / parallel hybride of combinatie		X									X	Eerste marktintroducties, fase van technologie-innovatie nog niet voltooid
	Brandstofcel + EM	met reformer (benzine tot waterstof)			X	X								X	eerste trials, maar technologie nog niet bewezen

		Omschrijving	Optie	Toepassingsgebied (Modi, categorie)					Innovatieniveau					Opmerkingen	
				Weg: tweewielers	Weg: personenwagens	Weg: vrachtwagens/bussen	Spoor	Binnenvaart	Opmerkingen	Commercieel	Marktintroductie	Prototypefase	Onderzoeksfase		Denkpiste
Batterijen	Elektromotor	Zuiver elektrisch voertuig, concept bestaat reeds lange tijd, batterijkeuze blijft evolueren			X	X				Vrachtwagens: stadsdistributie		X			Eerste marktintroducties, fase van technologie-innovatie nog niet voltooid
	Hybride	Combinatie batterijen / elektromotor + verbrandingsmotor			X	X				Vrachtwagens: stadsdistributie		X			Eerste marktintroducties, fase van technologie-innovatie nog niet voltooid
	Brandstofcel + EM	Batterijen dienen als buffer	Uitwerking reformers		X	X				Vrachtwagens: stadsdistributie			X		Marktintroducties zeer binnenkort, fase van technologie-innovatie nog niet voltooid

## **BIJLAGE B: PROCES VAN OPBOUW VAN DE DUURZAAMHEIDFICHE**

(Tekst is afkomstig uit het Intermediary Scientific Report van 2003)

During the year 2002 the main focus of this task laid on the development of the methodology and the definition of criteria for the screening, and the creation of the list of technologies. A first evaluation exercise is performed by several decision makers and results are expected in the beginning of 2003.

The selection and definition of the criteria for the screening of individual new technologies was a long and intense process. Several meetings were needed not only to define the technologies that were going to be subjected to the screening, but of course also the criteria.

In the first stage a brainstorm with experts in all major fields of sustainable development was held in order to identify the major criteria. The criteria had to reflect the technological, social, economical and environmental aspects of the technologies. On the basis of this brainstorm a work document was created, that circulated among the different experts. Several meetings later a draft version was ready. This document was presented to the user committee in June 2002. They had the opportunity to give comments on the document, as well as two other external experts. Their comments were integrated as much as possible. Some of the comments however could not be integrated due to one of the following reasons:

- The comment was irrelevant for this study or;
- The comment was relevant, but it is not possible to integrate these in the sheet, because it actually is an research on its own.

These reasons led to the following general assumptions that apply to the evaluation:

- The evaluation of the technologies will only take place within a mode and not between modes. The shift between modes will be incorporated in a later phase of the study, the mobility demand scenarios.
- The evaluation of technologies consists of an evaluation of power trains and the according fuel, no brands of cars. Therefore criteria that are linked to a certain type of car like trunk space, volume of the car, crash tests etcetera are not taken into account. These aspects will come to its expression during the consumers' questionnaire and the passenger car choice model. For example for a passenger car, a middle class car with 1400 – 2000cc is considered.

Criteria are scored using quantitative and qualitative criteria. Since many people were concerned with the coherence of the qualitative scores, the rating of these was done by mutual agreement among the researchers. Sources of information about the scoring of the criteria for a certain technology will be kept on a separate sheet. This sheet would also contain interesting data about non regulated emissions if available.

Criteria concerning technology transfer were integrated in one of the four domains that were already defined. They reflect things like the availability of the technology, the education needed to operate the technology and the cost of the technology.

One criterion will be extremely difficult to score: the social basis. Scoring will be done on a very rough base and will only give an indication. Data will be extracted from literature and experience from experts. More detailed information for a selection of technologies, will be gathered in the Technology Assessment studies and the consumers' questionnaire.

The result was thus a sustainability information sheet that consisted of 40 criteria in total. However, it was not possible to evaluate all the identified technologies with these due to the time and resources. Therefore, it was decided that a pre-screening had to take place. The criteria for the pre-screening were derived from the European Vision [1] on renewable fuels/energy and experience from former Vito projects. Of course attention was paid to the fact that the criteria reflected the four domains which were defined earlier: society, economy, environment and technology.

The pre-screening is done on the basis of a multi criteria method called ARGUS (Achieving Grades by Using ordinal Scales only) [2,3]. To be able to do this we needed the input of several decision makers that are aware of sustainable mobility. The multi criteria exercise is performed in two rounds: one with experts from Vito and one with the experts from the users' committee. Each decision maker could define his/her preference structure values and importance to defined criteria. The individual rankings are then gathered by the means of a GDSS (Group Decision Support System) and from which a group ranking of the technologies is generated [4].

Out of this ranking the technologies for a more detailed sustainability screening are selected.

## References

1. COM(2001) 547 final Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on alternative fuels for road transportation and on a set of measures to promote the use of biofuels.
2. De Keyser W. and Peeters P. (1994). "ARGUS – A new multiple criteria method based on the general idea of outranking", in Applying Multiple Criteria Aid for Decision to Environmental Management, Paruccini M. (ed.), ECSC EEC EAEC Brussels and Luxembourg, 263 – 278.
3. De Keyser W. (1996) "Exploring the enriched dominance graph of ARGUS", Interne publicatie V.U.B – Centrum voor statistiek en Operationeel Onderzoek, CSOOTW/269.
4. De Keyser W. & Peeters P. (2001). Group Decision making seen as a combinatorial optimisation problem, Presented at ORBEL 15, 15<sup>th</sup> Belgian Conference on Quantitative Methods and Decision Making, Antwerp, January 29-30, 2001.

## **BIJLAGE C: AANNAMES VOOR 1<sup>E</sup> SCREENING I.V.M. BRANDSTOF-PRODUCTIE**

Bron = “GM well-to-wheel analysis of energy use and greenhouse gas emissions of advanced fuel/vehicle systems – a European Study”, September 2002

### **Diesel:**

*Energieverlies:* 0.12 MJ/MJ

*GHG bij productie:* 10.4 g CO<sub>2</sub> equiv / MJ

- Grondstof = aardolie (European Crude Oil Mix)
- Specs volgens 2005 EU richtlijn & max 10ppm zwavelgehalte
- WTT omvat transport aardolie over zee (~7600km), brandstofproductie in raffinaderij, verdeling naar centrale depots, transport tot tankstation via wegtransport (~150km)

### **Biodiesel (RME):**

*Energieverlies:* 0.70 → 1.13 MJ/MJ

*GHG bij productie:* - 65.2 → 1.2 g CO<sub>2</sub> equiv / MJ

- Grondstof = koolzaad
- WTT omvat koolzaadteelt, oogst en vervoer (~50km) naar productieplant. Hier wordt de koolzaad tot olie geperst, gezuiverd en veresterd met methanol. Het ester wordt getransporteerd tot het tankstation via wegtransport (~150km).

### **Synthetische diesel uit aardgas (FT-diesel):**

*Energieverlies:* 0.74 MJ/MJ

*GHG bij productie:* 30 g CO<sub>2</sub> equiv / MJ

- European natural gas mix
- Verdeling aardgas via hoge-druk pijpleiding tot in centrale productie-eenheid.
- Zelfonderhoudende (= produceert eigen warmte en elektriciteit) FT-dieselproductieplant (Fisher-Tropsch).
- WTT omvat verdeling naar centrale depots en transport tot tankstation via wegtransport (~150km).

### **DME uit aardgas:**

*Energieverlies:* 0.70 MJ/MJ (schatting)

*GHG bij productie:* 30 g CO<sub>2</sub> equiv / MJ (schatting)

- European natural gas mix
- Verdeling aardgas via hoge-druk pijpleiding tot in centrale productie-eenheid.
- Zelfonderhoudende (= produceert eigen warmte en elektriciteit) DME-productieplant (synthese).
- WTT omvat verdeling naar centrale depots en transport tot tankstation via wegtransport (~150km).

**Benzine:**

*Energieverlies:* 0.16 MJ/MJ

*GHG bij productie:* 13.2 g CO<sub>2</sub> equiv / MJ

- Grondstof = aardolie (European Crude Oil Mix)
- Specs volgens 2005 EU richtlijn & max 10ppm zwavelgehalte
- WTT omvat transport aardolie over zee (~7600km), brandstofproductie in raffinaderij, verdeling naar centrale depots, transport tot tankstation via wegtransport (~150km)

**LPG:**

*Energieverlies:* 0.12 MJ/MJ (schatting~diesel)

*GHG bij productie:* 10.4 g CO<sub>2</sub> equiv / MJ (schatting~diesel)

- Grondstof = aardolie (European Crude Oil Mix)
- WTT omvat transport aardolie over zee (~7600km), brandstofproductie in raffinaderij, verdeling naar centrale depots, transport tot tankstation via wegtransport (~150km)

**Aardgas:**

*Energieverlies:* 0.20 MJ/MJ

*GHG bij productie:* 14 g CO<sub>2</sub> equiv / MJ

- CNG
- European natural gas mix
- Verdeling via pijpleiding tot in tankstation
- Lokaal opdrukken vanaf 0.1MPa tot 25 MPa voor voertuigtanks (250bar).

**Biogas:**

*Energieverlies:* 0.48 MJ/MJ

*GHG bij productie:* -48.7 (= - 56.7+ 8) g CO<sub>2</sub> equiv / MJ

- Fermentatie van organisch afval van huishoudens, horeca en voedingsindustrie tot biogas.
- Na zuivering methaangehalte tot 95%. Dit gas kan verdeeld worden tot in de tankstations in het aanwezige aardgasnet.
- Er wordt verondersteld dat geen bijkomend transport veroorzaakt wordt in vergelijking met afvalverwerking.
- Lokaal opdrukken vanaf 0.1MPa tot 25 MPa voor voertuigtanks (250bar). In tegenstelling tot de GM studie wordt hier verondersteld dat de compressor elektrische energie gebruikt uit het net (Belgische elektriciteitsmix).

**Methanol uit aardgas:**

*Energieverlies:* 0.63 MJ/MJ

*GHG bij productie:* 25 g CO<sub>2</sub> equiv / MJ

- European natural gas mix
- Verdeling aardgas via hoge-druk pijpleiding tot in centrale productie-eenheid.
- Zelfonderhoudende (= produceert eigen warmte en elektriciteit) methanolproductieplant (synthese).
- WTT omvat verdeling naar centrale depots en transport tot tankstation via wegtransport (~150km).



**Synthetische benzine uit aardgas (FT-Naphta):**

*Energieverlies:* 0.75 MJ/MJ

*GHG bij productie:* 32 g CO<sub>2</sub> equiv / MJ

- European natural gas mix
- Verdeling aardgas via hoge-druk pijpleiding tot in centrale productie-eenheid.
- Zelfonderhoudende (= produceert eigen warmte en elektriciteit) FT-Naphtaproductieplant (Fisher-Tropsch).
- WTT omvat verdeling naar centrale depots en transport tot tankstation via wegtransport (~150km).

**Waterstof uit aardgas:**

*Energieverlies:* 0.57 MJ/MJ

*GHG bij productie:* 88 g CO<sub>2</sub> equiv / MJ

- CGH<sub>2</sub> (opslag in voertuig onder hoge druk)
- European natural gas mix
- Verdeling aardgas via pijpleiding tot in centrale productie-eenheid.
- Zelfonderhoudende (= produceert eigen warmte en elektriciteit) waterstofproductieplant (stoomreformer).
- De waterstof wordt verdeeld via pijpleiding (~50km) tot aan tankstations. In de tankstations opgedrukt van 15 MPa tot 450 MPa voor in voertuigtanks.

**Waterstof uit elektrolyse (net):**

*Energieverlies:* 3.59 MJ/MJ

*GHG bij productie:* 128 g CO<sub>2</sub> equiv / MJ

- CGH<sub>2</sub> (opslag in voertuig onder hoge druk)
- Belgische elektriciteitsmix (2001, inclusief nucleair)
- Grote regionale elektrolyseplant.
- De waterstof wordt verdeeld via pijpleiding (~50km) tot aan tankstations. In de tankstations opgedrukt van 15 MPa tot 450 MPa voor in voertuigtanks.

**Waterstof uit elektrolyse (lokaal windmolenpark):**

*Energieverlies:* 0.65 MJ/MJ

*GHG bij productie:* 0 g CO<sub>2</sub> equiv / MJ

- CGH<sub>2</sub> (opslag in voertuig onder hoge druk)
- Lokale elektrolyseplant, met bijgelegen tankstation.
- De waterstof wordt opgedrukt tot 450 MPa voor in voertuigtanks.

**Waterstof uit biomassa:**

*Energieverlies:* 0.89 MJ/MJ

*GHG bij productie:* 23.2 g CO<sub>2</sub> equiv / MJ

- CGH<sub>2</sub> (opslag in voertuig onder hoge druk)
- Vergassing van aangeplante populieren (kan ook van residueel houtafval).
- Productie-eenheid van 10 MW<sub>th</sub> (vergassing tot synthegas + zuivering).
- WTT omvat populierteelt, oogst en transport (~50km) naar vergassingseenheid, vergassingsproces en zuivering van CO, transport door pijpleiding (~10km) naar tankstation. De waterstof wordt opgedrukt van 0.5 MPa tot 450 MPa voor in voertuigtanks.

**Ethanol:**

*Energieverlies:* 1.16 → 1.58 MJ/MJ

*GHG bij productie:* - 55.3 → 3.0 g CO<sub>2</sub> equiv / MJ

- Grondstof = suikerbiet
- WTT omvat suikerbieteelt, oogst en vervoer (~50km) naar productieplant. Hier wordt de biomassa bewerkt, gevolgd door fermentatie en distillatie. De ethanol wordt getransporteerd tot het tankstation via wegtransport (~150km).

**Elektriciteit (net):**

*Energieverlies:* 1.87 MJ/MJ

*GHG bij productie:* 80 g CO<sub>2</sub> equiv / MJ

- Belgische elektriciteitsmix (2001, inclusief nucleair)
- Oplading batterijen decentraal
- Energie uit batterijen met rendement van 70%

**Elektriciteit (lokaal windmolenpark):**

*Energieverlies:* 0.03 MJ/MJ

*GHG bij productie:* 0 g CO<sub>2</sub> equiv / MJ

- Oplading batterijen bij windmolenpark
- Energie uit batterijen met rendement van 70%

## **BIJLAGE D: RESULTATEN VAN DE VERSCHILLENDE SCENARIO'S**

### **Scenario 2: invloed van “afhankelijkheid van niet-hernieuwbare grondstoffen”**

Bij de presentatie van de criteria werd een opmerking gemaakt over het feit dat de criteria “continuïteit van de energievoorziening” en “afhankelijkheid van niet-hernieuwbare grondstoffen” sterk op elkaar geleken. Er werd ook gezien dat er een hoge correlatie bestond tussen deze twee criteria. Om na te gaan of er een grote versterking is van de twee criteria, wordt hier een van de twee weg gelaten en gekeken wat de invloed ervan is op de uiteindelijke rangschikking van technologieën.

#### *Personenwagens*

De rangschikking verandert slechts in beperkte mate. Het meest uitgesproken is de betere rangschikking voor Benzine hybride IDI, Benzine hybride DI en LPG vonkmotor.

#### *Vrachtwagens*

In dit scenario zijn er geen noemenswaardige veranderingen in de rangschikking van de TO's: hoog geplaatste TO's blijven dat en laag gerangschikte blijven achtereen staan.

### **Scenario 3: de invloed van de kost**

In dit scenario wordt geanalyseerd wat de impact op de rangschikking van de technologieën is indien het minst belangrijke criterium, de meerkost van brandstoftechnologie (crit 4; volgens de besluitnemers), achterwege wordt gelaten.

#### *Personenwagens*

In dit scenario zijn er geen noemenswaardige veranderingen in de rangschikking van de TO's: hoog geplaatste blijven dat en laag gerangschikte blijven achtereen staan.

#### *Vrachtwagens*

De rangschikking verandert slechts in zeer beperkte mate.

### **Scenario 4: invloed van de technologische component**

In dit scenario werd gekeken naar de impact op de rangschikking van de technologische component: energie-efficiëntie (crit 5).

#### *Personenwagens en vrachtwagens*

Het valt het op dat de traditionele technologieën, uitgezonderd elektrische voertuigen bijna allemaal aan het einde van de lijst hangen. Dit duidt wel degelijk op het feit dat energie-efficiëntie een belangrijk voordeel is van traditionele technologieën ten opzichte van alternatieven. Verder valt de hoge rangschikking op van de biodiesel motor.

Voor personenwagens ziet men tevens een duikt in de rangschikking voor elektrische voertuigen (batterij).

### **Scenario 5: enkel de drie beste criteria**

De beste technologieën uit dit scenario zijn gekomen door te kijken naar wat de besluitnemers als de drie beste criteria beschouwen. Deze zijn de continuïteit van de brandstof (crit 1), de energie-efficiëntie (crit 5) en de uitstoot van PM-emissies (crit 7).

#### *Personenwagens en vrachtwagens*

Met uitzondering van diesel die in dit scenario helemaal achteraan bengelt, zijn er in dit scenario evenmin noemenswaardige veranderingen in de rangschikking van de TO's.

### **Scenario 6: de toekomst**

In dit scenario wordt gekeken naar het toekomstige aspect van duurzame ontwikkeling gezien vanuit energetisch standpunt. Er wordt gekeken naar de technologieën die de beste resultaten geven indien naar de energiebehoefte wordt gekeken van toekomstige generaties. In dit scenario is het van belang dat de technologieën geïdentificeerd worden die nog lang beschikbaar zijn, zo weinig mogelijk afhankelijk zijn van niet-hernieuwbare grondstoffen, naar het potentieel op dat moment en de energie-efficiëntie waarmee het voertuig rijdt. Het is immers belangrijk dat een voertuig zo weinig mogelijk energie verbruikt, of dit nu hernieuwbare of niet-hernieuwbare betreft.

#### *Personenwagens*

De drie best gerangschikte brandstoftechnologie opties blijven dat ook in dit scenario. Er valt op dat in dit scenario's minder rangen voorkomen. Verder komen 5% biodiesel, 5% biodiesel hybride en diesel motor een heel stuk hoger in de rangschikking te staan.

#### *Vrachtwagens*

Bij vrachtwagens is de terugval van het aantal rangen nog veel meer uitgesproken 5 rangen t.o.v. 15 in het basisscenario. Ook hier zien we een hoge rangschikking van biodiesel in een dieselmotor.

### **Scenario 7: de Europese visie**

In dit scenario worden deze technologieën geïdentificeerd die het best aan de Europese visie beantwoorden. Dit wil zeggen dat er naar de continuïteit van de brandstof (crit 1) wordt gekeken en naar de uitstoot van broeikasgassen (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O; crit 6). Natuurlijk mag de energie-efficiëntie (crit 5) niet vergeten worden en de beschikbaarheid van de brandstof – technologie (crit 3).

### *Personenwagens*

Zoals in scenario 4 klimt ook hier de TO biodiesel motor hoger in de rangschikking. Ook de gewone dieselmotor is hoger dan in de overige scenario's (uitzondering scenario 6).

### *Vrachtwagens*

Ook hier komt biodiesel in dieselmotor in hoge rang (rang 3) te staan, er dient evenwel opgemerkt dat het aantal rangen 9 bedraagt t.o.v. 15 in het basisscenario.

## BIJLAGE E: VOORSELECTIE OP BASIS VAN ARGUS-OEFENING

In tabel A wordt een overzicht gegevens van de geselecteerde brandstoffentechnologie combinaties voor personenwagens. Tabel B toont het overzicht voor de selectie voor vrachtwagens. De TO's worden opgesplitst in vier groepen:

- de drie hoogste rangen in het Argus-basisscenario;
- redelijke scorende TO's;
- reeds op de markt zijnde TO's;
- conventionele TO's.

Uit de tabellen blijkt dat voor personenwagens 16 TO's overblijven. Voor vrachtwagens zijn dat er twaalf. Omwille van de uitgebreidheid van de duurzaamheidsfiche zal een verdere reductie van het aantal opties doorgevoerd worden dat wordt in eerste instantie gedaan via een expertenpanel. Het resultaat wordt vervolgens voorgelegd aan de gebruikersgroep ter commentaar.

*Tabel A: Overzicht geselecteerde technologische opties voor personenwagens*

Brandstof	Technologie
<b>Drie hoogste rangen Argus-basisscenario</b>	
H <sub>2</sub> uit biomassa	Brandstofcel
H <sub>2</sub> uit biomassa	Hybride
Elektriciteit van het net	Batterij en elektromotor
H <sub>2</sub> uit biomassa	Vonkontstekingsmotor
<b>Redelijke score (daarop volgende rang)</b>	
H <sub>2</sub> uit aardgas	Brandstofcel
Aardgas	Hybride
H <sub>2</sub> uit aardgas	Hybride
<b>Technologische opties reeds op de markt</b>	
Benzine	Hybride met indirecte brandstofinjectie
Aardgas	Vonkontstekingsmotor
Benzine	Directe brandstofinjectie
5% biodiesel	Dieselmotor
Biodiesel	Dieselmotor
<b>Conventionele TO's</b>	
Diesel	DI
Benzine	IDI
LPG	IDI

*Tabel B: Overzicht geselecteerde technologische opties voor vrachtwagens*

<b>Brandstof</b>	<b>Technologie</b>
<b>Drie hoogste rangen Argus-basisscenario</b>	
H <sub>2</sub> uit biomassa	Brandstofcel
H <sub>2</sub> uit biomassa	Vonkontstekingsmotor
H <sub>2</sub> uit biomassa	Hybride
H <sub>2</sub> uit aardgas	Brandstofcel
Elektriciteit van het net	Batterij en elektromotor
Redelijke score (daarop volgende rang)	
Methanol	Brandstofcel
Aardgas	Brandstofcel
Technologische opties reeds op de markt	
Biodiesel	Dieselmotor
Aardgas	Vonkontstekingsmotor
Benzine	Vonkontstekingsmotor
Biodiesel	Dieselmotor
Conventionele TO's	
Diesel	DI

**Public dissemination**

(Contract 011213)

# **Sustainability assessment of technologies and modes in the transport sector in Belgium(SUSATRANS)**

**Annex II: Sustainability evaluation of individual technologies (Task A)**

**S. Verbeiren<sup>1</sup>, I. De Vlieger<sup>1</sup>, L. Pelkmans<sup>1</sup>, W. De Keyser<sup>2</sup> and J. Springael<sup>3</sup>**

**Study commissioned by the Belgian Science Policy  
within the framework of SPSD II Sustainable consumption and Production  
Patterns**

**2003/IMS/R/142**



**VITO**

**October 2003**





## DISTRIBUTION LIST

secENE

2 ex.

### User's committee

Willy Bontinck (NMBS)  
Ivo Calcoen (Promotie Binnenvaart Vlaanderen)  
Donaat Cosaert (viWTA)  
Nancy da Silva (Min. Sociale Zaken, Volksgezondheid en Leefmilieu)  
Hadelin de Beer de Laer (Federaal Planbureau)  
Caroline De Bosscher (VMM)  
Lieve Goorden (STEM-UFSIA)  
Marleen Govaerts (Mobiliteitscel)  
Mundon-Izay Noti (SPF Mobilité et Transports)  
Michel Peelman (Febiac vzw)  
Hilde Van Dongen (DWTC)  
Tania Van Mierlo (Aminal-lucht)  
Joeri Van Mierlo (VUB-ETEC)

### <sup>1</sup> Vito

Ina De Vlieger  
Leen Govaerts  
Luc Pelkmans  
Sara Verbeiren

### CES-KUL

Jasper Knockaert

### Others

<sup>2</sup> Wim De Keyser (SIA bvba)  
<sup>3</sup> Johan Springael (Universiteit Antwerpen)



## TABLE OF CONTENTS

0	EXECUTIVE SUMMARY .....	1
1	INTRODUCTION .....	6
2	METHODOLOGY .....	7
2.1	DEFINITION OF SUSTAINABLE TECHNOLOGY (ST).....	7
2.2	REFERENCE SITUATION .....	8
2.3	DEFINING THE EVALUATION CRITERIA.....	9
2.3.1	<i>Screening</i> .....	14
2.3.2	<i>Sustainability evaluation</i> .....	16
2.4	METHODOLOGIES APPLIED TO THE DECISION PROBLEM .....	17
2.4.1	<i>The ARGUS multiple criteria method</i> .....	18
2.4.2	<i>Using the ARGUS-method as engine for a second type of GDS</i> .....	21
2.4.3	<i>Aggregating several lists of alternatives into one</i> .....	25
2.5	DETERMINING THE “IMPORTANCE” OF THE DIFFERENT ASPECTS .....	28
2.5.1	<i>Aim</i> .....	28
2.5.2	<i>Available data on the 4 aspects</i> .....	28
2.5.3	<i>Approach</i> .....	29
2.5.4	<i>Conclusion</i> .....	34
3	DESCRIPTION OF TECHNOLOGIES .....	35
3.1	FUELS .....	35
3.2	VEHICLES.....	37
3.2.1	<i>Light duty vehicles</i> .....	37
3.2.2	<i>Freight transport vehicles</i> .....	41
3.2.3	<i>Buses</i> .....	41
4	RESULTS – SUSTAINABILITY EVALUATION.....	44
4.1	IMPORTANCE OF THE CRITERIA.....	44
4.1.1	<i>Technological aspect</i> .....	44
4.1.2	<i>Social aspect</i> .....	45
4.1.3	<i>Economic aspect</i> .....	46
4.1.4	<i>Environmental aspect</i> .....	46
4.2	RESULTS AND DISCUSSION .....	47
4.2.1	<i>Passenger transport</i> .....	50
4.2.2	<i>Freight transport</i> .....	51
4.2.3	<i>Buses</i> .....	51
4.2.4	<i>Sensitivity analysis</i> .....	52
4.3	CLUSTERING OF THE DECISION MAKERS .....	53
4.3.1	<i>Aim</i> .....	53
4.3.2	<i>Clustering principle</i> .....	53
4.3.3	<i>Ecological aspect</i> .....	54
4.3.4	<i>Economical aspect</i> .....	55
4.3.5	<i>Sociological aspect</i> .....	56
4.3.6	<i>Technological aspect</i> .....	57

4.3.7	<i>Cluster representative</i> .....	57
4.3.8	<i>Conclusion</i> .....	58
5	CONCLUSIONS .....	59
GLOSSARY .....		62
GLOSSARY .....		62
REFERENCES .....		63
WEBSITES.....		65
NEDERLANDSE SAMENVATTING .....		66
<b>ANNEX A: DETAILED CALCULATIONS OF THE CLUSTERING OF DECISION MAKERS</b>		
<b>ANNEX B: AN INTRODUCTION TO GDS AND MULTIPLE GROUP DECISION PROBLEMS</b>		
<b>ANNEX C: RESULTS FROM THE SCREENING</b>		
<b>ANNEX D: GROUPRANKING OF THE TECHNOLOGIES ACCORDING TO THE FOUR MAIN ASPECTS</b>		
<b>ANNEX E: RESULTS OF THE SENSITIVITY ANALYSIS</b>		

## **0 EXECUTIVE SUMMARY**

SUSATRANS, acronym for “Sustainability assessment of technologies and modes in the transport sector in Belgium”, aims at making an integrated evaluation of policy measures with the purpose of a successful introduction of new technologies in the transport sector on the one hand, and a modal shift on the other hand. Sustainable mobility is the main idea behind the project.

Several new technologies were the subject of a sustainability assessment. This has to lead to a selection of sustainable transport technologies. For the actual penetration of more sustainable technologies and modes, policy measures will be presented and evaluated on the cost for the different stakeholders (users, technology developers and regulators) and the environmental impact for Belgium. A technology assessment will complete this study. Based on this multidisciplinary study, advices will be formulated to obtain a sustainable transport policy in the future.

This study is performed within the framework of the Federal Research Programme “Sustainable Production and Consumption Patterns”.

This report describes the results of the detailed sustainability evaluation that was performed within the project.

### **Definition of sustainability and criteria**

The definition of sustainability used for defining the criteria for the sustainability assessment of road transport technologies, is based on the definition given by Russel (Ed.) (1998; see also box 1 §2.1). Following the international trend some criteria describing north-south relations were added. Besides criteria in the domains of environment, society, economy and the north-south relation, importance was also given to some technological aspects since an evaluation of a technology was done. Figure 1 shows the criteria for the detailed sustainability assessment.

According to the definition of sustainability there are four major aspects to take into account: environmental, economic, social and technological. However, nowhere is it written that this should be done with an equal weighting to all aspects. 36 stakeholders in the areas of mobility, environment and sustainability science were asked to give their opinion on the weightings that should be attributed to these aspects. Through the means of a data analysis approach weights were assigned to the four aspects (Table 1). The environmental aspect is somewhat more important than the other 3 aspects.

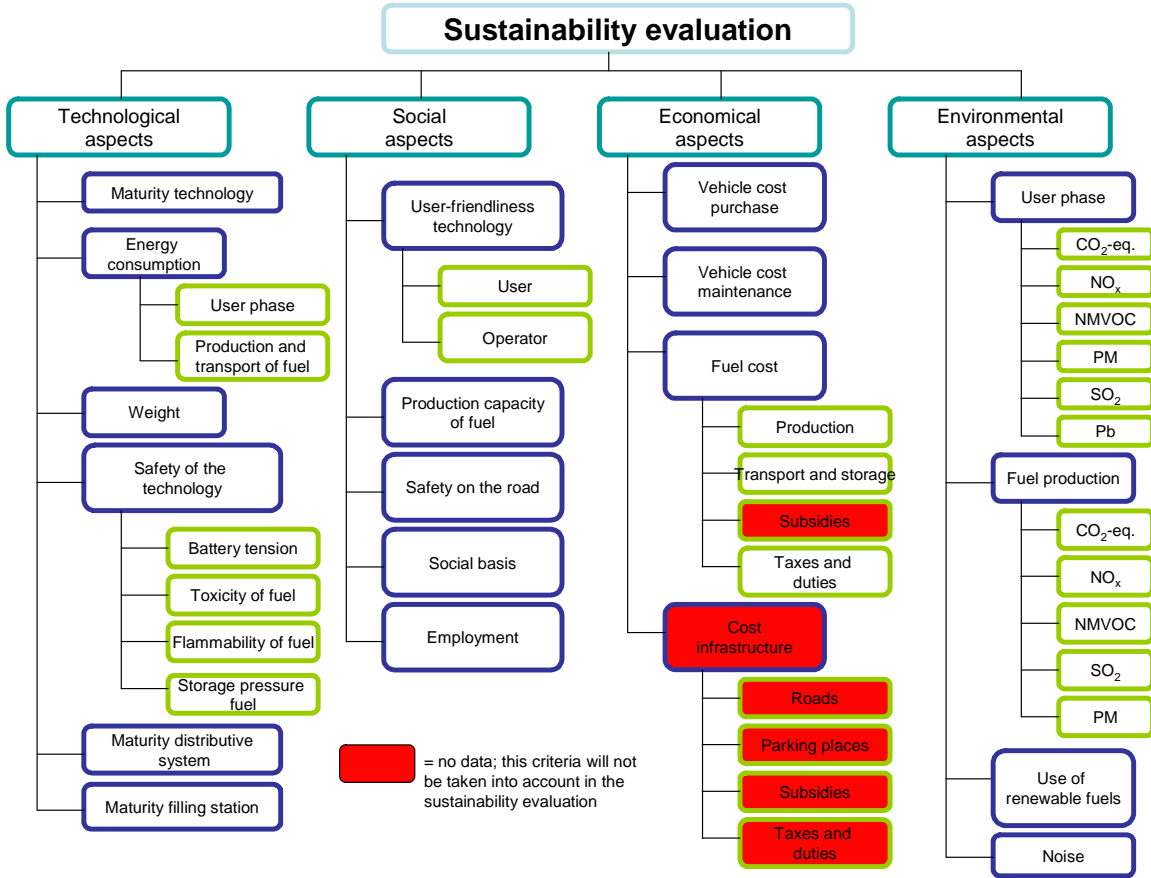


Figure 1: Criteria used to perform the sustainability evaluation

Table 1: Overview weights given to the sustainability aspects

	TECHNOLOGICAL	SOCIOLOGICAL	ECONOMICAL	ECOLOGICAL
Coefficients (data analysis)	9	10	9	12

Preferences and the importance of criteria were determined by 27 decision makers. Table 2 shows how many decision makers were involved in the evaluation of the different aspects.

Table 2: Number of decision makers per aspect

ASPECT	NUMBER OF DECISION MAKERS
Technology	18
Society	16
Economy	19
Environment	14

The detailed sustainability evaluation turned out to be a more complex and more time consuming exercise than expected. Quite some decision makers were involved in the exercise. The input needed from the decision makers was quite large. If in the future a similar exercise was to be conducted, it would be advisable to prepare the decision makers on the amount of work that will be expected from them before they commit themselves. Nevertheless there were decision makers who took the time and the researchers are most grateful for the efforts they made.

The process was long and complicated. Furthermore it asked a substantial effort of the decision makers. Since last year students were part of the decision makers, a cluster analysis was performed to see if their opinion differed from the opinion of other stakeholders. The outcome of this analysis showed that students could not be distinguished from other decision makers based on their scorings of the criteria.

The importance of certain criteria seemed higher than for others. For the technological aspects the decision makers considered the safety of the technology and energy consumption in general very important even as the energy consumption during production and transport of the fuel. Other relatively more important criteria (compared with the others) were safety on the road (social) and greenhousegas and particulate matter emissions during user phase (environment)<sup>1</sup>.

Criteria that were judged less important than the other ones in their category are: battery tension and storage pressure of the fuel (technology), user friendliness for the operator and employment (social), production cost and cost of transport and storage of the fuel (economy) and noise (environment).

## Results and discussion

To give an idea of the complexity of the exercise Table 3 shows the amount of files used during the evaluation.

*Table 3: Number of files used in the detailed sustainability evaluation*

	extension	file-type	used for	number	
input	arg	ARGUS data file	data of a multiple criteria (sub)problem	1495	4.034
	agd	ARGUS subcriteria import file	ARGUS results of subproblem to be imported as criteria	604	
	asf	ARGUS GDS import file	ARGUS results of one decision-maker to be imported in ARGUS GDS	893	
	acf	ARGUS preference structure	Preference structure of a criteria	1042	
GDS output	txt	text file	data files for GDS (year - transport-type level)	36	108
	txt	text file	results GDS heuristic method	72	
Clustering	txt	text file	data clusters (input)	56	233
	txt	text file	data to obtain cluster representatives (input)	56	
	txt	text file	cluster representatives (output)	60	
	jpg	screen capture	correlation tables	57	
	jpg	screen capture	overview	4	
				<b>4.375</b>	

<sup>1</sup> When there are no other criteria listed here, it does not mean that they are not important according to the DM's. The criteria listed here are the most important ones, the best ones, in their category. For example in the section economy, the rest of the criteria is being evaluated as important but none is the best.



The major results of the study are summarized below.

Gasoline *passenger cars* show no good performance for sustainability for the years 2000 and 2010. Reasons behind this can be the lower energy efficiency and the higher greenhouse gas exhaust of gasoline cars and the higher emissions during production of the fuel.

At present (2000) LPG and CNG passenger cars, directly followed by diesel and hybrid gasoline vehicles, score the best on the sustainability barometer. LPG and CNG vehicles will in the near future (2010) be overtaken by vehicles running on bio diesel. Passenger vehicle technologies running on diesel, still score quite good because of the introduction of the particle filter and the DeNOx converter. However, if these systems are not standard technology on 2010 diesel (bio diesel) vehicles, their sustainability would be considerably less.

In 2010 hybrid passenger cars and other alternatives will not yet be a viable alternative for conventional vehicles if sustainability is concerned.

Furthermore, there is a lack of clarity on the sustainability of electric passenger cars in 2010. No explanation can be given why the ranks vary so much. It could mean that there are only very small differences between the rankings of the technologies and that the electric vehicles could be equivalent to other conventional technologies. Hydrogen vehicles, however, are not yet very sustainable compared to other technologies.

In the midterm future (2020) electric passenger cars (charged from the net) and hybrid passenger cars (on CNG and diesel) will become more sustainable, as will fuel cell vehicles driven on hydrogen made from natural gas. Mind that other technologies on hydrogen (based on combustion engine technology) are less sustainable. This is because the production of hydrogen requires a lot of energy (and CO<sub>2</sub> emissions), while the hydrogen combustion engine is not significantly more efficient than conventional combustion engines (this in contrast to the fuel cell).

For passenger cars it can be concluded that in 2020 all technologies except hydrogen internal combustion engine technologies are well matched, due to :

- the technological evolution that vehicles on alternative fuels will have undergone;
- the reduction in costs for alternative vehicles and fuels that will have taken place.

An important fact within *road freight transport* is that synthetic diesel made from biomass would already rise above biodiesel and diesel on the short term (2010). Remarkable since the production capacity at that time is still very limited. It shows the potential of the fuel.

Looking at the results for *buses*, a striking result in the ranking of the present technologies (2000) is that electric buses score lower than conventional buses, even lower than buses that run on CNG. This is mainly due to the lower economic performance of electric buses at present. Their lifetime is currently quite low compared to conventional diesel buses and their purchase cost is considerably higher than for diesel buses.

In the near future (2010) there is no major shift on the rankings. Diesel buses (also considered here are diesel buses with addition of 5% bio diesel) with conventional engines

and hybrid still dominate. Lifetime of electric buses has increased and purchase cost dropped. Still it is not yet in a position to effectively compete with conventional technology. An exception is the hybrid diesel bus. It can be compared with a conventional diesel bus. The hybrid diesel bus has a slighter worse performance on the social aspects, but is more environmental friendly.

Only in 2020 alternatives for buses will become more sustainable and conventional technologies will drop in the ranking. Especially the improvement in economic performance is remarkable. This can be explained by the fact that the lifespan of electric, hybrid and fuel cell buses increases steadily. The increase in lifetime of the buses goes together with a decrease in purchase cost. The combination of these two aspects makes that the economic performance of these technologies improves a lot.

### **Future work**

The study highlighted environmental, technological, economic and social aspects of individual motor vehicle technologies for road transport. A good insight in the evolution of motor vehicle technologies and their associated fuels was obtained for a time horizon up to 2020. The different technologies were evaluated upon their power train and the according fuel, no brands were evaluated. Within the 'Ecoscore' project, Vito and the VUB are working on an environmental rating system for specific (~ brands) vehicles. However in the 'Ecoscore' study no economic or social criteria are taken into account. This study is financed by the Flemish Government (Aminal), results will be available in March 2005.

In the future it would be very interesting to investigate synthetic fuels more thoroughly. Especially for freight transport it seems to be a viable alternative. Unfortunately little is known about this fuel e.g. how can it be produced in an economical way?

## 1 INTRODUCTION

CO<sub>2</sub> emissions generated by transport - road transport and aviation in particular - will continue to rise significantly, if policy remains the same. It is a challenge for transport to contribute in fulfilling the Kyoto Protocol (Belgium reduction of greenhouse gases by 7,5 % in 2010 compared to 1990). Efforts also have to be made to fulfil the National Emissions Ceilings for NO<sub>x</sub> and VOC. Furthermore, transport is an important source for particulate matter emissions.

Therefore cleaner vehicles will be needed. However, technologies should not only be more environmental friendly, economic and social aspects should not be left out. These days technologies should be sustainable.

SUSATRANS, acronym for “Sustainability assessment of technologies and modes in the transport sector in Belgium”, aims at making an integrated evaluation of policy measures with the purpose of a successful introduction of new technologies in the transport sector on the one hand, and a modal shift on the other hand. Sustainable mobility is the main idea behind the project.

Several new technologies were the subject of a sustainability assessment. This has to lead to a selection of sustainable technologies. For the actual penetration of more sustainable technologies and modes, policy measures will be presented and evaluated on the cost for the different stakeholders (users, technology developers and regulators) and the environmental impact for Belgium. A technology assessment will complete this study. Based on this multidisciplinary study, advices will be formulated to obtain a sustainable transport policy in the future.

This study was the first part of a project, performed within the framework of the Federal Research Programme “Sustainable Production and Consumption Patterns”.

This report is the result of the first task in this study: the sustainability assessment of individual transport technologies for road transport. The task had different subtasks:

- Inventarisation of the available technologies for road and rail transport and inland shipping;
- Identification of sustainability criteria for road transport (screening and detailed evaluation);
- Assessment of the technologies according to the screening criteria + selection of the technologies for a detailed evaluation;
- Detailed sustainability assessment of the selected technologies.

The first subtask ‘inventarisation of the technologies’ is already reported in Verbeiren *et al.* (2003) and will not be repeated here. Chapter 2 describes the used methodologies in this task. Results of the screening can be found in Annex C. A more detailed description of this subtask can be found in Verbeiren *et al.* (2003). The main focus of this report is on the detailed sustainability assessment of road transport technologies for passengers vehicles, freight transport and buses in urban areas. Results of this assessment are presented in Chapter 4.

A sensitivity analyses was conducted by investigating the rankings of the technologies for 3 other scenarios (§4.2.4).

## 2 METHODOLOGY

This chapter explains the sustainability assessment methodologies. At first an explanation is given of what sustainable technology is (§2.1). In §2.2 a description is given of the reference technologies for the different modes that were evaluated. Paragraph 2.3 then focuses on the evaluation process itself and the identified criteria for the sustainability evaluation. Finally the methodologies on how the final ranking of the alternatives was obtained, are explained in § 2.4 and 2.5.

### 2.1 Definition of sustainable technology (ST)

The aim of this task was to evaluate transport technologies on their sustainability. Therefore a description of what is understood by sustainable technologies is needed. However there exist several definitions of sustainable technology.

Most of the sources however, like Dewulf & Van Langenhove (2001), the Swedish Delegation on Sustainable Technology, Carmichael (1999) and Weaver et al (2000) define sustainable technology only in ecological terms. Characteristics that reappear are:

- Minimisation of the use of resources (materials and energy)
- Maximisation of the efficiency of resources and energy
- Minimisation of emissions (waste, dangerous materials, ...)
- Maximisation of the use of renewable resources.

These definitions of ST, though, do not take into account the two other aspects of sustainability, being the social and economic aspect. Therefore it is better to speak of environmental technology (Valenduc & Vendramin, 1997). It illustrates as well that in our industrialized world, sustainable development is still often seen in its narrow sense i.e. sustainable development as the development of environmental friendly production and consumption patterns (Mulder, 1999).

Environmental technologies could lead the way to sustainable development if they take into account the socio-economic perspective of the technologies (Valenduc & Vendramin, 1997). An additional aspect however, that is taken more often into account when considering sustainable development, is the North-South relation (transfer of knowledge, division of welfare, etc.) (Valenduc & Vendramin, 1997; OECD, 1999). Major work in this field is being done by the Technology sub programme of the UNFCCC [1]. Examples of criteria are given by Metz *et al.* (2000).

When speaking about a sustainable technology, certain requirements have to be fulfilled. Sustainability is not some ingredient that can be added to a finished prototype, before final production.

The definition used for defining the criteria for the sustainability evaluation of technologies within this project, is based on the definition given by Russel (Ed.) (1998; see also box 1). Following the international trend some criteria describing north-south relations were added. Besides criteria in the domains of environment, society, economy and the north-south

relation, importance was also given to some technological aspects since an evaluation of a technology was done. The criteria that were defined to evaluate transport technologies on and more in particular road transport technologies are given in Figure 2.

**Box 1**

**Characteristics of sustainable technologies [Russel (Ed), 1998: p24]**

**Low environmental impact**

- Very low emissions to the environment in production, use and disposal.
- No toxic releases
- Benefit environment indirectly through uses and/or inherent efficiency

**Resource efficiency**

- Efficient utilization of material resources, often using recycled material
- Based on renewable resources and energy (or minimal use of non-renewable energy)
- Efficient consumption of energy in production and use
- Durable, re-usable and/or recyclable

**Economic advantages**

- Economically cost-effective compared to conventional product or service
- Incorporate externalities in market price
- Can be financed by the user through various financial saving streams
- Improve productivity or competitiveness of industry and commerce

**Social advantages**

- Enhance or maintain living standards or quality of life
- Readily available and easily accessible to all income groups and cultures
- Consistent with themes of decentralization, individual control and democracy

## 2.2 Reference situation

Since several criteria are hard to score on an absolute basis, it was decided that a reference technology and fuel should be defined. Table 4 gives the different reference technologies for the three modes of road transport that were submitted to the sustainability evaluation. So any criterion that has to be scored relatively to the reference technology, is related to this table.

*Table 4: Properties of the reference vehicles for road transport*

	SIZE	REFERENCE YEAR	FUEL	POWER TRAIN
Passenger transport (light duty)	Middle size car (1400-2000 cc; average occupation = 1,5 person)	2000	Diesel	Diesel engine
Urban passenger transport (heavy duty)	Bus (average occupation = 15 persons; length= 12m)			
Freight transport (heavy duty)	Truck (16-32 ton; average load = 40 % of max load)			

The following general assumptions apply to the evaluation:

- The evaluation of the technologies only takes place within a mode and not between modes. Shift between modes is incorporated in a later phase of the study, the mobility demand scenarios.
- The evaluation of technologies consists of an evaluation of power trains and the according fuel, no brands of cars. Therefore criteria that are linked to a certain type of car like trunk space, volume of the car, crash tests etcetera are not taken into account. These aspects will come to its expression during the consumers' questionnaire and the passenger car choice model.

### **2.3 Defining the evaluation criteria**

The selection and definition of the criteria for the screening of individual new technologies was a long and intense process. Several meetings were needed to define both the technologies that were subjected to the screening and the criteria.

In the first stage a brainstorm with experts in all major fields of sustainable development was held in order to identify the major criteria. The criteria had to reflect the technological, social, economical and environmental aspects of the technologies. On the basis of this brainstorm a work document was created, that circulated among the different experts. Several meetings later a draft version was ready. This document was presented to the user committee in June 2002. The user committee and two extra external experts had the opportunity to give comments on the document. Their comments were integrated as much as possible. Some of the comments however could not be integrated due to one of the following reasons:

- The comment was irrelevant for this study or;
- The comment was relevant, but it was not possible to integrate it in the study, because the comment actually is an research on its own.

Criteria were scored using quantitative and qualitative criteria. Since many people were concerned with the coherence of the qualitative scores, the rating of these was done by mutual agreement among the researchers. Sources of information about the scoring of the criteria for a certain technology were kept on a separate sheet. This sheet contains also interesting data about non regulated emissions if available.

Criteria concerning technology transfer were integrated in one of the four domains that were already defined. They reflect subjects like availability of the technology, education needed to operate the technology and the cost of the technology.

One criterion was extremely difficult to score: the social basis. Scoring was done on a very rough base and gave only an indication. Data were extracted from literature and experience from experts. More detailed information for a selection of technologies, will be gathered in the Technology Assessment studies and the consumers' questionnaire.

The result was thus a sustainability information sheet that consisted of 40 criteria in total (see Figure 2). A detailed description of the criteria is given in Table 5. However, it was not possible to evaluate all the identified technologies of the different modes on the criteria due

to the available time and resources. It was then decided that the sustainability evaluation would only take place for road transport technologies. Detailed data on inland shipping and rail technologies are not available to perform such a detailed evaluation. A state-of-the-art will be made for these two modes of transport.

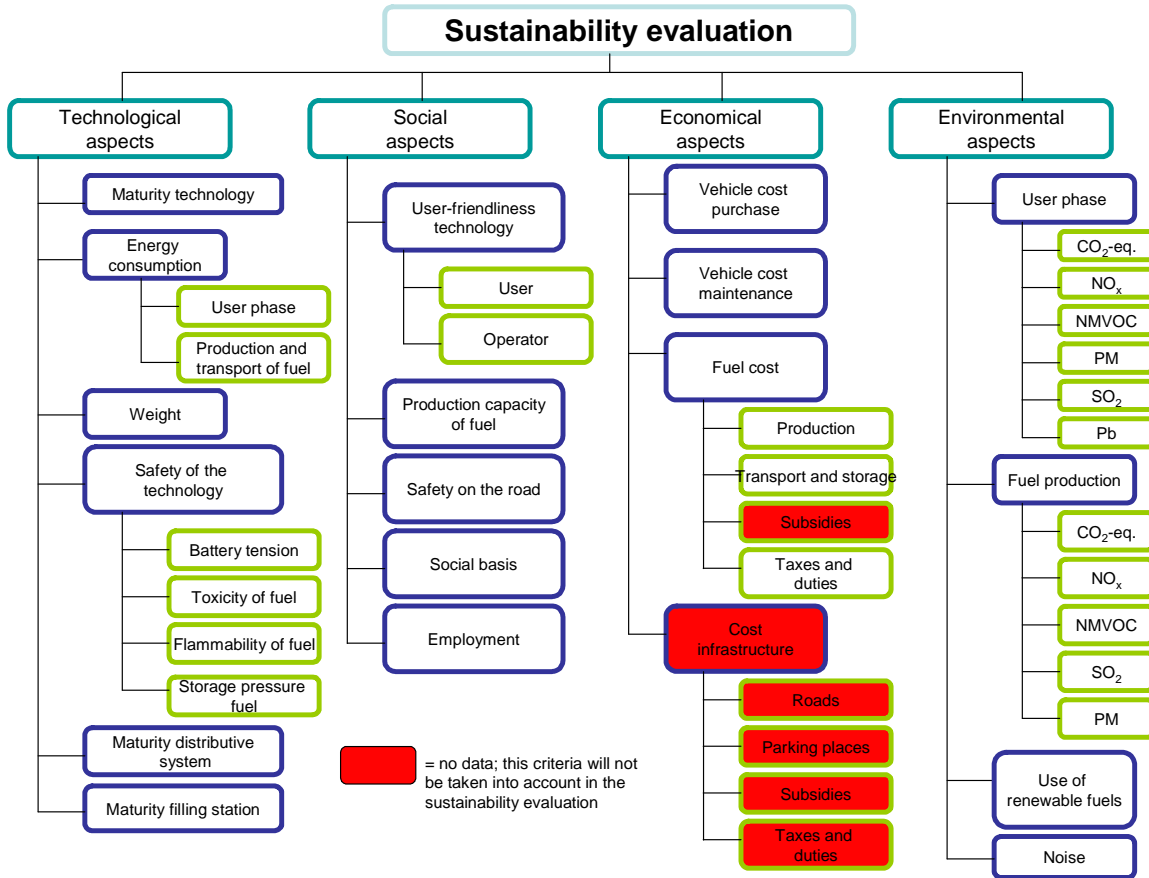


Figure 2: Criteria used to perform the sustainability evaluation

Table 5: Detailed description of the criteria for the detailed sustainability assessment of road transport technologies

No	CRITERION	DESCRIPTION	UNIT/VALUE	DOMAIN
1	Maturity technology	What is the development stage of the technology?	Futuristic technology Research phase Prototype phase First markt introduction Commercial technology	Technology
2	Energy consumption	This criterion is divided into two parts: the production and transport of the fuel (well-to-tank) and the use of the fuel (tank-to-wheel).(see also criteria 7 & 8)		Technology

N <sup>o</sup>	CRITERION	DESCRIPTION	UNIT/VALUE	DOMAIN
3	Weight	What is the bruto weight of the technology compared with what the technology can transport in netto with maximum load?	Persons: Kg/person Freight: Ton/Ton freight	Technology
4	Safety of the technology	This criterion is made of four sub criteria who in a whole describe the technological safety of the technology (see criteria 9, 10, 11 & 12)		Technology
5	Maturity fuel distribution network	Is the distribution network (pipelines etcetera) for the fuel satisfactory?	Whole new network needed; A big adjustment is needed; A substantial adjustment is needed; A small adjustment is needed; Existing network is satisfactory	Technology
6	Maturity filling stations	This criterion measures the state of the art of the refuelling stations according to the needs of the fuel.	Facilities do not exist; Facilities exist, but are not satisfactory; Existing facilities are satisfactory	Technology
7	Energy consumption in the user phase	How much energy is used by the technology during its use phase? (tank-to-wheel)	MJ/vkm	Technology
8	Energy consumption-production and transport of the fuel	If the fuel in my tank has an energy content of 1000 MJ, how much MJ of primary energy is needed to produce and transport the fuel to the vehicle? (well-to-tank)	MJ/MJ	Technology
9	Tension of the battery	How high is the tension on the battery in the vehicle?	High: > 50V Low: < 50V	Technology
10	Fuel toxicity	This criterion measures the toxicity of the fuel when there is direct contact with humans or nature.	7 toxicity classes: class 1: not toxic at all class 7: extremely toxic These classes are defined according to the Toxic Potential Indicator <sup>2</sup> , developed by Fraunhofer.	Technology
11	Inflammability of the fuel	Inflammability of the fuel	High: at room temperature. Medium: at room temperature with ignition sparks Low: higher temperatures needed	Technology
12	Storage pressure fuel	At what pressure should the fuel be stored to be able to transport it?	<u>High pressure</u> : ~200 bar <u>Limited pressure</u> : ~10 bar <u>Atmospheric</u>	Technology
13	User-friendliness technology	The criterion measures how easy to use the technology and the refuelling is for users and operators (see criteria 18 & 19)		Society

<sup>2</sup> Nissen, N.F., 2001, "Chapter 3.2: Das Schadstoffpotential oder Toxic Potential Indicator." In: *Entwicklung eines ökologischen Bewertungsmodells zur Beurteilung elektronischer Systeme* Doctoral Dissertation. Technical University of Berlin. Of de website: [www.pb.izm.fhg.de/ee/070\\_services/toolbox/](http://www.pb.izm.fhg.de/ee/070_services/toolbox/)



<b>Nº</b>	<b>CRITERION</b>	<b>DESCRIPTION</b>	<b>UNIT/VALUE</b>	<b>DOMAIN</b>
14	Production capacity of fuel	Is there enough fuel available so that everybody can use it?	None; Limited; Moderate; Satisfactory; Abundant	Society
15	Safety on the road	Has the safety of the technology for other road users changed relative to the reference technology?	Decreased; Equal; Increased	Society
16	Social basis	Does there exist a social basis for the introduction of the technology?	None; Small; Moderate; Big; Very big	Society
17	Employment	Relative to the reference technology, will there be a need for extra jobs in Belgium?	Strongly decreasing; Decreasing; Equal; Increasing; Strongly increasing	Society
18	User-friendliness for users	The criterion measures the user-friendliness of the filling of the tank for users.	Specialised personnel needed to tank fuel Everyone can tank fuel	Society
19	User-friendliness for operators	The criterion maps the knowledge one has to possess to be able to maintain the technology.	Higher education needed; Short re-education needed; Thorough self study needed; Short explanation of salesmen needed; No education or explanation needed	Society
20	Vehicle cost-purchase	Purchase cost of the vehicle on a yearly basis. The lifespan of the technology is incorporated in this criterion.	€/year	Economy
21	Vehicle cost-maintenance	Maintenance costs of the technology relative to the reference technology.	Much higher; Higher; Equal; Lower; Much lower;	Economy
22	Fuel cost	(see criteria 24-26)		Economy
24	Fuel cost-production	The cost of the production of the fuel.	Freight: €/tonkm Persons: €/personkm	Economy
25	Fuel cost-transport & storage	The cost of the transport and storage of the fuel.	Freight: €/tonkm Persons: €/pkm	Economy
26	Fuel cost- taxes and duties	The amount of tax that users have to pay to the authorities.	Freight: €/tonkm Persons: €/pkm	Economy
27	Emissions in the user phase	This criterion measures the emissions of the technology while driving it. (see criteria 31-36)		Environment
28	Emissions of fuel production	This criterion measures the emissions that are produced during the production of the fuel (see criteria 37-41)		Environment
29	Use of renewable fuels	The amount of renewable fuel that is use to run the technology	None; Small; Fair; Big; Very big	Environment

<b>№</b>	<b>CRITERION</b>	<b>DESCRIPTION</b>	<b>UNIT/VALUE</b>	<b>DOMAIN</b>
30	Noise	The level of noise produced by the technology relative to the reference technology	Increased; Equal; Decreased	Environment
31	UP-CO <sub>2</sub> -eq	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O en CH <sub>4</sub> -emissions during use.	CO <sub>2</sub> -equivalents	Environment
32	UP-NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub> -emissions during use.	g/km	Environment
33	UP-NMVOC	Non-Methane Volatile Organic compound- emissions during use	g/km	Environment
34	UP-PM	Particulate Matter emissions during use	g/km	Environment
35	UP-SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> -emissions during use	g/km	Environment
36	UP-Pb	Lead (Pb)-emissions during use	g/km	Environment
37	FP- CO <sub>2</sub> -eq	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O en CH <sub>4</sub> -emissions for fuel production	CO <sub>2</sub> -equivalents	Environment
38	FP-NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub> -emissions for fuel production	g/km	Environment
39	FP-NMVOC	Non-Methane Volatile Organic compound- emissions for fuel production	g/km	Environment
40	FP-SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> -emissions for fuel production	g/km	Environment
41	FP-PM	Particulate Matter emissions for fuel production.	g/km	Environment

Because of the large number of technologies and criteria, it was decided that a pre-screening had to take place. Given the available time and resources it was not possible to assess all the identified technologies on all 40 criteria. The criteria for the pre-screening were derived from the European Vision (COM, 2001) on renewable fuels/energy and experience from former Vito projects. Of course attention was paid to the fact that the criteria reflected the four domains which were defined earlier: society, economy, environment and technology (see Table 6).

*Table 6: Criteria for the pre-screening*

<b>№</b>	<b>CRITERION</b>	<b>DESCRIPTION</b>	<b>UNIT/VALUE</b>	<b>DOMAIN</b>
1	Continuity of energy supply	Measuring the future possibility to supply the fuel	Renewable fuel Stock for ≥ 100 years Stock for ≥ 50 years, but less than 100 y Stock for < 50 years	Social – economic (future)
2	Dependence of non-renewable resources	Measuring the % of the fuel derived from non-renewable resources	%	Environment (future)
3	Availability of the fuel	To what extent can the fuel satisfy the annual fuel need	Small Average Sufficient	Social - economic
4	Additional cost of the	How much more	Very high	Economic

<b>Nº</b>	<b>CRITERION</b>	<b>DESCRIPTION</b>	<b>UNIT/VALUE</b>	<b>DOMAIN</b>
	technology/fuel according to diesel	expensive is the fuel compared to the reference fuel, diesel in 2010	High Average Small Comparable	
5	Energy-efficiency (well – to – wheel)	The criterion measures how much energy is used to move the vehicle	MJ/km	Technology
6	Greenhouse gas emissions during production and users' phase	How much greenhouse gases have been emitted during the whole life cycle, production of the fuel and users' phase	CO <sub>2</sub> equivalents/km	Environment (global)
7	PM-emissions in the users' phase	The emission of particulate matter of the technology	g/km	Environment

### 2.3.1 Screening

The pre-screening, itself, was done on the basis of a multi criteria method called ARGUS (Achieving Grades by Using ordinal Scales only; see also §2.4) (De Keyser & Peeters, 1994; De Keyser, 1996). To be able to do this we needed the input of several decision makers that are aware of sustainable mobility. The multi criteria exercise was performed in two rounds: one with experts from Vito and one with the experts from the users' committee. Each decision maker defined his/her preference structure values and importance for the identified criteria. The individual rankings were then gathered by the means of a GDSS (Group Decision Support System) and from which a group ranking of the technologies was generated (De Keyser & Peeters, 2001). More detailed information about the used methods, can be found in §2.4, §2.5 and Annex B.

#### 2.3.1.1 Decision makers

The first screening was performed in two group sessions. In total 14 decision makers, with different backgrounds, stated their preferences and importance of the defined criteria. The following persons were involved:

##### Users committee:

Tania Van Mierlo, Aminal  
Hilde Van Dongen, PPS Science Policy  
Jasper Knockaert, CES-KUL  
Donaat Cosaert, viWTA  
Leen Wittevrongel, NMBS

##### Vito:

Erwin Cornelis  
Guido Wouters

Hendrik Van Rompaey  
 Ina De Vlioger  
 Leen Govaerts  
 Leo De Nocker  
 Luc Int Panis  
 Luc Pelkmans  
 Sara Verbeiren

### 2.3.1.2 Selection of technologies for further evaluation

The outcome of the ARGUS exercise resulted in 16 possible technologies for light duty vehicles and 12 possible options for heavy duty vehicles. Since the actual sustainability evaluation has been quite extensive, the number of technologies was further reduced via consultation of an expert panel, composed of project co-workers and experts on the subject of vehicle technologies at Vito. Table 7 and Table 8 show the technologies that were taken into account in the detailed sustainability evaluation. An overview of the results of the screening can be found in Annex C

*Table 7: Selected technologies for light duty vehicles*

<b>FUEL</b>	<b>PROPULSION SYSTEM</b>
<b>Conventional technology options</b>	
Gasoline	Indirect injection
Diesel	Direct injection
LPG	Indirect injection
<b>Alternative technology options</b>	
CNG	Hybrid
CNG	Spark ignition engine
Gasoline	Direct fuel injection
Gasoline	Hybrid with indirect fuel injection
5% Bio diesel	Diesel engine
Electricity (average Belgian mix)	Battery and electromotor
Hydrogen from NG	Fuel Cell
Hydrogen from NG	Hybrid
Hydrogen from NG	Spark ignition engine
Hydrogen from Biomass	Fuel Cell
Bio diesel	Diesel engine
Diesel	Hybrid

Bio diesel and a hybrid car running on diesel were included in the assessment after consultation of the user's committee on the first screening. Bio diesel (non-blended) was included because of the recent adoption of the European Directive 2003/30/EG. In this directive it is stated that by the year 2006 bio fuels should have a share of 2% and in 2011 a share of 5,75% of total fuel consumption. Another reason for inclusion of non-blended bio diesel, is that the Belgian Petrol Federation prefers non-blended bio fuels over blended ones (BPF, 2003).

Hybrid vehicles running on diesel were included because of the promising possibilities of the fuel and on request of the user's committee.

*Table 8: Selected technologies for heavy duty vehicles*

FUEL	PROPULSION SYSTEM
<b>Conventional technology</b>	
Diesel	Direct injection
<b>Alternative technology options (urban bus)</b>	
CNG	Spark ignition engine
Electricity (average Belgian mix)	Battery and electromotor
Hydrogen from NG	Fuel Cell
Bio diesel	Diesel engine
Diesel	Hybrid
5% Bio diesel	Diesel engine
<b>Alternative technology options (heavy duty – freight transport)</b>	
5% Bio diesel	Diesel engine
Synthetic diesel from Biomass	Diesel engine
Bio diesel	Diesel engine

### 2.3.2 Sustainability evaluation

The detailed sustainability evaluation turned out to be a more complex and more time consuming exercise than expected. Already in the stage of defining the criteria it became clear that the exercise would not be easy to perform.

To give an idea of the complexity of the exercise Table 9 gives the amount of files used during the evaluation.

*Table 9: Number of files used in the detailed sustainability evaluation*

	extension	file-type	used for	number	
<b>input</b>	arg	ARGUS data file	data of a multiple criteria (sub)problem	1495	<b>4.034</b>
	agd	ARGUS subcriteria import file	ARGUS results of subproblem to be imported as criteria	604	
	asf	ARGUS GDS import file	ARGUS results of one decision-maker to be imported in ARGUS GDS	893	
	acf	ARGUS preference structure	Preference structure of a criteria	1042	
<b>GDS output</b>	txt	text file	data files for GDS (year - transport-type level)	36	<b>108</b>
	txt	text file	results GDS heuristic method	72	
<b>Clustering</b>	txt	text file	data clusters (input)	56	<b>233</b>
	txt	text file	data to obtain cluster representatives (input)	56	
	txt	text file	cluster representatives (output)	60	
	jpg	screen capture	correlation tables	57	
	jpg	screen capture	overview	4	
				<b>4.375</b>	

The method used for the actual sustainability evaluation is the same as used in the screening phase, ARGUS. A lot of information was needed from decision makers and a lot of time was needed to gather the data needed to be able to perform the evaluation and to put the data from the decision makers in the evaluation programme.

### 2.3.2.1 Decision makers

Preferences and the importance of criteria were determined by 27 decision makers. 9 decision makers did the effort to complete a workbook for all the four aspects. Most of the remaining decision makers completed two workbooks and some of them completed one workbook. Table 10 shows how many decision makers were involved in the evaluation of the different aspects.

To obtain a bigger number of decision makers, the problem was not only presented to experts of Vito or the users group, but also to scientific staff and last year students at the University of Antwerp. Students and scientific staff from departments like sociology, economy, biology and commercial engineering participated in the exercise. Care was taken that these decision makers completed workbooks in the field of which they felt the most confident.

*Table 10: Number of decision makers per aspect*

ASPECT	NUMBER OF DECISION MAKERS
Technology	18
Society	16
Economy	19
Environment	14

## 2.4 Methodologies applied to the decision problem

Based on the amount of data and the required expertise of the decision makers, the decision problem at hand was identified as a multiple group decision problem: technological, sociological, economical and ecological aspects were defined.

The choice was made to:

- use the same approach (second type of GDS with the ARGUS multiple criteria method as engine<sup>3</sup>) for each of the four decision problems, so that a/o. experts who could give input on more than one aspect, could give their “decision maker”-specific data in a similar way.
- give the decision makers only the data relevant for expressing their “decision maker”-specific data (e.g. not list of alternatives, no link between evaluations and alternatives, ...)
- use a second type of GDS because this approach does not require to bring all involved decision makers together at one place at the same time (as needed in the first type of GDS); because there is no “Supra” decision maker (as required in the third type of GDS) and because the involved decision makers need a methodological support (the freedom offered in the fourth type of GDS is too large in the context of this study)
- use the ARGUS-method as engine was a/o. made because required “decision maker”-specific data is in the ARGUS-method at ordinal scale, which is experienced by decision makers as “easier” to express their preferences and importance’s.

---

<sup>3</sup> Annex B describes the different types of GDS that are mentioned in the text.

In the next sections the following methodological aspects are described and/or illustrated:

- the multiple criteria method ARGUS
- the use of the ARGUS-method as engine for a second type of GDS
- the method to aggregate several lists of alternatives into one list

**2.4.1 The ARGUS multiple criteria method**

ARGUS stands for **A**chieving **R**espect for **G**rades by **U**sing ordinal **S**cales only.

The basic assumptions are :

- The decision maker is able to order the criteria.
- The decision maker is able to express this preference, between two values on a criterion, on an ordinal scale.

See also (De Keyser and Peeters 1994)

*STEP 1 : MODELLING OF THE INTENSITY OF PREFERENCE.*

Used model : consider the evaluation of two alternatives  $x_i$  and  $x_j$  on the criterion  $f_h(x)$ :  $f_h(x_i)$  and  $f_h(x_j)$  and suppose  $f_h(x_i) > f_h(x_j)$  - $x_i$  is better than  $x_j$  on criterion  $h$ -. Based on  $f_h(x_i)$  and  $f_h(x_j)$ , the decision maker can express his intensity of preference, for alternative  $x_i$  compared to alternative  $x_j$ , by selecting one of the following qualitative values: indifferent, small preference, moderate preference, strong preference, very strong preference.

The decision maker has to determine for each criterion the scale of measurement:

If the scale is ordinal (or nominal), he has to:

- order the possible values from worst to best. Let  $v_1, v_2, \dots, v_k$  be the  $k$  possible values ordered from worst (=  $v_1$ ) to best (=  $v_k$ ).
- complete the following preference-matrix by filling the lower triangle of the matrix (with values from the list : indifferent, small preference, moderate preference, strong preference, very strong preference)

$f_h(x_j)$	$v_1$	$v_2$	..	$v_k$
$f_h(x_i)$				
$v_1$	indifferent		..	
$v_2$		indifferent	..	
:	:	:		:
$v_k$			..	indifferent

The following can be said about the values filled in in the lower triangle of a preference matrix:

- The value of a cell will be the same or a higher value as the cell above it (= same column).
- The value in a cell will be the same or higher value as the cell to its right (= same row).

indicate, if necessary, in the upper triangle of the preference matrix the discordances

If the scale is interval or ratio, he has to:

- indicate if the criterion must be MIN or MAX
- construct the ordinal preference structure based on the absolute (or relative) differences. So one of the two columns of the following table must be completed :

$f_h(x_i) \geq f_h(x_j)$	$d = f_h(x_i) - f_h(x_j)$	$\partial = (f_h(x_i) - f_h(x_j)) / f_h(x_i)$
indifferent	$0 \leq d < d_1$	$0\% \leq \partial < \partial_1\%$
small preference	$d_1 \leq d < d_2$	$\partial_1\% \leq \partial < \partial_2\%$
moderate preference	$d_2 \leq d < d_3$	$\partial_2\% \leq \partial < \partial_3\%$
strong preference	$d_3 \leq d < d_4$	$\partial_3\% \leq \partial < \partial_4\%$
very strong preference	$d_4 \leq d$	$\partial_4\% \leq \partial$

- indicate for which absolute (or relative) difference there is discordance

*STEP 2 : PREFERENCE MODELLING OF THE CRITERIA.*

The decision maker has to indicate for each criterion, by selecting one of the following value how important that criterion is for him: not important, little important, moderately important, very important, extremely important.

*STEP 3 : PROCESSING.*

Make the two by two comparisons of the alternatives on the criteria. This results for each couple of alternatives  $x_i, x_j$  in the following table :

	criteria preference	not important	little important	moderate. important	very important	extremely important
$f_h(x_i) > f_h(x_j)$	<b>very strong</b>	$f_{11}$	$f_{12}$	$f_{13}$	$f_{14}$	$f_{15}$
	<b>strong</b>	$f_{21}$	$f_{22}$	$f_{23}$	$f_{24}$	$f_{25}$
	<b>moderate</b>	$f_{31}$	$f_{32}$	$f_{33}$	$f_{34}$	$f_{35}$
	<b>small</b>	$f_{41}$	$f_{42}$	$f_{43}$	$f_{44}$	$f_{45}$
$f_h(x_i) = f_h(x_j)$	<b>indifferent</b>	$f_{51}$	$f_{52}$	$f_{53}$	$f_{54}$	$f_{55}$
$f_h(x_i) < f_h(x_j)$	<b>small</b>	$f_{61}$	$f_{62}$	$f_{63}$	$f_{64}$	$f_{65}$
	<b>moderate</b>	$f_{71}$	$f_{72}$	$f_{73}$	$f_{74}$	$f_{75}$
	<b>strong</b>	$f_{81}$	$f_{82}$	$f_{83}$	$f_{84}$	$f_{85}$
	<b>very strong</b>	$f_{91}$	$f_{92}$	$f_{93}$	$f_{94}$	$f_{95}$

E.g.  $f_{23}$  is the number of criteria, which are moderately important and where alternative  $x_i$  is preferred to alternative  $x_j$  with a strong intensity.

Note that 
$$\sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^5 f_{ij} = p$$



*STEP 4 : COMBINED PREFERENCE STRUCTURE.*

The decision maker has to rank all cells of the above table where  $f_h(x_i) > f_h(x_j)$  in order to get one overall appreciation of the comparison between alternative  $x_i$  and alternative  $x_j$ . Suppose the decision maker makes the following ranking:

1. very strong - extremely imp.
2. very strong - very imp. /strong - extremely imp.
3. very strong - moderately imp. /strong - very imp. /moderate - extremely imp.
4. very strong - little imp. /strong - moderately imp. /moderate - very imp. /small - extremely imp.
5. very strong - not imp. /strong - little imp. /moderate - moderately imp. /small - very imp.
6. strong - not imp. /moderate - little imp. /small - moderately imp.
7. moderate - not imp. /small - little imp.
8. small - not imp.

Based on the above ranking, two combined preferences with 'weights' variables can be constructed:

	CPW-( $f_h(x_i) > f_h(x_j)$ )	CPW-( $f_h(x_i) < f_h(x_j)$ )
1	$g_1 = f_{15}$	$h_1 = f_{95}$
2	$g_2 = f_{14} + f_{25}$	$h_2 = f_{85} + f_{94}$
3	$g_3 = f_{13} + f_{24} + f_{35}$	$h_3 = f_{75} + f_{84} + f_{93}$
4	$g_4 = f_{12} + f_{23} + f_{34} + f_{45}$	$h_4 = f_{65} + f_{74} + f_{83} + f_{92}$
5	$g_5 = f_{11} + f_{22} + f_{33} + f_{44}$	$h_5 = f_{64} + f_{73} + f_{82} + f_{91}$
6	$g_6 = f_{21} + f_{32} + f_{43}$	$h_6 = f_{63} + f_{72} + f_{81}$
7	$g_7 = f_{31} + f_{42}$	$h_7 = f_{62} + f_{71}$
8	$g_8 = f_{41}$	$h_8 = f_{61}$

The following relations can be deduced from these two variables:

If  $\forall r: \sum_{s=1}^r g_s = \sum_{s=1}^r h_s \quad r = 1, \dots, \delta$  then:  $x_i I x_j$  - $x_i$  is indifferent to  $x_j$ ;

if  $\forall r: \sum_{s=1}^r g_s > \sum_{s=1}^r h_s \quad r = 1, \dots, \delta$  then:  $x_i S x_j$  - $x_i$  is preferred to  $x_j$ ;

if  $\forall r: \sum_{s=1}^r g_s < \sum_{s=1}^r h_s \quad r = 1, \dots, \delta$  then:  $x_j S x_i$  - $x_j$  is preferred to  $x_i$ ;

in all other cases:  $x_i R x_j$  - $x_i$  is not comparable with  $x_j$ -

*STEP 5 : BUILDING AND EXPLORING THE RELATIONS.*

- Determine through the two combined preference with 'weights'-variables and by taking possible discordance into account whether there is a S-, I- or R-relationship between each couple of alternatives.
- Draw a graph with the S-relationships.
- Rank the alternatives. This is done as follows :

**0. Initialization :**

Let rank\_number = 0;  
Goto step 1;

**1. Determine the kernel(s) of the graph :**

Determine the alternatives that belong to the kernel by respecting the definition : the kernel of a graph is the set of nodes (= here alternatives) of the graph such that:

- ▶ no node from the kernel is preferred by another node of the kernel;
- ▶ all nodes outside the kernel are preferred by at least one node from the kernel.

(if there is more than one kernel –this can occur but is not so frequent-, take the unions of the kernels);

Goto Step 2;

**2. Place alternative at rank :**

Place the alternative(s) that belong to the kernel at rank: rank\_number;

Let rank\_number = rank\_number + 1;

Goto Step 3;

**3. Reduce graph :**

Remove the alternative(s) that belong to the kernel from the graph;

If the graph is not empty

then goto step 1;

**2.4.2 Using the ARGUS-method as engine for a second type of GDS**

In the second approach of GDS's there is a need for one multiple criteria method and the need for a set of so-called "decision maker"-specific data for each decision maker. So each decision maker must determine alone the required details of his "decision maker"-specific data. Of course all the involved decision makers must also agree on all aspects of the decision problem (alternatives, criteria, evaluations).

During the calculation phase of a second approach of GDS's, where  $p$  decision makers are involved,  $p$  multiple criteria problems with the same problem data (same alternatives, criteria and evaluations), but with different "decision maker"-specific data are considered and solved until a certain point. At that aggregation point, intermediate results of the  $p$  multiple criteria problems are aggregated and from there on the multiple criteria method continues as if it is solving a single multiple criteria problem and results in  $I$  ranking of the alternatives.

Using the ARGUS multiple criteria method (Figure 3) as engine in a second approach of GDS's means that it has to be determined :

- until which step in the calculation of the ARGUS method each of the  $p$  multiple criteria problems will be treated as  $p$  separate calculations (in other words, what is the aggregation point) ;
- what are at that aggregation point the intermediate results;
- how will these intermediate results be aggregated;

- what are the remaining steps during which the aggregated results are treated as if it were the results coming from a single multiple criteria problem;
- if and what is the impact of these aggregated results in these remaining steps.

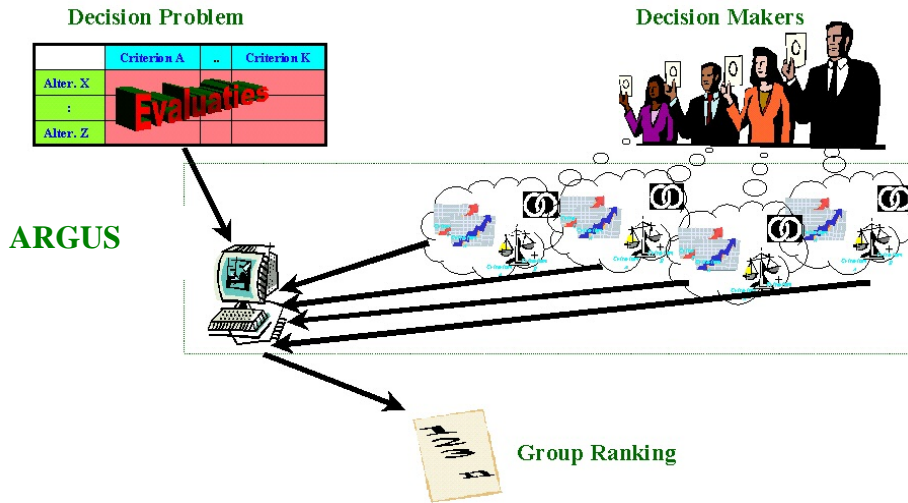


Figure 3: ARGUS as engine (second type of GDS)

**The aggregation point**

In step 4 of the ARGUS multiple criteria method the “combined preferences with 'weights' variables” are constructed and evaluated to determine the relations: for each pair wise comparison of alternatives there are  $p$  sets of two “combined preferences with 'weights' variables”. In other words for each pair wise comparison of alternatives there are  $p$  tables as the one shown in Table 11:

Table 11: “Combined preferences with ‘weights’ variables” for the pair wise comparison between alternatives  $x_i$  and  $x_j$  for decision maker  $k$

	$[\text{CPW}-(f_h(x_i) > f_h(x_j))]_k$	$[\text{CPW}-(f_h(x_i) < f_h(x_j))]_k$
1	$g_{1,k}$	$h_{1,k}$
2	$g_{2,k}$	$h_{2,k}$
3	$g_{3,k}$	$h_{3,k}$
4	$g_{4,k}$	$h_{4,k}$
5	$g_{5,k}$	$h_{5,k}$
6	$g_{6,k}$	$h_{6,k}$
7	$g_{7,k}$	$h_{7,k}$
8	$g_{8,k}$	$h_{8,k}$

If the combined preference structure has the same number of classes for each decision maker (e.g. 8 as shown in Table 11), then the  $p$  tables can be aggregated into one table E.g. Table 12:

Table 12: “Combined preferences with 'weights' variables” for the pair wise comparison between alternatives  $x_i$  and  $x_j$  for all decision makers

	$[\text{CPW}-(f_h(x_i) > f_h(x_j))]_k$	$[\text{CPW}-(f_h(x_i) < f_h(x_j))]_k$
1	$\sum_{k=1}^p g_{1,k}$	$\sum_{k=1}^p h_{1,k}$
2	$\sum_{k=1}^p g_{2,k}$	$\sum_{k=1}^p h_{2,k}$
3	$\sum_{k=1}^p g_{3,k}$	$\sum_{k=1}^p h_{3,k}$
4	$\sum_{k=1}^p g_{4,k}$	$\sum_{k=1}^p h_{4,k}$
5	$\sum_{k=1}^p g_{5,k}$	$\sum_{k=1}^p h_{5,k}$
6	$\sum_{k=1}^p g_{6,k}$	$\sum_{k=1}^p h_{6,k}$
7	$\sum_{k=1}^p g_{7,k}$	$\sum_{k=1}^p h_{7,k}$
8	$\sum_{k=1}^p g_{8,k}$	$\sum_{k=1}^p h_{8,k}$

Note that :

1. the values  $g_{s,k}$  and  $h_{s,k}$  are counts (number of criteria in favour for one alternative above another) and can be added together (and still respecting the level of measurement)
2.  $\sum_{s=1}^r g_{s,k} + \sum_{s=1}^r h_{s,k} = m$  where  $m$  is the number of criteria of the multiple criteria problem.
3.  $\sum_{k=1}^p \sum_{s=1}^r g_{s,k} + \sum_{k=1}^p \sum_{s=1}^r h_{s,k} = p.m$

As stated above, there is one condition that must be fulfilled : the combined preference structure has to have the same number of classes for each decision maker. If this condition is not fulfilled, this way of aggregating the intermediate results can not be applied.

### Impact on further steps after aggregation

There are no real special measures that has to be taken in the steps of the ARGUS-method after the aggregation point. The relations and the graph can be determined as described and the exploitation of the graph can also be done as described.

However an exception can be made in the determination of the relations. Since the definition of a not-comparable-relation is very severe, a relaxation can be considered so that some not-comparable-relations can be redirected to preference-relations. The following conditions form only a relaxation for a situation where the strict definition demands a not-comparable-relation while there are overwhelming indications of a preference-relation :

*Condition 1 :*

$$\begin{aligned} \text{For } l = 1, \dots, q-1 : \quad & \sum_{k=1}^p g_{l,k} = \sum_{k=1}^p h_{l,k} \\ \text{For } l = q : \quad & \sum_{k=1}^p g_{l,k} + 1 = \sum_{k=1}^p h_{l,k} \\ \text{For } l = q+1, \dots, r \quad & \sum_{s=1}^l \sum_{k=1}^p g_{s,k} \geq \sum_{s=1}^l \sum_{k=1}^p h_{s,k} \end{aligned}$$

where  $1 \leq q < r-1$

$$\text{Condition 2 : } \sum_{s=1}^r \sum_{k=1}^p g_{s,k} \geq 0,66 \text{ p.m}$$

Another “improvement” of the final result (= ranking of the alternatives) can be obtained when two options, which can be used when exploring the graph and which are aimed at reducing potential ex aequo’s at the different ranks, are taken in consideration.

**Option 1 :** The number of Indifference-relations between alternatives in same rank order are reduced by taking the preference-relations with other alternatives into account.

**Option 2 :** When no unique kernel exist –several alternatives are at that rank order-, the outranking-relations with other alternatives are taken into account to reduce the number of alternatives at that rank order.

For both options the same idea is used : when e.g. two alternatives are at the same rank order, the number of “incoming” and “outgoing” preference-relations of each alternative will be taken into account. Only the alternative with the highest difference between its “incoming” and “outgoing” preference-relations will stay at that rank order. If they have both the same difference between “incoming” and “outgoing” preference-relations then both alternatives will stay at that rank order.

In the case of using ARGUS as engine in a second type of GDS, these options are automatically applied to avoid as much as possible ex aequo’s at the different ranks.

### 2.4.3 Aggregating several lists of alternatives into one

#### Measurement

In order to determine the final ranking, a measure that indicates how well a ranking fits a given set of rankings is required. The construction of such a measurement is done in two steps.

First a measure of how well a ranking fits another ranking is selected. Since ranking is done on an ordinal scale, the rank correlation coefficient of Kendall (1938) is the obvious choice. Comparing a ranking with  $p$  other rankings results in  $p$  rank correlation coefficients. Secondly, the median of the  $p$  rank correlation coefficients is taken.

*Note 1* : The rank correlation coefficient is used to respect the ordinal character of rankings. So it is best to consider rank correlation coefficients as ordinal values. The median (or another percentile) and not the average is then the appropriate way of giving an consolidated view on a list of rank correlation coefficients.

*Note 2* : a ranking of the  $n$  alternatives can contain ties. In order to take these into account one should use an adapted version of Kendall's rank correlation coefficient (see e.g. Spitz (1971) for a clear description).

#### Calculation method

Consider  $n$  alternatives  $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ . A ranking of the alternatives can be represented by an  $n$ -tuple indicating for each alternative its rank number, e.g.  $(3, 1, \dots, 4)$  is a ranking of  $(a_1, a_2, \dots, a_n)$  where  $a_1$  is at rank 3,  $a_2$  is at rank 1, ... and  $a_n$  is at rank 4.

How many different rankings can be made ? Since there can be ties, the number of ranking groups  $g$  is at least equal to 1 and at most equal to  $n$ . It is clear that each ranking group contains at least one alternative and each alternative must belong to a ranking group. Thus, for a given number of ranking groups  $g$ , the number of different rankings is given by a permutation – with repetition – of  $n$  elements with amongst them  $q_1$  of rank 1,  $q_2$  of rank 2, ... and  $q_g$  of rank  $g$ . This can be described as :

$$\sum_{\substack{g \\ \sum_{j=1}^g q_j = n \\ q_j \in \mathbb{N}_0 \quad j=1, \dots, g}} \frac{n!}{q_1! \cdot q_2! \cdot \dots \cdot q_g!}$$

Note that when  $g = 1$  there is only one possible ranking and when  $g = n$  there are  $n!$  possible rankings.

It can be shown that there are  $\frac{(n-1)!}{(g-1)!(n-g)!}$  different possibilities for giving positive, non-

zero integer values to  $q_j \quad j=1, \dots, g$  such that  $\sum_{j=1}^g q_j = n$ .

The total number of different rankings is :

$$\sum_{g=1}^n \sum_{\substack{q_j \in \mathbb{N}_0 \\ j=1, \dots, g \\ \sum_{j=1}^g q_j = n}} \frac{n!}{q_1! \cdot q_2! \cdot \dots \cdot q_g!}$$

Hence, the problem can be seen as a combinatorial optimisation problem and can be solved by using an algorithm based on the branch and bound technique or an heuristic method e.g. simulated annealing.

### The used heuristic

The heuristic uses the concept of piecewise Kendall rank correlation. The idea is to calculate the Kendall rank correlation coefficient  $\tau_i$  of only the first  $i$  ( $2 \leq i \leq n$ ) alternatives instead of all  $n$ .

#### - Building an initial solution

The initial solution is constructed in  $n-1$  steps :

**Step 1 :** Only the first two alternatives A1 and A2 are taken in consideration. For the solution, only two possibilities are possible (note : the rank numbers are not important, what counts is that in the first possibility A1 is ranked before A2 and in the second possibility A2 is ranked before A1) :

Option 1:

A1	1°
A2	2°

Option 2:

A1	2°
A2	1°

For each possibility the median of the  $p$  piecewise Kendall rank correlation coefficients are calculated :  $\tau_{2,01}$  and  $\tau_{2,02}$ . The option with the highest median of the piecewise rank correlation coefficients is selected. Suppose  $\tau_{2,01} < \tau_{2,02}$

**Step 2 :** The next alternative A3 is taken in consideration. There are only three possibilities are now:

Option 3 :

A1	3°
A2	2°
A3	1°

Option 4 :

A1	3°
A2	1°
A3	2°

Option 5 :

A1	2°
A2	1°
A3	3°

For each possibility the median of the  $p$  piecewise rank correlation coefficients are calculated :  $\tau_{3,03}$  ,  $\tau_{3,04}$  and  $\tau_{3,05}$ . The option with the highest median of the piecewise rank correlation coefficients is selected. Suppose  $\tau_{3,04} < \tau_{3,03}$  and  $\tau_{3,05} < \tau_{3,03}$

**Step 3** : The next alternative A4 is taken in consideration. There are only four possibilities are now:

Option 6 :

A1	4°
A2	3°
A3	2°
A4	1°

Option 7 :

A1	4°
A2	3°
A3	1°
A4	2°

Option 8 :

A1	4°
A2	2°
A3	1°
A4	3°

Option 9 :

A1	3°
A2	2°
A3	1°
A4	4°

For each possibility the median of the  $p$  piecewise rank correlation coefficients are calculated :  $\tau_{4,06}$  ,  $\tau_{4,07}$  ,  $\tau_{4,08}$  and  $\tau_{4,09}$ . The option with the highest median of the piecewise rank correlation coefficients is selected.

**Step n-1** : The next (and last) alternative  $A_n$  is taken in consideration. There are only  $n$  possibilities are now ...

– Build and improve”-heuristic

The initial solution can, by slightly changing it, be improved. During the building process, the relative position of alternatives towards each other are fixed each time an alternative is added and is not changed any more during the building process. The positions of e.g. the first two alternatives are immediately fixed before the relative positions of the other alternatives are determined. Adding an alternative later in the building process can influence it's relative position towards the other alternatives. Once the initial solution is build, e.g. the first alternative can be removed from the solution and re-entered at another position that the one it had.

The heuristic can be described as follows :

- |                              |   |
|------------------------------|---|
| 1. <u>Start solution</u> :   | a solution is build as described in 2.4.3;<br>Let cycle_counter = 0;<br>Goto step 2;  |
| 2. <u>Improve solution</u> : | Let change_counter = 0;<br>For each of the n alternatives do the following :<br><ul style="list-style-type: none"> <li>a. Remove alternative from the solution;</li> <li>b. Consider the n possible solutions of adding the alternative in the ordered list of the n-1 other alternatives;</li> <li>c. Calculate for each of these n possible solutions the median rank correlation coefficient;</li> <li>d. Select the possible solution with the highest median rank correlation coefficient;</li> <li>e. If this solution is not the same as the one before removing the alternative then let change_counter = change_counter + 1;</li> </ul> Let cycle_counter = cycle_counter + 1;<br>Goto Step 3; |



3. Check potential :            If (change\_counter > 0) and (cycle\_counter <= n/2)  
    then goto step 2

This “build and improve”-heuristic has been made more efficient and effective by applying the following two ideas :

- during the heuristic several solutions are considered: do not only take the end solution in consideration but also the best of all these considered solutions;
- apply this heuristic but only to n-1 alternatives and force one alternative to be on the first place. This can be repeated for each alternative. Take the best solution encountered.

## 2.5 Determining the “importance” of the different aspects

Figure 2 shows that Vito’s interpretation of sustainable mobility rests upon four major pillars: technological, economic, social and environmental aspects. Sustainability however does not mean that these aspects are given equal weight. Therefore a survey was launched. Several stakeholders in the area of mobility, environment and sustainability science were contacted and asked to give weights to the different aspects.

### 2.5.1 Aim

For each aspect (technological aspect, sociological aspect, economical aspect and ecological aspect) a ranking of the alternatives was obtained by applying a second-generation GDSS approach. These four rankings of the alternatives will result in one single ranking after applying a fourth generation GDSS approach. In the used fourth generation GDSS approach different importance’s can be given to the 4 involved aspects. So each aspect has to receive a coefficient, which is an integer value. The sum of these coefficients may not be larger than 50.

### 2.5.2 Available data on the 4 aspects

36 people gave a score to each of the 4 aspects, see Table 13. They could each distribute 20 points over these 4 aspects.

*Table 13: Data from the decision makers*

	TECHNOLOGICAL	SOCIOLOGICAL	ECONOMICAL	ECOLOGICAL
A-LV	3	6	3	8
A-VEV	4	4	10	2
A-viWTA	4	6	3	7
A-VMM	3	4	7	6
A-VSV	3	6	5	6
B-ANRE	6	4	4	6
B-AWV PVL	2	6	7	5

	TECHNOLOGICAL	SOCIOLOGICAL	ECONOMICAL	ECOLOGICAL
B-kabinet chabert	6	7	3	4
B-Aminal	3	6	3	8
I-agoria	5	5	5	5
I-BPF	5	4	4	7
I-figas	6	1	0	13
I-NMBS	3	6	6	5
U-F.U.Ca.M.	2	6	6	6
U-Ulg	7	3	5	5
U-hiva	4	6	4	6
U-CES KUL	5	3	5	7
U-LUC	2	7	7	4
U-ULB	6	4	6	4
U-VUB	2	4	4	10
U-t&m	7	0	5	8
V-Vito1	7	6	3	4
V-Vito2	4	6	4	6
V-Vito3	4	6	4	6
V-Vito4	3	6	4	7
V-Vito5	2	4	6	8
V-Vito6	7	3	3	7
V-Vito7	5	3	6	6
V-Vito8	5	5	3	7
V-Vito9	4	6	4	6
V-Vito10	4	6	4	6
V-Vito11	4	6	4	6
V-Vito12	4	6	2	8
V-Vito13	7	3	4	6
V-Vito14	2	8	6	4
V-Vito15	6	5	4	5

### 2.5.3 Approach

Two approaches were examined. The first approach is a data analysis approach while the second approach is a statistical approach.

#### 2.5.3.1 Data analysis approach

In this approach the points given by each person on the four aspects are considered as coordinates.

In this way the data are nothing more than a cloud of 36 points in a 4 dimensional space. Note that each coordinate on any of the 4 dimensions is a value between 0 and 20. The best candidate to represent this cloud of 36 points is the gravity point:

	TECHNOLOGICAL	SOCIOLOGICAL	ECONOMICAL	ECOLOGICAL
gravity point	4,33	4,92	4,53	6,22

Unfortunately this gravity point does not fulfil the requirements of the searched coefficients. However, the point with integer coordinates that is closest (Euclidian distance) to the gravity point can be taken. The coordinates of this point fulfil the requirements.

	<b>TECHNOLOGICAL</b>	<b>SOCIOLOGICAL</b>	<b>ECONOMICAL</b>	<b>ECOLOGICAL</b>
“nearest gravity point” 1	4	5	5	6

The Euclidian distance between the gravity point and the “nearest gravity” point 1 is 0,6678  
Note that the sum of these coefficients is only 20. The second requirement stated that the sum should be less than 50.

Another point “closest” to the gravity point can be determined when looking for a point where the coordinates are either integer or 0,5

	<b>TECHNOLOGICAL</b>	<b>SOCIOLOGICAL</b>	<b>ECONOMICAL</b>	<b>ECOLOGICAL</b>
“nearest gravity point” 2	4,5	5	4,5	6

The Euclidian distance between the gravity point and the “nearest gravity” point 2 is 0,2913

As coefficients, the double of the coordinates can be taken :

	<b>TECHNOLOGICAL</b>	<b>SOCIOLOGICAL</b>	<b>ECONOMICAL</b>	<b>ECOLOGICAL</b>
Coefficients (data analysis)	9	10	9	12

Note that the sum of these coefficients is 40.

### 2.5.3.2 Statistical approach

In this approach some statistical techniques are applied to the data in order to get an idea of what the coefficients should be. At first, the data are seen as four distributions: there are 36 observed values for a “technological” distribution, 36 observed values for a “sociological” distribution,...

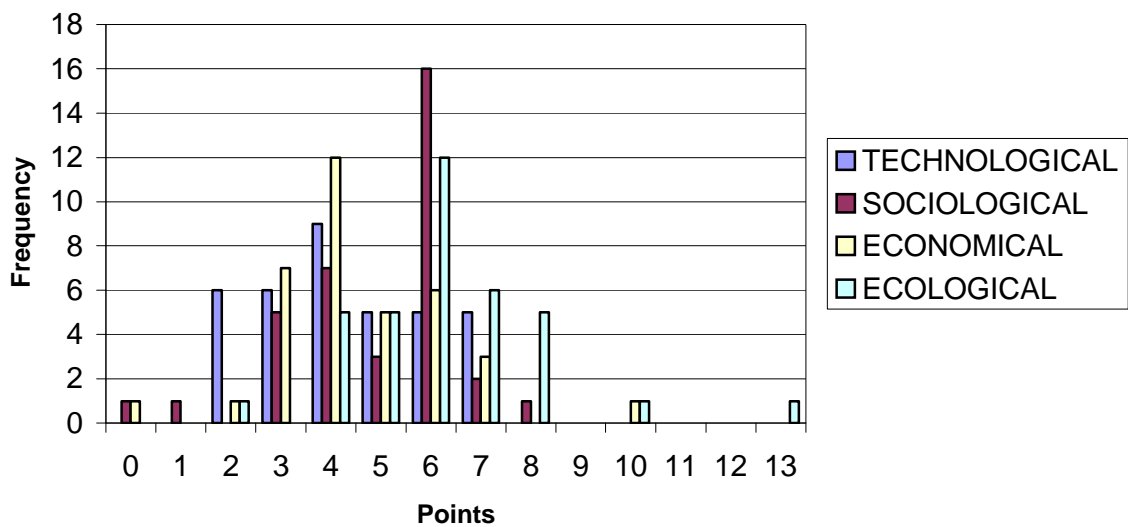


Figure 4: Observed distribution of the data for the four aspects

The first statistical questions that rises, is: have these distribution the same position, or are certain of these distributions shifted to the left or to right to certain other distributions? Seen the type of available data, the Mann-Whitney test looks the most feasible statistical test to answer these questions:

Question	Have the “sociological” distribution and the “economical” distribution the same location?
Statistical hypothesis	$H_0 : \xi_1 = \xi_2$ $H_1 : \xi_1 \neq \xi_2$ where $\xi_1$ is a parameter of position of the “sociological” distribution where $\xi_2$ is a parameter of position of the “economical” distribution
Statistical error	$\alpha = 5 \%$
Acceptance interval	[474; 822]
U	526
Statistical conclusion	$526 \in [474; 822] \Rightarrow \text{Accept } H_0$
Conclusion	the “sociological” distribution and the “economical” distribution have the same location

Question	Have the “ecological” distribution and the “economical” distribution the same location ?
Statistical hypothesis	$H_0 : \xi_1 = \xi_2$ $H_1 : \xi_1 \neq \xi_2$ where $\xi_1$ is a parameter of position of the “ecological” distribution where $\xi_2$ is a parameter of position of the “economical” distribution
Statistical error	$\alpha = 5 \%$
Acceptance interval	[474; 822]
U	307
Statistical conclusion	$307 \notin [474; 822] \Rightarrow \text{Reject } H_0, \text{ accept } H_1$

Conclusion	the “ecological” distribution and the “economical” distribution do not have the same location
------------	---

Question	Is the position of the “ecological” distribution shifted to the left compared to the position of the “economical” distribution ?
Statistical hypothesis	$H_0 : \xi_1 \leq \xi_2$ $H_1 : \xi_1 > \xi_2$ where $\xi_1$ is a parameter of position of the “ecological” distribution where $\xi_2$ is a parameter of position of the “economical” distribution
Statistical error	$\alpha = 5 \%$
Acceptance interval	$]-\infty; 794]$
$U_2$	990
Statistical conclusion	$990 \notin ]-\infty; 794] \Rightarrow$ Reject $H_0$ , accept $H_1$
Conclusion	the position of the “ecological” distribution is shifted to the right compared to the position of the “economical” distribution

Question	Have the “sociological” distribution and the “technological” distribution the same location ?
Statistical hypothesis	$H_0 : \xi_1 = \xi_2$ $H_1 : \xi_1 \neq \xi_2$ where $\xi_1$ is a parameter of position of the “sociological” distribution where $\xi_2$ is a parameter of position of the “technological” distribution
Statistical error	$\alpha = 5 \%$
Acceptance interval	$[474; 822]$
$U$	506
Statistical conclusion	$506 \in [474; 822] \Rightarrow$ Accept $H_0$
Conclusion	the “sociological” distribution and the “technological” distribution have the same location

Note : the Mann-Whitney test requires a/o. statistical independence between the two observed distributions. Because of the nature of the data (20 points must be distributed over 4 aspects) this statistical independence cannot be guaranteed. So the results of these tests should be considered as indications, not as being statistically proven.

The Wilcoxon matched-pairs signed-ranks test on the other hand can deal with paired data, but this test is not only a test on location but also on the distribution. In other words it tests if the two distributions are identical and if the location for both distributions is the same.

Question	Have the “sociological” distribution and the “economical” distribution the same location and the same distribution ?
Statistical hypothesis	$H_0$ : The difference between the members of each pair has median value zero and both distributions are identical $H_1$ : The difference between the members of each pair has median value different from zero and both distributions are not identical

Statistical error	$\alpha = 5 \%$
Acceptance interval	[117; 290]
W	254
Statistical conclusion	$254 \in [117; 290] \Rightarrow \text{Accept } H_0$
Conclusion	the “sociological” distribution and the “economical” distribution have the same location and the same distribution

Question	Have the “ecological” distribution and the “economical” distribution the same location and the same distribution ?
Statistical hypothesis	$H_0$ : The difference between the members of each pair has median value zero and both distributions are identical $H_1$ : The difference between the members of each pair has median value different from zero and both distributions are not identical
Statistical error	$\alpha = 5 \%$
Acceptance interval	[160; 369]
W	430
Statistical conclusion	$430 \in [160; 369] \Rightarrow \text{Reject } H_0, \text{ accept } H_1$
Conclusion	the “ecological” distribution and the “economical” distribution do not have the same location and/or the same distribution

Question	Have the “sociological” distribution and the “technological” distribution the same location and the same distribution ?
Statistical hypothesis	$H_0$ : The difference between the members of each pair has median value zero and both distributions are identical $H_1$ : The difference between the members of each pair has median value different from zero and both distributions are not identical
Statistical error	$\alpha = 5 \%$
Acceptance interval	[171; 391]
W	358
Statistical conclusion	$358 \in [171; 391] \Rightarrow \text{Accept } H_0$
Conclusion	the “sociological” distribution and the “technological” distribution have the same location and the same distribution

Since the statistical tests indicate that the location of the “technological”, “sociological” and “economical” distributions are the same, the median of the observed points over these three distributions can be taken as parameter of location for each of these three distributions. For the “ecological” distribution, the median of the observed points for this distribution can be taken :

	TECHNOLOGICAL	SOCIOLOGICAL	ECONOMICAL	ECOLOGICAL
Parameter of position	4	4	4	6

### 2.5.4 Conclusion

The two approaches result in two possible sets of coefficients :

	<b>TECHNOLOGICAL</b>	<b>SOCIOLOGICAL</b>	<b>ECONOMICAL</b>	<b>ECOLOGICAL</b>
Coefficients (data analysis)	9	10	9	12
Coefficients (statistical)	4	4	4	6

Both approaches indicate that there is no or little difference in the coefficients for the “technological”, “sociological” and “economical” aspects and that the “ecological” aspect has to have a higher coefficient.

Preference is given to the coefficients from the data analysis approach as they give somewhat more differentiation.

### 3 DESCRIPTION OF TECHNOLOGIES

This chapter gives a short explanation of the properties of the fuels and examined vehicles that were used in the actual sustainability evaluation. Technologies used in the screening phase are described in Verbeiren *et al.* [2003].

These are the main references used to obtain the figures and characteristics of the technologies described in the following chapters:

- General Motors Well-to-Wheel Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems – A European Study, L-B-Systemtechnik GmbH, September 2002.
- An overview of biofuels technologies, markets and policies in Europe, ECN, January 2003.
- Carbon to Hydrogen Roadmaps for passenger cars, Ricardo Consulting Engineers, November 2002.
- The prospects for a hydrogen economy based on renewable energy, L-B-Systemtechnik GmbH, November 2002 .
- On the road in 2020: a life-cycle analysis of new automobile technologies, Massachusetts Institute of Technology (MIT), October 2000.
- Schone voertuigen, verslag WP1 “Definitie van het begrip Schone Voertuigen”, VUB-ETEC & ULB-CEESE, December 2001.
- ESTO study “Trends in vehicle and fuel technologies”, Vito, MERIT, OPTI & JRC-IPTS, May 2003.

#### 3.1 Fuels

Most of the alternative fuels can be produced from various sources. Not all of the possibilities are looked at in this study. The fuel as it was taken into account in the sustainability evaluation, is described below.

##### 1. Fossil diesel

- Refined from crude oil
- Low sulphur content: < 10 ppm in 2010 and 2020; max 350 ppm in 2000
- Suited as fuel for diesel engines
- The current diesel fuel cost is taken (ref BPF, 17/04/2003). A surplus cost of 5% is assumed for desulphurization till 10 ppm.

##### 2. Fossil gasoline

- Refined from crude oil
- Low sulphur content: < 10 ppm in 2010 and 2020; max 150 ppm in 2000 (a surplus cost of 3% is assumed for desulphurization till 10 ppm)
- Suitable as fuel for spark ignition engine
- It is possible to reform onboard the gasoline to hydrogen and use it in a fuel cell



- The current gasoline fuel cost is taken (ref BPF, 17/04/2003). A surplus cost of 3% is assumed for desulphurization till 10 ppm.

### 3. LPG

- By-product of the refining process of crude oil and natural gas exploitation
- Storage in the vehicle in liquid form under a limited pressure (8-10 bar)
- Suitable as fuel in spark ignition engines
- The current LPG fuel cost is taken (ref BPF, 17/04/2003).

### 4. Natural Gas (NG)

- From natural gas exploitation
- Storage in the vehicle as a gas under high pressure (till 200bar) = Compressed natural gas (CNG).
- Suitable as fuel for spark ignition engines
- Production and transport cost of natural gas is kept constant at the current level.

### 5. Bio diesel

- Esterified rape seed oil, eventually also from other oil containing plants or recycled frying oil
- Suitable as fuel for diesel engines
- Mixing with fossil diesel possible
- Production cost in 2010 estimated on 0,50 €/liter; in 2000 10% higher and in 2020 10% lower due to scale effect.

### 6. Synthetic diesel

- Production via Fisher-Tropsch process from syngas (made from biomass)
- High level of purity and contains almost no sulphur and aromatics
- Suitable as fuel for diesel engines
- Production cost is estimated on 0,63 €/l in 2010; and 10% lower in 2020.

### 7. Hydrogen

- Production via steam reforming of natural gas, partial oxidation of biomass or via electrolysis (average Belgian electricity mix).
- Storage in the vehicle as a gas (CGH<sub>2</sub>) under high pressure (till 350 or even 700 bar)
- Suitable as fuel for spark ignition engines or for fuel cells
- For hydrogen from natural gas the cost in 2020 is estimated on 19 €/GJ for production and transport, the cost in 2010 is estimated 50% higher than for 2020.

### 8. Electricity

- Charging of batteries occurs through the electricity net
- The average Belgian electricity mix of 2001 is taken for the reference year 2000 and for 2010. In 2020 the electricity mix is assumed to approach the EU mix (closing down of nuclear power stations).
- The electricity cost is kept constant at the current level.

## 3.2 Vehicles

Above mentioned fuels are used in vehicles. The main characteristics of the vehicles are described in the following paragraphs. A description of the propulsion systems can be found in Verbeiren *et al.* (2003).

### 3.2.1 Light duty vehicles

#### 3.2.1.1 Light duty vehicles on diesel – conventional engine

- Middle class vehicle: 80 kW
- For 2000: euro 3 vehicle with following properties:
  - o fuel consumption: 5,5 l/100km (reference = figures from European homologation); evolution of consumption is assumed to have a yearly decrease of 0,6%; due to switching to mild hybrid a decrease in energy consumption of 15% is assumed in 2020
  - o weight: 1320 kg
  - o cost: € 15880 (excl VAT); the introduction of PM filters and DeNO<sub>x</sub> will increase the price by 3,3% in 2010; mild hybrid adds an extra 5% in 2020.
- Life time: 11 years
- Propulsion system: diesel engine
- For the years 2000 and 2010 the diesel system is common rail, for 2020 the engine is integrated in a mild hybrid system with a 42V battery system.
- Aftertreatment of emissions: Oxicat in 2000; + particulate filter and DeNO<sub>x</sub> in 2010 and 2020.

#### 3.2.1.2 Light duty vehicles on blended diesel (5% biodiesel) – conventional engine

See properties of diesel vehicles.

#### 3.2.1.3 Light duty vehicles on biodiesel - conventional engine

See properties of diesel vehicles .

#### 3.2.1.4 Light duty vehicles on gasoline (indirect injection) – conventional engine

- Middle class vehicle: 80 kW
- For 2000: euro 3 vehicle with the following properties:
  - o Consumption: 7,3 l/100km; evolution of consumption is assumed to have a yearly decrease of 0,6%; due to switching to a mild hybrid a decrease in energy consumption of 15% is assumed
  - o Weight: 1240 kg

- Cost: € 14050 (excl VAT), introduction of a variable valve control will bring along a rise in price of ~ € 1000, introduction of mild hybrid has an additional cost of 5% on top of it.
- Life time: 10 years
- Propulsion system: Otto engine IDI, Multi point injection, lambda 1 control with a 3-way catalytic converter (2000)
- In 2010: standard variable valve control; in 2020: mild hybrid (with 42V system).

#### 3.2.1.5 Light duty vehicles on gasoline (direct injection) – conventional engine

- Middle class vehicle: 80 kW
- For 2000: euro 3 vehicle with the following properties:
  - Consumption: 7,0 l/100km, a decrease of energy consumption of 10% is assumed in 2010; due to switching to a mild hybrid a decrease in energy consumption of 15% is assumed
  - Weight: 1270 kg (decreases with 20kg till 2020)
  - Cost: € 17300 (excl VAT); in 2010 an additional cost of € 1000, in 2020 an additional cost of € 750 is assumed compared to gasoline IDI,
- Life time: 10 years
- Propulsion system: Otto engine, direct injection with lean-burn control (2000)
- In 2010: standard variable valve control and DeNOx aftertreatment; in 2020: mild hybrid (with 42V system).

#### 3.2.1.6 Light duty vehicles on LPG (retrofit)

- Vehicle with the same properties as gasoline IDI; special properties:
  - extra weight for LPG-tank is assumed to be 50 kg
  - an additional cost of € 1750 (excl. VAT) is assumed for LPG system compared to gasoline IDI vehicle.

#### 3.2.1.7 Light duty vehicles on CNG (retrofit)

- Vehicle with the same properties as gasoline IDI; special properties:
  - extra weight of 100 kg is assumed for CNG tank – assumed to decrease to 90 kg in 2010 and 80 kg in 2020
  - additional cost of € 3500 (excl. VAT) is assumed for CNG system in 2000 ; € 3000 in 2010 and € 2500 in 2020.

#### 3.2.1.8 Light duty vehicles on hydrogen from NG- conventional engine

- Not available in 2000
- Middle class vehicle: 80 kW
  - Consumption: equivalent energy consumption to conventional IDI gasoline
  - Weight: extra weight to a IDI gasoline vehicle in 2010 is 150 kg and 120 kg in 2020

- Cost: Additional cost to a IDI gasoline vehicle: € 5000 (excl VAT) in 2010 and € 4000 (excl VAT) in 2020.
- Life time: 8 years in 2010; 9 years in 2020
- Propulsion system: Otto engine IDI multi point injection
- In 2010: standard variable valve control and mild hybrid (42V system) in 2020.

### 3.2.1.9 Light duty vehicles on diesel – parallel hybrid system

- Not yet available in 2000
- Middle class vehicle: 80 kW
  - Energy consumption: in 2010 20% lower than diesel, till 2020 a yearly decrease of 0,6% is assumed.
  - Weight: in 2010 40 kg more than diesel vehicle, 20 kg in 2020 more than diesel vehicle
  - Cost: € 5000 more than diesel vehicle in 2010, € 2500 in 2020.
- Life time: 11 years
- Propulsion system: diesel engine – common rail with DeNOx and particulate filter (2010 and 2020); charge sustaining (no recharging from the net), battery technology: in 2010 NiMH, in 2020 Li-Ion.

### 3.2.1.10 Light duty vehicles on gasoline – parallel hybrid system

- Middle class vehicle: based on Toyota Prius, model year 2000
  - Consumption (2000): 5,1 l/100km; assumption of a yearly decrease of 0,6% till 2020
  - Weight: 1250 kg (2000); for 2010 extra weight of 100 kg compared to gasoline IDI vehicle; for 2020 extra weight of 80 kg compared to gasoline IDI vehicle
  - Cost: € 19240 (2000); for 2010 extra cost of € 5000 compared to gasoline IDI vehicle; for 2020 extra cost of €2500 compared to gasoline IDI vehicle.
- Life time: 10 years
- Battery technology in 2000 and 2010: NiMH, in 2020 Li-Ion, charge sustaining (no recharging from the net)
- Propulsion system: Otto engine IDI, lambda 1 control and 3-way catalytic converter.

### 3.2.1.11 Light duty vehicle on CNG – parallel hybrid

- Not available in 2000
- Vehicle properties – see gasoline IDI vehicle
  - Energy consumption: equivalent to gasoline hybrid
  - Weight: extra weight due to CNG tank (reference gasoline hybrid) is 80 kg in 2010 and 50 kg in 2020
  - Cost: additional cost (reference gasoline hybrid) is €3000 in 2010 and €2500 in 2020.
- Life time: 10 years

- Propulsion system: dedicated NG engine: IDI, lambda 1 control + 3-way catalytic converter
- Battery technology: in 2000 and 2010 NiMH and in 2020 Li-Ion.

#### 3.2.1.12 Light duty vehicle on hydrogen from NG – parallel hybrid

- Not available in 2000
- Vehicle properties – reference hydrogen vehicle
  - o Energy consumption: see reference
  - o Weight: 100 kg in 2010 and 80 kg in 2020 more than reference
  - o Cost: in 2010 € 5000 and in 2020 € 2500 more than reference.
- Life time: 8 years in 2010 and 9 years in 2020
- Propulsion system: Otto engine MPI, lean burn control
- Battery technology: in 2000 and 2010 Ni MH and in 2020 Li-Ion, charge sustaining (no recharging from the net).

#### 3.2.1.13 Light duty vehicle on electricity

- Vehicle model - reference gasoline IDI vehicle
  - o Energy consumption: 0,75 MJ/km in 2000; assumption of a yearly decrease of 0,6% till 2020
  - o Weight: extra weight compared to reference is 300 kg in 2000, 250 kg in 2010 en 200 kg in 2020
  - o Cost: additional costs to the reference are estimated on € 15000 in 2000, € 10000 in 2010 and € 7500 in 2020.
- Life time: 8 years (2000); 10 years (2010) and 11 years (2020)
- Propulsion system: electromotor
- Battery technology in 2000 Ld-Ac; in 2010 NiMH and in 2020 Li-Ion; recharging at night from the net.

#### 3.2.1.14 Light duty vehicle on hydrogen from NG or biomass – fuel cell

- Not available in 2000
- Vehicle properties – reference is gasoline IDI
  - o Energy consumption: estimation of 50% less energy consumption than reference; assumption of yearly decrease of 0,6% till 2020
  - o Weight: extra weight to reference in 2010 is 350 kg and in 2020 250 kg
  - o Cost: extra cost compared to the reference in 2010 is estimated on € 26600, in 2020 € 8900.
- Life time: 5 years in 2010 and 9 years in 2020
- Propulsion system: fuel cell PEMFC – 80 kW.

### 3.2.2 Freight transport vehicles

#### 3.2.2.1 Truck on diesel

- Vehicle properties:
  - o Energy consumption: long distance traffic; is supposed to have a yearly decrease of 0,6% till 2020
  - o Weight: a typical 30-tonner (12,5 ton own weight – 17,5 ton loading capacity; average loading of 40% is assumed); own weight is supposed to decrease yearly with 0,6%
  - o Cost: € 200000 in 2000; additional cost of introduction of oxicat and SCR is estimated on € 10000 (2010) and (still extra) of particulate filter is € 5000.
- Life time: 20 years
- Propulsion system: diesel engine direct injection (from 2010 on common rail)
- From 2010 on oxicat en SCR and in 2020 particulate filter (aftertreatment).

#### 3.2.2.2 Truck on blended diesel (5% biodiesel)

See truck on diesel.

#### 3.2.2.3 Truck on biodiesel

See truck on diesel.

#### 3.2.2.4 Truck on synthetic diesel from biomass

See truck on diesel.

### 3.2.3 Buses

#### 3.2.3.1 Bus on diesel – conventional engine

- Typical 12 meter bus (average of 15 passengers) for urban transport
- Vehicle properties:
  - o Energy consumption: (euro 2 bus – 2000) afterwards a yearly decrease in emissions of 0,6% till 2020
  - o Weight: from 2010 on a yearly decrease in weight of 0,6% till 2020
  - o Cost: € 200000 in 2000; additional cost of introduction of oxicat and SCR is estimated on € 10000 (2010) and (still extra) of particulate filter is € 5000.
- Life time: 20 years
- Propulsion system: diesel engine direct injection (from 2010 on common rail)
- Emissions treatment: in 2010 oxicat and SCR, in 2020 particulate filter.

### 3.2.3.2 Bus on blended diesel (5% biodiesel) – conventional engine

See bus on diesel.

### 3.2.3.3 Bus on biodiesel – conventional engine

See bus on diesel.

### 3.2.3.4 Bus on diesel – parallel hybrid

- Not yet available in 2000 – reference is conventional diesel bus
- Typical 12-meter bus (average of 15 passengers) for urban transport
- Vehicle properties:
  - o Energy consumption: 15% less consumption than conventional diesel bus
  - o Weight: additional weight to reference of 1200 kg in 2010 and 1000 kg in 2020
  - o Cost: additional cost to reference of 15% in 2010, afterwards a constant cost.
- Life time: 15 years in 2010 and 18 years in 2020
- Propulsion system: diesel engine direct injection with common rail from 2010, parallel hybrid with limited electrical autonomy; Emissions treatment: in 2010 oxicat and SCR, in 2020 particulate filter
- Battery technology: NiMH in 2010 and Li-Ion in 2020.

### 3.2.3.5 Bus on CNG – conventional engine

- Typical 12-meter bus (average of 15 passengers) for urban transport
- Vehicle properties:
  - o Energy consumption: is supposed to have a yearly decrease of 0,6% till 2020
  - o Weight: additional weight to reference of 1800 kg in 2000, 1400 kg in 2010 and 1200 kg in 2020
  - o Cost: additional cost to reference in 2000 is 20%, afterwards a constant cost.
- Life time: 12 years in 2000, 15 years in 2010 and 2020
- Propulsion system: Otto engine multi-point injection, lambda 1 controle + 3-way converter.

### 3.2.3.6 Bus on hydrogen from NG – fuel cell

- Typical 12-meter bus (average of 15 passengers) for urban transport
- Vehicle properties:
  - o Energy consumption: fuel cell efficiency 50% better than conventional diesel bus
  - o Weight: additional weight to reference of 2000 kg in 2010 and 1800 kg in 2020
  - o Cost: additional cost to reference of € 80500 in 2010 and € 42000 in 2020.

- Life time: 12 years in 2010 and 15 years in 2020
- Propulsion system: fuel cell PEMFC – 150 kW.

### 3.2.3.7 Electric bus

- Typical 12-meter bus (average of 15 passengers) for urban transport
- Vehicle properties:
  - o Energy consumption: 2 kWh/km, afterwards a yearly decrease of 0,6% till 2020
  - o Weight: additional weight to reference of 3000 kg in 2000, 2500 kg in 2010 and 2000 kg in 2020
  - o Cost: additional cost to reference of € 75000 in 2000, € 50000 in 2010 and € 37500 in 2020.
- Life time: 12 years in 2000, 15 years in 2010 and 18 years in 2020
- Propulsion system: electromotor
- Battery technology: Ld-Ac in 2000, NiMH in 2010 and Li-Ion in 2020.



## 4 RESULTS – SUSTAINABILITY EVALUATION

### 4.1 Importance of the criteria

It is interesting to see what the key elements are for decision makers looking at sustainable mobility. Therefore an analysis is made of the importance that was given to the criteria by the decision makers.

Abbreviations used in the figures and text: NI=not important; LI=little important; MI=moderate important; VI=very important; EI=extremely important.

#### 4.1.1 Technological aspect

Figure 5 and Figure 6 visualise the importance of the criteria for the technological aspect. Safety of the technology (EI=7; VI=6) and energy consumption (EI=9; VI=8) in general and in the use phase (EI=6; VI=11) are the most important criteria within this aspect. It is important to keep in mind that on total some 18 decision makers (DM's) evaluated this aspect. The least important criteria are weight (NI=3; LI=4), storage pressure (NI=4; LI=4) and tension of the battery (NI=5; LI=8).

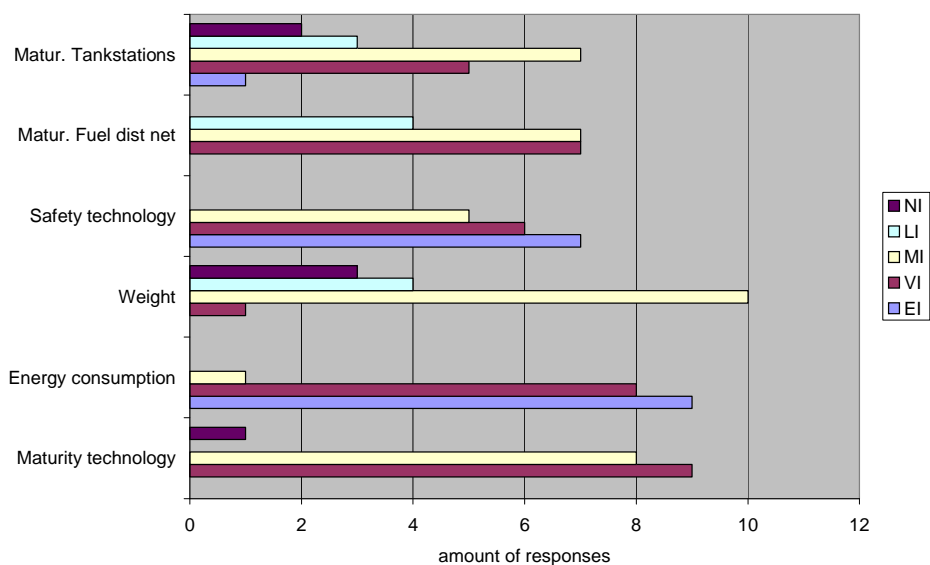


Figure 5: Importance of technological criteria according to 18 DM's (crit. 1-6)

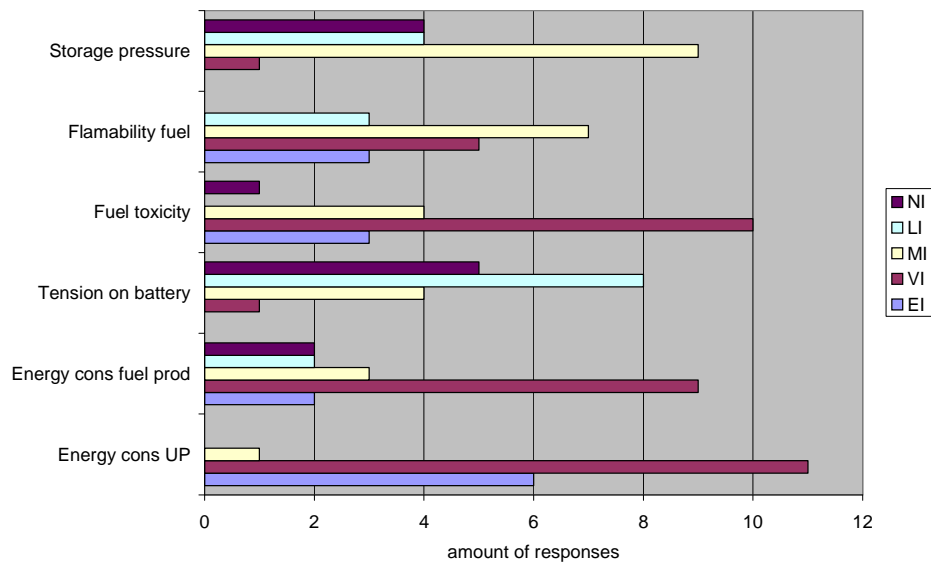


Figure 6: Importance of technological criteria according to 18 DM's (crit. 7-12)

#### 4.1.2 Social aspect

Figure 7 shows the importance's given to the criteria by the DM's for the social aspect. In general all criteria are more or less of the same importance. There is a small indication that safety on the road is considered slightly more important and that user friendliness for operators and employment is slightly less important.

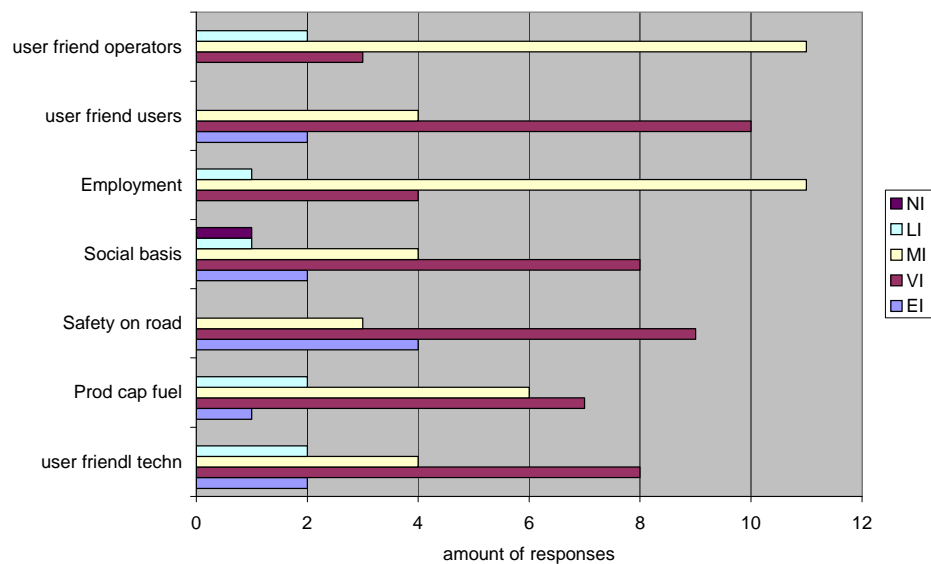


Figure 7: Importance of social criteria according to 16 DM's (crit. 13-19)

### 4.1.3 Economic aspect

Figure 8 shows the importance of the economic criteria as defined by the DM's. Here the same situation occurs as seen for the social aspects. Besides small differences all criteria are considered as equal importance. If small differences are looked at, a remark can be made that the cost of storage and transport and production of the fuel are considered slightly less important. The other four criteria are of equal importance.

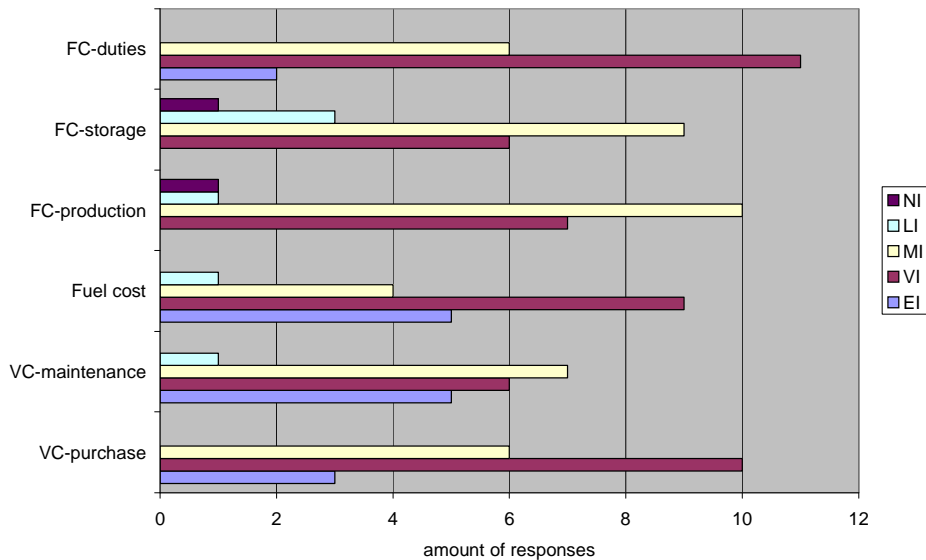


Figure 8: Importance of economic criteria according to 19 DM's (crit. 20-26)<sup>4</sup>

### 4.1.4 Environmental aspect

Figure 9 and Figure 10 visualise the importance of the criteria for the environmental aspect. Greenhousegas emissions (EI=6;VI=7) and PM emissions during use (EI=8;VI=5) are considered to be the most important criteria among the environmental aspects. Of all environmental aspects noise is considered to be the less important. The rest of the criteria can be considered as equal important.

<sup>4</sup> Criterion 23 does not exist

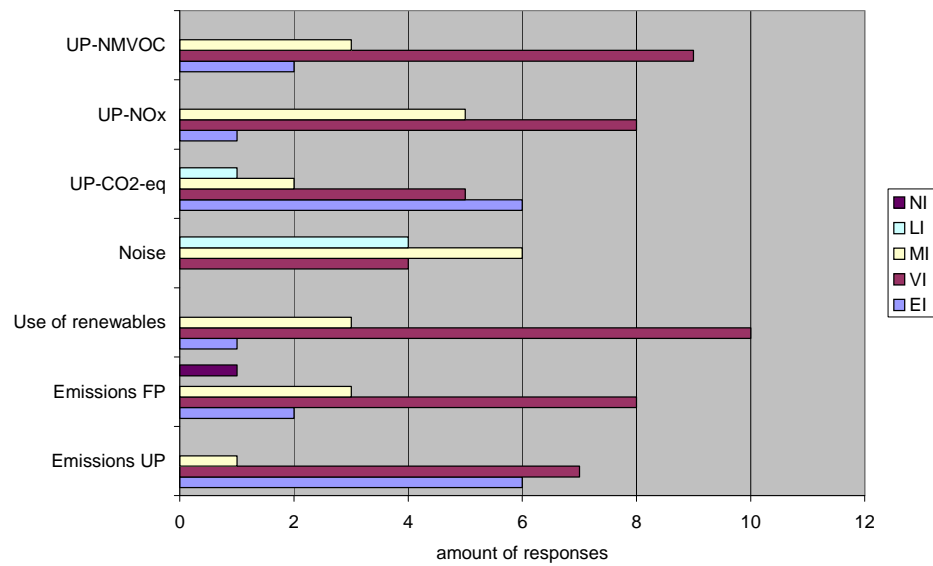


Figure 9: Importance of environmental criteria according to 14 DM's (crit. 24-33)

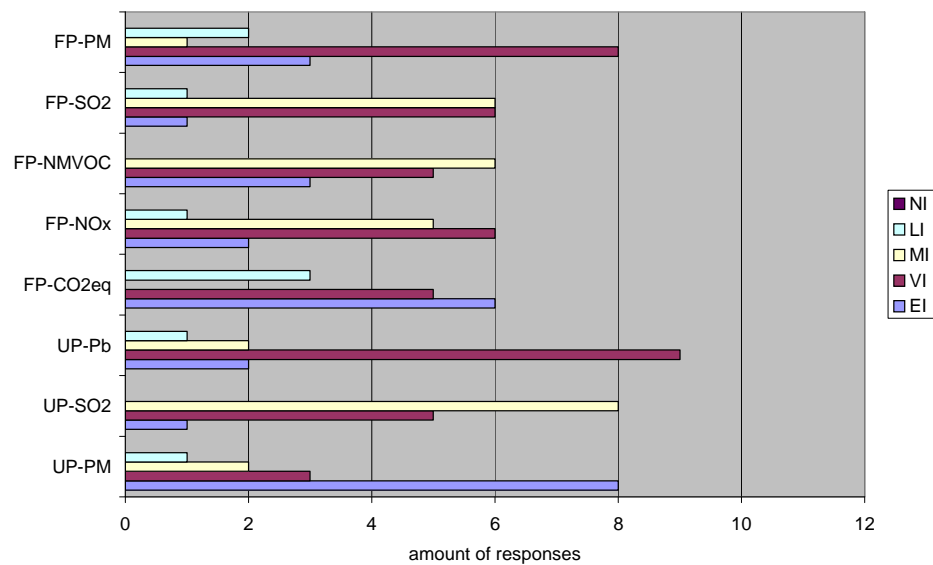


Figure 10: Importance of environmental criteria according to 14 DM's (crit. 34-41)

## 4.2 Results and discussion

The results of the detailed sustainability evaluation/assessment are presented in Table 14. As described in §2.4.3 a heuristic was used to aggregate the rankings of the different aspects into one ranking. The weights used for the four aspects were taken from the data analysis approach (see §2.5.4). Scenario 2 (base scenario) in Table 16 gives the weights that were assigned to the four aspects.

The ranking was done for a 1/2 majority of the decision makers. The quality of the ranking was higher than if the ranking was done for 2/3 majority. Most of the qualities of the

rankings scored between 0,3 and 0,7, which reflects a moderate quality. Only for buses in 2020 a high quality was attained: 0,732.

*Table 14: Overview of the sustainability ranking of light duty and heavy duty technologies (base scenario – scenario 2) obtained by a heuristic method – no ties*

#### Passenger transport

	2000	2010	2020
<b>Rank 1</b>	LD LPG	LD diesel	LD electric
<b>Rank 2</b>	LD CNG	LD 5%biodiesel	LD fuel cell hydrogen from NG
<b>Rank 3</b>	LD diesel	LD hybrid diesel	LD hybrid CNG
<b>Rank 4</b>	LD hybrid gasoline	LD bio diesel	LD hybrid diesel
<b>Rank 5</b>	LD bio diesel	LD hybrid gasoline	LD 5%biodiesel
<b>Rank 6</b>	LD electric	LD electric	LD CNG
<b>Rank 7</b>	LD 5%biodiesel	LD DI gasoline	LD bio diesel
<b>Rank 8</b>	LD IDI gasoline	LD LPG	LD hybrid hydrogen
<b>Rank 9</b>	LD DI gasoline	LD hybrid CNG	LD fuel cell hydrogen from biomass
<b>Rank 10</b>		LD IDI gasoline	LD hydrogen
<b>Rank 11</b>		LD CNG	LD hybrid gasoline
<b>Rank 12</b>		LD hybrid hydrogen	LD LPG
<b>Rank 13</b>		LD fuel cell hydrogen from biomass	LD diesel
<b>Rank 14</b>		LD fuel cell hydrogen from NG	LD DI gasoline
<b>Rank 15</b>		LD hydrogen	LD IDI gasoline
<b>Quality</b>	0,535	0,566	0,573

#### Freight transport

	2000	2010	2020
<b>Rank 1</b>	HD freight 5%biodiesel	HD freight synth diesel	HD freight synth diesel
<b>Rank 2</b>	HD freight bio diesel	HD freight 5%biodiesel	HD freight 5%biodiesel
<b>Rank 3</b>	HD freight diesel	HD freight diesel	HD freight bio diesel
<b>Rank 4</b>		HD freight bio diesel	HD freight diesel
<b>Quality</b>	0,333	0,548	0,548

#### Buses

	2000	2010	2020
<b>Rank 1</b>	HD bus diesel	HD bus diesel	HD bus electric
<b>Rank 2</b>	HD bus 5%biodiesel	HD bus 5%biodiesel	HD bus hybrid diesel
<b>Rank 3</b>	HD bus bio diesel	HD bus hybrid diesel	HD bus fuel cell hydrogen
<b>Rank 4</b>	HD bus CNG	HD bus bio diesel	HD bus CNG
<b>Rank 5</b>	HD bus electric	HD bus CNG	HD bus 5%biodiesel
<b>Rank 6</b>		HD bus electric	HD bus bio diesel
<b>Rank 7</b>		HD bus fuel cell hydrogen	HD bus diesel
<b>Quality</b>	0,671	0,683	0,732

Aggregation of the rankings of the technologies for the four aspects into one ranking, using simulated annealing with ties, resulted in similar results (Table 15).

*Table 15: Overview of the sustainability ranking of light duty and heavy duty technologies (base scenario – scenario 2) obtained by simulated annealing – ties (most probable ranking)*

<b>Passenger cars</b>			
	<b>2000</b>	<b>2010</b>	<b>2020</b>
<b>Rank 1</b>	LD LPG	LD electric	LD 5%biodiesel
<b>Rank 2</b>	LD diesel LD CNG LD hybrid gasoline	LD biodiesel	LD electric
<b>Rank 3</b>	LD 5%biodiesel LD biodiesel LD electric	LD 5%biodiesel	LD diesel LD biodiesel LD IDI gasoline LD DI gasoline LD LPG LD CNG LD hybrid diesel LD hybrid CNG LD fuel cell H2 from NG
<b>Rank 4</b>	LD IDI gasoline	LD diesel LD hybrid CNG	LD hybrid gasoline
<b>Rank 5</b>	LD DI gasoline	LD IDI gasoline LD DI gasoline	LD fuel cell H2 from biomass
<b>Rank 6</b>		LD hybrid diesel	LD hybrid H2
<b>Rank 7</b>		LD LPG LD fuel cell H2 from NG	LD H2
<b>Rank 8</b>		LD CNG LD hybrid gasoline	
<b>Rank 9</b>		LD H2 LD hybrid H2 LD fuel cell H2 from biomass	
<b>Quality</b>	0,525	0,424	0,503

<b>Freight transport</b>			
	<b>2000</b>	<b>2010</b>	<b>2020</b>
<b>Rank 1</b>	HD freight biodiesel	HD freight synth diesel	HD freight synth diesel
<b>Rank 2</b>	HD freight diesel HD freight 5%biodiesel	HD freight diesel HD freight 5%biodiesel HD freight biodiesel	HD freight diesel HD freight 5%biodiesel HD freight biodiesel
<b>Quality</b>	0,500	0,707	0,707

<b>Buses</b>			
	<b>2000</b>	<b>2010</b>	<b>2020</b>
<b>Rank 1</b>	HD bus diesel HD bus 5% biodiesel	HD bus diesel HD bus 5% biodiesel	HD bus electric
<b>Rank 2</b>	HD bus biodiesel HD bus CNG HD bus electric	HD bus hybrid diesel	HD bus hybrid diesel HD bus CNG HD bus fuel cell H2
<b>Rank 3</b>		HD bus biodiesel	HD bus 5% biodiesel
<b>Rank 4</b>		HD bus CNG	HD bus diesel
<b>Rank 5</b>		HD bus fuel cell H2 HD bus electric	HD bus biodiesel
<b>Quality</b>	0,680	0,649	0,757

The difference between the two tables (Table 14 and Table 15) is that the heuristic method allows no ties and that the method of simulated annealing allows ties. ‘Ties’ means that there is not necessarily a distinction between the alternatives on the basis of the available data. The alternatives can thus be given the same rank. ‘No ties’ means that the method will always make a difference between two alternatives. In the end ranking, however, it is difficult to know how different these alternatives are one to another. It can be that there is only a very small difference, but it can also be that there is a distinct difference.

Results obtained by the technique simulated annealing differ slightly to the results obtained by the heuristic method, especially for passenger cars. This is due to the fact that the rankings of the technologies according to the aspects give contradictions. The final rankings are therefore a compromise and can differ slightly with the used method. For example, electric cars score always high on the environmental aspect, where they score much lower on the social aspect. The opposite is true for conventional diesel cars.

So when comparing the two results, the relative position of the alternatives to each other should be considered instead of looking at ranks only. It is important to see how many technologies are before or behind a technology looked upon.

The discussion of the results is based on the rankings of the two methods, but more weight has been given to the most probable ranking: simulated annealing – ties.

#### **4.2.1 Passenger transport**

Gasoline cars (DI & IDI) show no good performance on sustainability for the years 2000 and 2010. Reasons behind this can be the lower energy efficiency, the higher greenhouse gas exhaust of gasoline cars during use and the higher emissions during production of the fuel.

At present (2000) LPG and CNG, even as diesel and hybrid gasoline vehicles with an Otto motor score the best on the sustainability barometer.

LPG and CNG vehicles will in the near future (2010) be overtaken by vehicles running on bio diesel. Passenger vehicle technologies running on diesel, still score quite good because

of the introduction of the particle filter and the DeNO<sub>x</sub> converter. However, it is important that these two aftertreatment systems are standard technology for diesel vehicles in 2010. Otherwise diesel (inclusive bio diesel) vehicles would have a seriously lower ranking for sustainability.

The results for 2010 show that hybrid cars and other alternatives are not yet a viable alternative for conventional vehicles if sustainability is concerned.

Furthermore, there is a lack of clarity on the sustainability of electric vehicles in 2010. No explanation can be given why the ranks vary so much. It could mean that there are only very small differences between the rankings of the technologies and that the electric vehicles could be equivalent to other conventional technologies. Hydrogen vehicles, however, are not yet very sustainable compared to other technologies.

In the midterm future (2020) electric vehicles (charged from the net) and hybrid vehicles (on CNG and diesel) will become more sustainable, as will fuel cell vehicles driven on hydrogen made from natural gas. Mind that others technologies based on hydrogen (based on internal combustion engines) are less sustainable. Hydrogen production requires a lot of energy (and CO<sub>2</sub> emissions), which in case of the fuel cell is compensated by the higher efficiency of the fuel cell compared to the internal combustion engine.

It can be concluded that in 2020 all technologies except ICE's on hydrogen, as mentioned above, are well matched. Reasons have to be strained in:

- The technological evolution that vehicles on alternative fuels will have undergone;
- The reduction in costs for alternative vehicles and fuels that will have taken place.

#### **4.2.2 Freight transport**

There are no major shifts of the technologies between the three years. It can be noted that the rankings of the technologies for the technological and social aspects do not differ for the different years (see annex D). The other differences are so small that they can be considered as equal.

An important fact is that synthetic diesel made from biomass would already rise above bio diesel and diesel on the short term (2010). Remarkable since the production capacity at that time is still very limited. This shows the potential of the fuel.

#### **4.2.3 Buses**

The evolution of the rankings of the technologies can not be explained by looking at the environmental aspects. No matter which year is looked upon, the ranking of the technologies hardly changes. The same rule goes for the technological aspects. This should not be seen as that there is no progress of the technologies over time. There is progress, but relatively to each other there is not much change.

The evolution of the rankings of the technologies can thus only be explained by looking at the economical or social aspects.



A striking result of the ranking of the present technologies (2000) is that electric buses score lower than conventional buses, even lower than buses that run on CNG. This is mainly due to the lower economic performance of electric buses at present. The lifetime is quite small, 12 years, compared to 20 years for conventional diesel buses and purchase cost is 75000 euro more than for diesel buses.

In the near future (2010) there is no major shift on the rankings. Diesel buses (also considered here are diesel buses with addition of 5% bio diesel) with conventional engines and hybrid still dominate. Lifetime of electric buses has increased and purchase cost dropped. Still it is not yet in a position to effectively compete with conventional technology. An exception is the hybrid diesel bus. It can be compared with a conventional diesel bus. The hybrid diesel bus has a slighter worse performance on the social aspects, but is more environmental friendly.

Only in 2020 alternatives for buses will become more sustainable and conventional technologies will drop in the ranking. Especially the improvement in economic performance is remarkable. This can be explained by the fact that the lifespan of electric, hybrid and fuel cell buses increases remarkably. Electric and hybrid buses will have a lifetime of 18 years where fuel cell buses one of 15 years. The increase in lifetime of the buses goes together with a decrease in purchase cost. The combination of these two aspects makes that the economic performance of these technologies improves a lot.

#### 4.2.4 Sensitivity analysis

Besides the base scenario three other scenarios have been defined. The first scenario looks at the ranking of the technologies when all four aspects are given the same weight. Scenario 3 does the same, but there the technological aspects are not looked upon. This scenario was created because normally sustainable development is considered to be constituted of a social, economic and an environmental pillar. The technological pillar was added because it was Vito's definition of sustainable technology. Scenario 4 has the same rationale as scenario 3, but there the aspects are given the weight, the stakeholders attributed to them. Table 16 summarizes the scenarios and the attributed weights. Detailed results can be found in Annex E.

*Table 16: Description of the scenarios and assigned weight for each aspect*

SCENARIO	DESCRIPTION
1	Each aspect of sustainability is given an equal weight Technology=1; Society=1; Economy=1; Environment=1
2	Each aspect of sustainability is given a weight according to the 36 stakeholders Technology=9; Society=10; Economy=9; Environment=12
3	Only the three aspects of sustainability are looked at and given an equal weight Society=1; Economy=1; Environment=1
4	Only the three aspects of sustainability are looked at and given a weight according to the 36 stakeholders (rescaled) Society=6; Economy=6; Environment=8

## 4.3 Clustering of the decision makers<sup>5</sup>

### 4.3.1 Aim

The background of the decision makers is not the same: some decision makers are last-year students, others are academic personnel (professors, assistants,...), others are researchers of Vito, etc. There are also some other differences amongst the decision makers : age, experiences,...

The question can be asked if the background of the decision makers had an influence on the way they looked at the decision problem. To get an idea of this, the results of the decision makers on the group decision problem from 2010 for personal cars was taken and four cluster analysis were applied. The aim of the clustering is to visualize how (and when) the decision makers would find each other to form groups around certain “compromise solutions”.

### 4.3.2 Clustering principle

How can cluster analysis be applied on the rankings of alternatives made by different decision makers? The following elements are basic building blocks in order to come to a clustering:

**DISTANCE** : As “distance” between two decision makers (and/or clusters), the rank correlation coefficient of Kendall between the two rankings is taken.

**CLUSTER REPRESENTATIVE** : When two (or more) decision makers are forming a cluster, the ranking that fits “best” the rankings of the decision makers in that cluster (determined by using a heuristic method which maximises the median rank correlation coefficient) is used as representative for that cluster.

The output (see 4.3.3.1, 4.3.4.1, 4.3.5.1, 4.3.6.1) exists of several columns and must be read from left ( $n$  clusters) to right (1 cluster). The number on top of each column indicates the number of clusters. The value at the bottom of each column gives the highest rank correlation that was found between the clusters. It is an indication of the heterogeneity between the clusters and is the smallest gap between two clusters.

The question is how many clusters must be considered? One can start with  $n$  clusters and step by step joining clusters as long as the (smallest) heterogeneity is small. From the moment a gap is too large, the number of clusters formed until that step are taken.

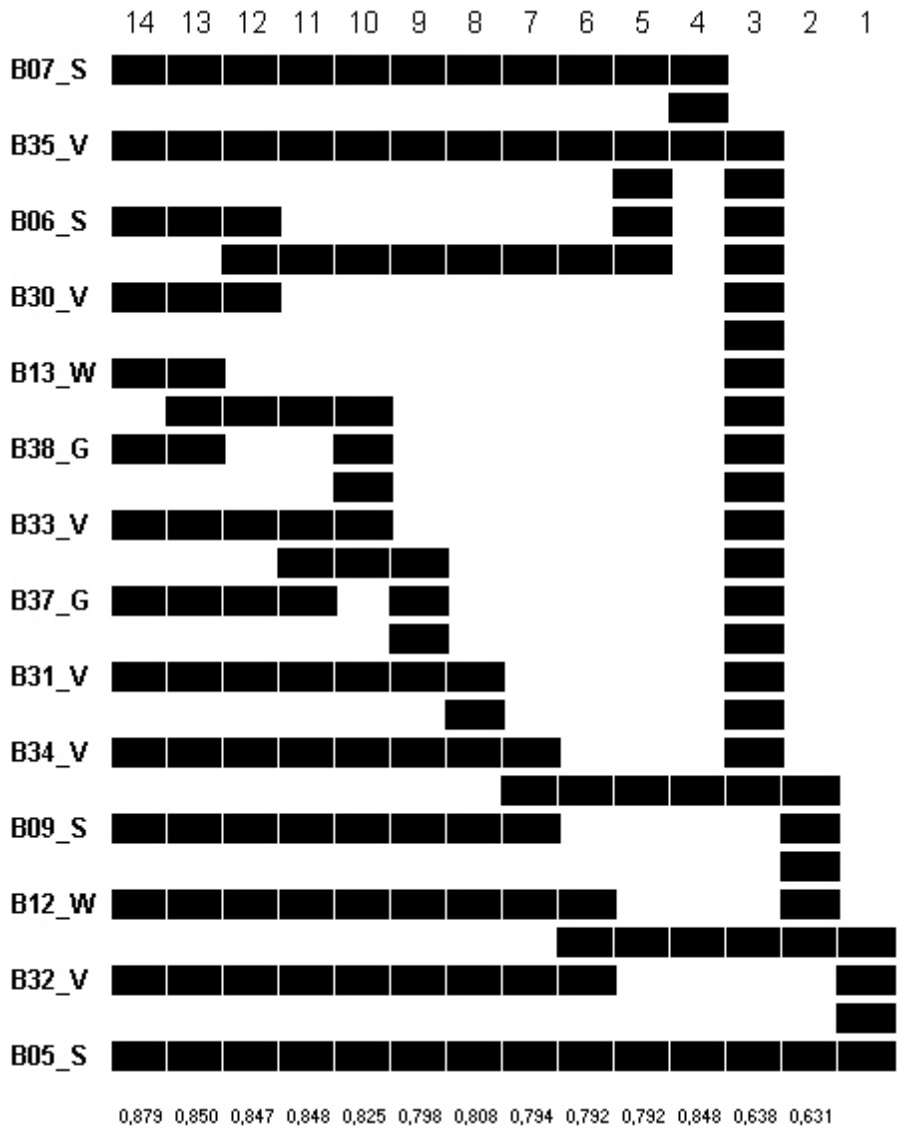
Note that an indication of the homogeneity inside the clusters is not given, but can be obtained (the median rank correlation coefficient between the individual rankings of the decision makers in the cluster and the representative of that cluster).

---

<sup>5</sup> Detailed calculations can be found in the Annex A

### 4.3.3 Ecological aspect

#### 4.3.3.1 Clustering output.

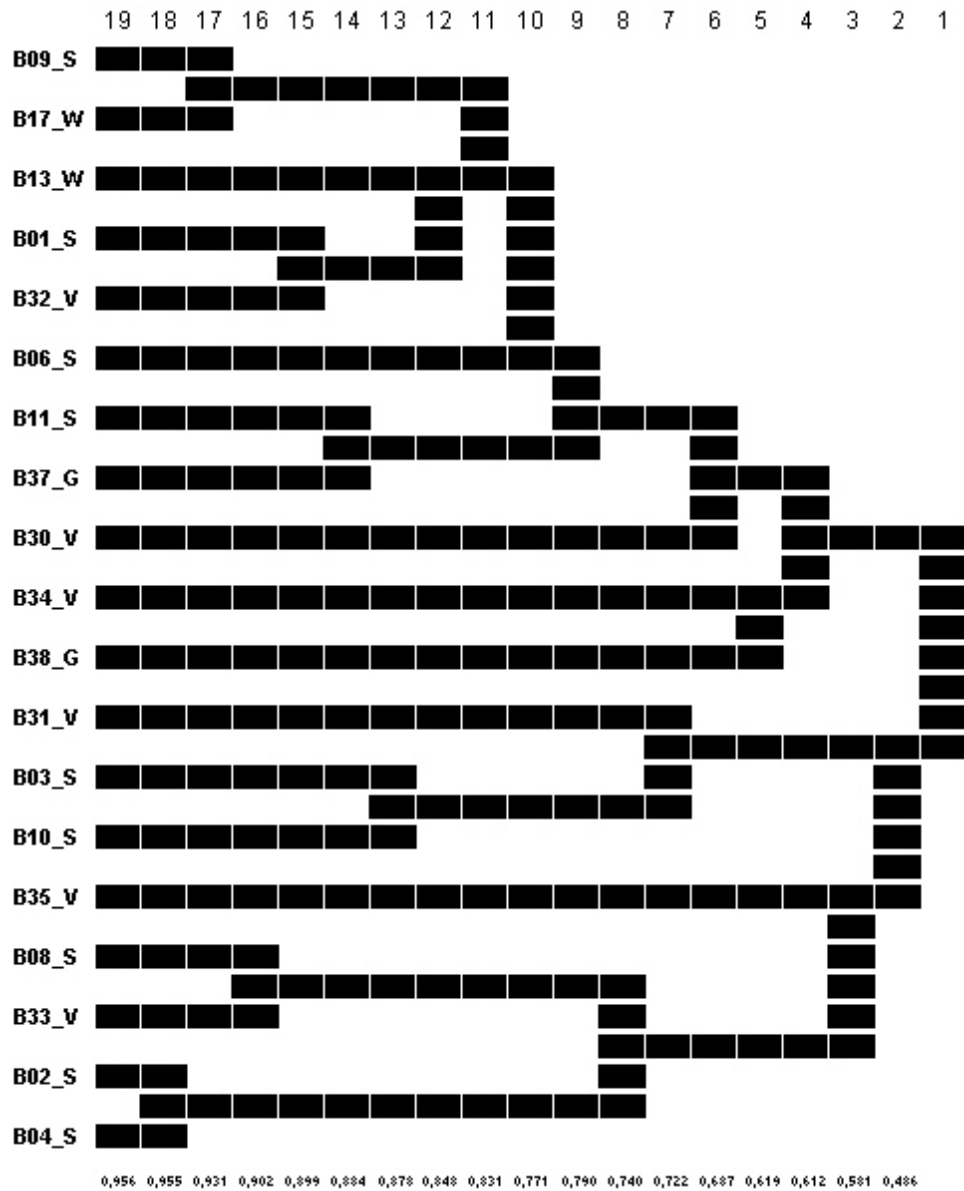


#### 4.3.3.2 Interpretation of the output

If there would be a discussion among the decision makers, it is probable that –in this case– there will be one large group, one small group (2 decision makers) and one “dissident” decision maker.

### 4.3.4 Economical aspect

#### 4.3.4.1 Clustering output.

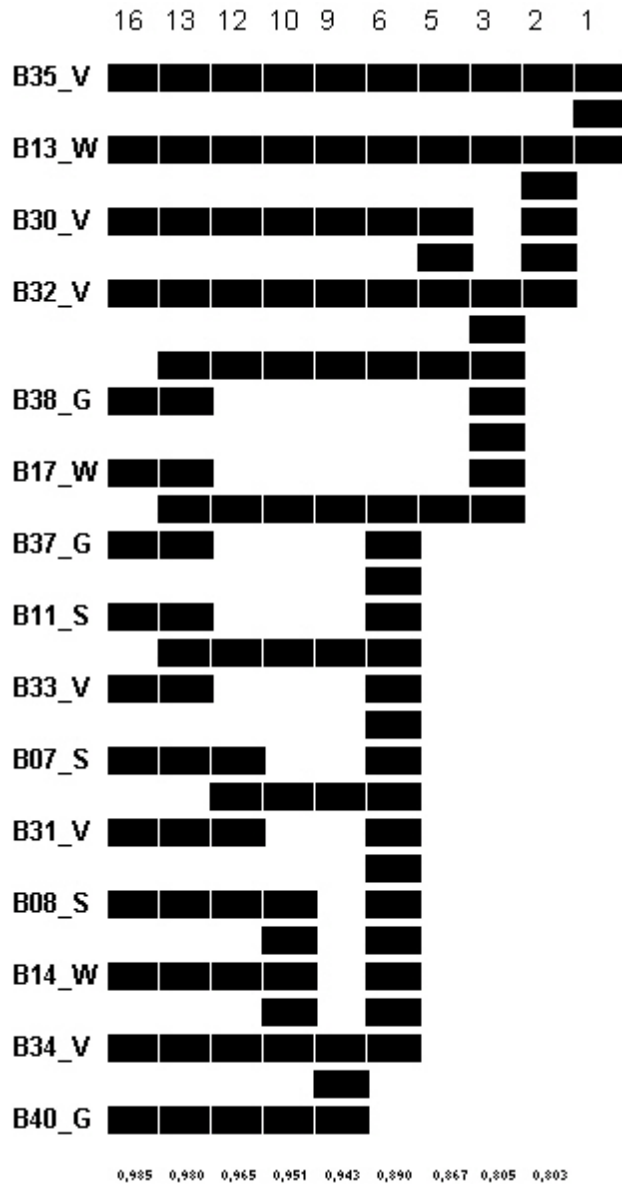


#### 4.3.4.2 Interpretation of the output

In this case it is hard to tell how many groups will be formed if there would be a discussion among the decision makers. It could be that there will be one large group (half of the total group), three small groups (2 to 4 decision makers) and one “dissident” decision maker.

### 4.3.5 Sociological aspect

#### 4.3.5.1 Clustering output



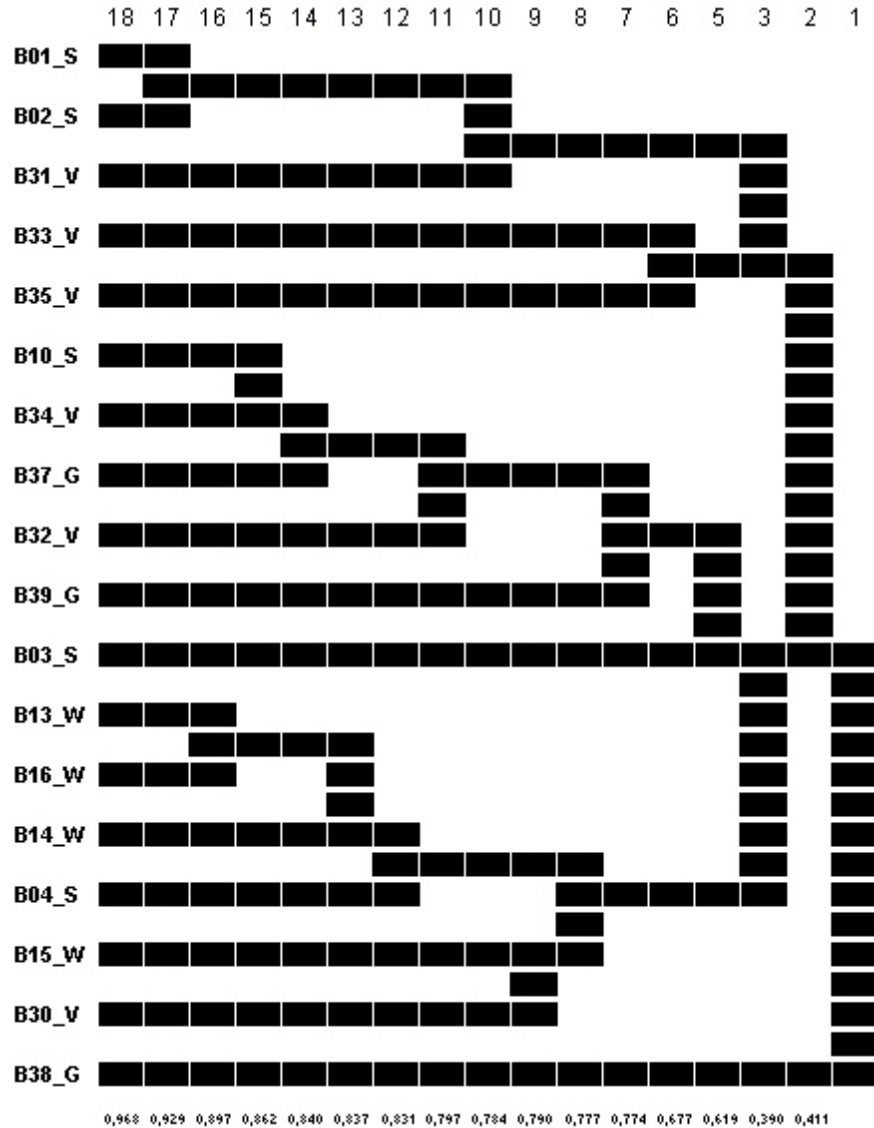
#### 4.3.5.2 Interpretation of the output

If there would be a discussion among the decision makers, it is probable that –in this case– there will be either no discussion at all (the “distance” is never very “large” or, in other words, the rankings of the alternatives “made” by the decision makers are very similar) or there will be one large group and two “dissident” decision makers.

It can be concluded that the group of decision makers on the sociological aspect have a very similar view and perception of the sociological criteria.

### 4.3.6 Technological aspect

#### 4.3.6.1 Clustering output.



#### 4.3.6.2 Interpretation of the output

If there would be a discussion among the decision makers, it is probable that –in this case– there will be one large group (12 decision makers), one smaller group (5 decision makers) and one “dissident” decision maker.

### 4.3.7 Cluster representative

Note that in each of the calculation steps one or more cluster representatives are determined. As illustration, one of the steps will be detailed here. E.g. in *Step 4*

(Sociological aspect), B40\_G and Ce are joined into one cluster. The cluster Ce contained already B08\_S, B14\_W and B34\_V. The following table shows the rankings of the four decision makers, which are now part of the cluster, and the ranking which maximises (obtain through a heuristic method) the median rank correlation:

	<b>B08_S</b>	<b>B14_W</b>	<b>B34_V</b>	<b>B40_G</b>	<b>Repres.</b>
<b>LD diesel</b>	Rank 2	Rank 1	Rank 2	Rank 1	Rank 2
<b>LD 5%biodiesel</b>	Rank 1	Rank 1	Rank 1	Rank 1	Rank 1
<b>LD bio diesel</b>	Rank 4	Rank 3	Rank 4	Rank 3	Rank 5
<b>LD IDI gasoline</b>	Rank 3	Rank 2	Rank 3	Rank 2	Rank 4
<b>LD DI gasoline</b>	Rank 3	Rank 2	Rank 3	Rank 2	Rank 3
<b>LD LPG</b>	Rank 6	Rank 7	Rank 6	Rank 4	Rank 10
<b>LD CNG</b>	Rank 5	Rank 4	Rank 5	Rank 3	Rank 6
<b>LD hydrogen</b>	Rank 7	Rank 8	Rank 7	Rank 5	Rank 11
<b>LD hybrid diesel</b>	Rank 6	Rank 5	Rank 5	Rank 4	Rank 8
<b>LD hybrid gasoline</b>	Rank 6	Rank 5	Rank 5	Rank 4	Rank 7
<b>LD hybrid CNG</b>	Rank 8	Rank 8	Rank 8	Rank 5	Rank 12
<b>LD hybrid hydrogen</b>	Rank 10	Rank 10	Rank 10	Rank 8	Rank 15
<b>LD EV</b>	Rank 7	Rank 6	Rank 6	Rank 4	Rank 9
<b>LD fuel cell hydrogen from CNG</b>	Rank 11	Rank 9	Rank 10	Rank 7	Rank 14
<b>LD fuel cell hydrogen from biomass</b>	Rank 9	Rank 9	Rank 9	Rank 6	Rank 13

The median rank correlation between the representative and the four rankings is 0,961. It must also be noted that the used heuristic method returns a full ranking (in other words: no ties) of the alternatives.

#### 4.3.8 Conclusion

The groups of decision makers, which are formed during the clustering, do not correspond with the different backgrounds. There is no grouping of students, or of researchers,.... nor clusters with “younger” and “older” decision makers were formed.

## 5 CONCLUSIONS

The definition used for defining the criteria for the sustainability evaluation of technologies within this project, is based on the definition given by Russel (Ed.) (1998; see also box 1). Following the international trend some criteria describing north-south relations were added. Besides criteria in the domains of environment, society, economy and the north-south relation, importance was also given to some technological aspects since an evaluation of a technology was done.

According to the definition of sustainability, there are four major aspects to take into account: environmental, economic, social and technological. However none says that these four aspects should be given the same weight. 36 stakeholders in the areas of mobility, environment and sustainability science were asked to give their opinion on the weights these aspects should get. Through the means of a data analysis approach the following weights were assigned to the four aspects:

	<b>TECHNOLOGICAL</b>	<b>SOCIAL</b>	<b>ECONOMIC</b>	<b>ENVIRONMENTAL</b>
Coefficients (data analysis)	9	10	9	12

Preferences and the importance of criteria were determined by 27 decision makers. Table 17 shows how many decision makers were involved in the evaluation of the different aspects.

*Table 17: Number of decision makers per aspect*

ASPECT	NUMBER OF DECISION MAKERS
Technology	18
Society	16
Economy	19
Environment	14

The detailed sustainability evaluation turned out to be a more complex and more time consuming exercise than expected. Quite some decision makers were involved in the exercise. The input needed from the decision makers was quite large. If in the future a similar exercise will be conducted, it would be advisable to prepare the decision makers on the amount of work that will be expected from them before they commit themselves. Nevertheless there were decision makers who took the time to conduct the 4 aspects.

To give an idea of the complexity of the exercise Table 18 gives the amount of files used during the evaluation.



Table 18: Number of files used in the detailed sustainability evaluation

	extension	file-type	used for	number	
input	arg	ARGUS data file	data of a multiple criteria (sub)problem	1495	4.034
	agd	ARGUS subcriteria import file	ARGUS results of subproblem to be imported as criteria	604	
	asf	ARGUS GDS import file	ARGUS results of one decision-maker to be imported in ARGUS GDS	893	
	acf	ARGUS preference structure	Preference structure of a criteria	1042	
GDS output	txt	text file	data files for GDS (year - transport-type level)	36	108
	txt	text file	results GDS heuristic method	72	
Clustering	txt	text file	data clusters (input)	56	233
	txt	text file	data to obtain cluster representatives (input)	56	
	txt	text file	cluster representatives (output)	60	
	jpg	screen capture	correlation tables	57	
	jpg	screen capture	overview	4	
					4.375

The major results of the study are summarized below.

Gasoline *passenger cars* (DI & IDI) show no good performance for sustainability for the years 2000 and 2010. Reasons behind this can be the lower energy efficiency and the higher greenhouse gas exhaust of gasoline cars and the higher emissions during production of the fuel.

At present (2000) LPG and CNG passenger cars, directly followed by diesel and hybrid gasoline vehicles, score the best on the sustainability barometer. LPG and CNG vehicles will in the near future (2010) be overtaken by vehicles running on bio diesel. Passenger vehicle technologies running on diesel, still score quite good because of the introduction of the particle filter and the DeNOx converter. However, if these systems are not standard technology on 2010 diesel (bio diesel) vehicles, their sustainability would be considerably less.

In 2010 hybrid passenger cars and other alternatives will not yet be a viable alternative for conventional vehicles if sustainability is concerned.

Furthermore, there is a lack of clarity on the sustainability of electric passenger cars in 2010. No explanation can be given why the ranks vary so much. It could mean that there are only very small differences between the rankings of the technologies and that the electric vehicles could be equivalent to other conventional technologies. Hydrogen vehicles, however, are not yet very sustainable compared to other technologies.

In the midterm future (2020) electric passenger cars (charged from the net) and hybrid passenger cars (on CNG and diesel) will become more sustainable, as will fuel cell vehicles driven on hydrogen made from natural gas. Mind that other technologies on hydrogen (based on combustion engine technology) are less sustainable. This is because the production of hydrogen requires a lot of energy (and CO<sub>2</sub> emissions), while the hydrogen combustion engine is not significantly more efficient than conventional combustion engines (this in contrast to the fuel cell).

For passenger cars it can be concluded that in 2020 all technologies except hydrogen internal combustion engine technologies are well matched, due to :

- the technological evolution that vehicles on alternative fuels will have undergone;
- the reduction in costs for alternative vehicles and fuels that will have taken place.

An important fact within *road freight transport* is that synthetic diesel made from biomass would already rise above biodiesel and diesel on the short term (2010). Remarkable since the production capacity at that time is still very limited. It shows the potential of the fuel.

Looking at the results for *buses*, a striking result in the ranking of the present technologies (2000) is that electric buses score lower than conventional buses, even lower than buses that run on CNG. This is mainly due to the lower economic performance of electric buses at present. Their lifetime is currently quite low compared to conventional diesel buses and their purchase cost is considerably higher than for diesel buses.

In the near future (2010) there is no major shift on the rankings. Diesel buses (also considered here are diesel buses with addition of 5% bio diesel) with conventional engines and hybrid still dominate. Lifetime of electric buses has increased and purchase cost dropped. Still it is not yet in a position to effectively compete with conventional technology. An exception is the hybrid diesel bus. It can be compared with a conventional diesel bus. The hybrid diesel bus has a slighter worse performance on the social aspects, but is more environmental friendly.

Only in 2020 alternatives for buses will become more sustainable and conventional technologies will drop in the ranking. Especially the improvement in economic performance is remarkable. This can be explained by the fact that the lifespan of electric, hybrid and fuel cell buses increases steadily. The increase in lifetime of the buses goes together with a decrease in purchase cost. The combination of these two aspects makes that the economic performance of these technologies improves a lot.

The study highlighted environmental, technological, economic and social aspects of individual motor vehicle technologies for road transport. A good insight in the evolution of motor vehicle technologies and their associated fuels was obtained for a time horizon up to 2020. The different technologies were evaluated upon their power train and the according fuel, no brands were evaluated. Within the 'Ecoscore' project Vito and the VUB are working on an environmental rating system for specific (~ brands) vehicles, here neither economic nor social criteria are taken into account. This study is financed by the Flemish Government (Aminal), results will be available in March 2005.

In future it would be very interesting if synthetic fuels could be investigated more thoroughly. Especially for freight transport it seems to be a viable alternative. Unfortunately little is known on this fuel so far and how it can be produced in an economical way.

**GLOSSARY**

ARGUS	Multicriteria method based on ordinal ranking scales
BPF	Belgische Petroleum Federatie
CGH <sub>2</sub>	Compressed Gaseous Hydrogen
CH <sub>4</sub>	Methane
CNG	Compressed Natural Gas
CO <sub>2</sub>	Carbon dioxide
DI	Direct Injection
DM	Decision maker
EV	Electric vehicle
FC	Fuel Cell
FP	Fuel production
FT	Fisher-Tropsch diesel, synthetic diesel
GDSS	Group Decision Support System
HD	Heavy Duty
ICE	Internal Combustion Engine
IDI	Indirect Injection
Kg	Kilogram
kW	kilowatt
LD	Light Duty
Li-Ion	Litium-Ion batteries
LPG	Liquefied Petroleum Gas
MJ	Mega Joule
N <sub>2</sub> O	Dinitrogen oxide
NG	Natural Gas
NiMH	Nickel-Metal Hydride batteries
NMVOC	Non methane volatile organic compounds
NO <sub>2</sub>	Nitrogen dioxide
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development
Pb-Ac	Lead-Acid batteries
PEMFC	Proton Exchange Membrane Fuel Cell
PM	Particulate Matter
SCR	Selective Catalytic Reduction (way to reduce NO <sub>x</sub> )
ST	Sustainable Technology
UNFCCC	United Nations Framework Convention On Climate Change
UP	User phase
V	Volt
Vito	Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek
VUB	Vrije Universiteit Brussel

## REFERENCES

BPF (2003) Personal communication with Mr. Vermoes, June 2003.

Brans, J.P. and Vincke, Ph. (1985) “A preference ranking organization method”, *Management Science*, 31/6, 647-656.

Brans, J.P., Macharis, C. and Mareschal, B. (1997) “The GDS promethee procedure”, Internal Report CSOOTW/277, Vrije Universiteit Brussel.

Carmichael C (1999) A primer for sustainable technology and development. pp 8.

COM (2001) 547 final Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on alternative fuels for road transportation and on a set of measures to promote the use of bio fuels.

De Keyser W. & Peeters P. (1994) “ARGUS – A new multiple criteria method based on the general idea of outranking”, in *Applying Multiple Criteria Aid for Decision to Environmental Management*, Paruccini M. (ed.), ECSC EEC EAEC Brussels and Luxembourg, 263 – 278.

De Keyser W. & Peeters P. (2001) Group Decision making seen as a combinatorial optimisation problem, Presented at ORBEL 15, 15<sup>th</sup> Belgian Conference on Quantitative Methods and Decision Making, Antwerp, January 29-30, 2001.

De Keyser W. (1996) “Exploring the enriched dominance graph of ARGUS”, Interne publicatie V.U.B – Centrum voor statistiek en Operationeel Onderzoek, CSOOTW/269.

De Keyser W. (September 1994) ‘Multiple criteria Analysis. Some gear and guidelines to climb and explore a huge mountain’, STOOTW/264.

De Keyser W. and Peeters P. (February 2001) ‘Group decision making seen as a combinatorial optimisation problem’, STOOTW/299.

De Keyser W., De Vlieger I. & Verbeiren S. (2001) “Maatregelen in de transportsector voor de vermindering van CO<sub>2</sub> en troposferische ozon – Multiple criteria analyse (Taak 4)”, 2001/IMS/R/058, Vito, Mol.

De Keyser W., Springael, J. (June 2002) : ‘Another way of looking at Group Decision Making opens new perspectives’, Department of environment, Technology & Technology Management Research paper 2002-15, D/2002/1169/015.

De Keyser, W. and Peeters, P. (1994) “ARGUS: A New Multiple Criteria Method Based on the General Idea of outranking” in Applying Multiple Criteria Aid for Decision to Environmental Management, Paruccini, M. (ed.), Kluwer Academic Publishers, 263-278.

De Vlieger I. And Verbeiren S. (2002) “ARGUS supporting a multidisciplinary evaluation of policy options within transport”, 2002/IMS/9340-N9035, Vito, Mol.

De Vlieger I., Berloznik R., De Keyser W., Duerinck J. & Mensink C. (2001) ‘Multidisciplinary study on reducing air pollution from transport – methodology and emission results’, in : L.J. Sucharov and C.A. Brebbia (ed) “Urban Transport VII, Urban Transport and the Environment in the 21<sup>st</sup> Century”, WIT Press, Southampton, p 429-440.

Dewulf J & Van Langenhove H (2001) Concrete duurzame technologie. Het Ingenieursblad 3. p 42-51.

Hwang, C. and Lin, M. (1987) “Group decision making under multiple criteria”, Lecture notes in Economics and Mathematical Systems 281, Springer-Verlag.

Kendall, M. G. (1938) “A new measure of rank correlation”, Biometrika 30, p 81.

Kendall, M. G. (1962) “Rank correlation methods”, Third ed., London.

Kenis, D. (1995) “Improving group decisions : designing and testing techniques for group decision support systems applying Delphi principles”, Proefschrift Universiteit Utrecht.

Leyva-López, J. and Fernández-González, R (2001) A new method for group decision support based on Electre-II methodology”, ORP<sup>3</sup> 2001, Paris, September 26-29.

Macharis, C., Brans, J.P. and Marechal, B. (1998) “The GDS PROMETHEE Procedure”, Journal of decision systems, Vol 7-SI.

Metz B. et al (2000) Methodological and technological issues in technology transfer, IPCC <http://www.grida.no/climate/ipcc/tectran/index.htm>

Mulder KF (1999) Technology in Sustainable Development: Sustainability From Burden to Challenge for Engineers. EFS Essay blz. 9.

OCDE (1999) Technologie et développement durable. Artikel uit het rapport van de OECD van het driejarig project over DO .

Russel T (Ed.) (1998) Sustainable Business, Economic development and environmentally sound technologies, UNEP, UK.

SDST – Swedish Delegation for Sustainable Technology – (?). Sustainable technology. ([http://miljoteknik.nutek.se/engelska/english\\_summary.html](http://miljoteknik.nutek.se/engelska/english_summary.html)) .

Spitz, J. C. (1971) “Statistiek voor psychologen, pedagogen, sociologen”, Agon Elsevier Amsterdam Brussel.

Valenduc G & Vendramin P (1997) Science, Technological Innovation and Sustainable Development. International Conference “Science for a sustainable Society” Workshop 1: Sustainable Industrial Development. Roskilde, 27-29/10/97.

Vennix, J. A. M. (1996) "Group model building. Facilitating team learning using system dynamics", John Wiley & sons, Chichester.

Verbeiren S., De Vlieger I. and L. Pelkmans (2003) Duurzaamheidevaluatie van technologieën en modi in de transportsector in België, Deelrapport eerste screening (Taak A), Studie uitgevoerd in opdracht van de DWTC, 2003/IMS/R/086.

Weaver P., Jansen L., van Grootveld G., van Spiegel E. & P. Vergragt (2000) Sustainable Technology Development, Greenleaf Publishing Limited, UK.

## **WEBSITES**

- [1] UNFCCC – Sustainable development, Technology Subprogramme  
<http://ttclear.unfccc.int/ttclear/jsp/>

## NEDERLANDSE SAMENVATTING

### Inleiding

Zonder een aangepast beleid zullen CO<sub>2</sub>-emissies veroorzaakt door transport – wegverkeer en luchtvaart in het bijzonder – gestadig blijven stijgen. Het leveren van een bijdrage door de transportsector in het behalen van de doelstellingen vastgelegd in het Protocol van Kyoto (voor België een reductie van de broeikasgassen met 7,5 % in 2010 ten opzichte van 1990) is een uitdaging. Ook moeten inspanningen geleverd worden voor het behalen van de National Emission Ceilings voor ondermeer NO<sub>x</sub> en VOC. Verder is het verkeer een belangrijke bron van deeltjesuitstoot.

Om deze redenen zijn schonere voertuigen een noodzaak. Transporttechnologieën moeten echter niet enkel milieuvriendelijker worden, ook sociale en economische aspecten mogen niet uit het oog verloren worden. De dag van vandaag moeten technologieën beantwoorden aan de eisen van duurzame ontwikkeling.

Het project SUSATRANS, acroniem voor “Sustainability assessment of technologies and modes in the transport sector in Belgium”, heeft tot doel om ter bevordering van duurzame mobiliteit een geïntegreerde evaluatie te maken van beleidsmaatregelen met het oog op een succesvolle introductie van nieuwe technologieën in de transportsector enerzijds, en een verschuiving tussen modi anderzijds.

Verschillende nieuwe technologieën worden onderworpen aan een duurzaamheidscreening om te komen tot een selectie van duurzame technologieën. Voor de eigenlijke penetratie van meer duurzame technologieën en modi worden beleidsmaatregelen voorgesteld en geëvalueerd op de kost voor de verschillende betrokkenen (gebruikers, technologie-ontwikkelaars, regulatoren) en de milieu-impact voor België. Ook wordt een Technology Assessment case studie uitgevoerd. Op basis van de resultaten van deze multidisciplinaire studie worden adviezen geformuleerd voor de verdere invulling van een duurzaam (mobiliteits)beleid.

Deze studie kadert in het federaal onderzoeksprogramma PODO II “Duurzame Productie en Consumptie Patronen”.

Dit rapport is het resultaat van de eerste taak binnen dit project: de duurzaamheidsvaluatie van technologieën voor wegtransport. Volgende subtaken werden binnen deze taak uitgevoerd:

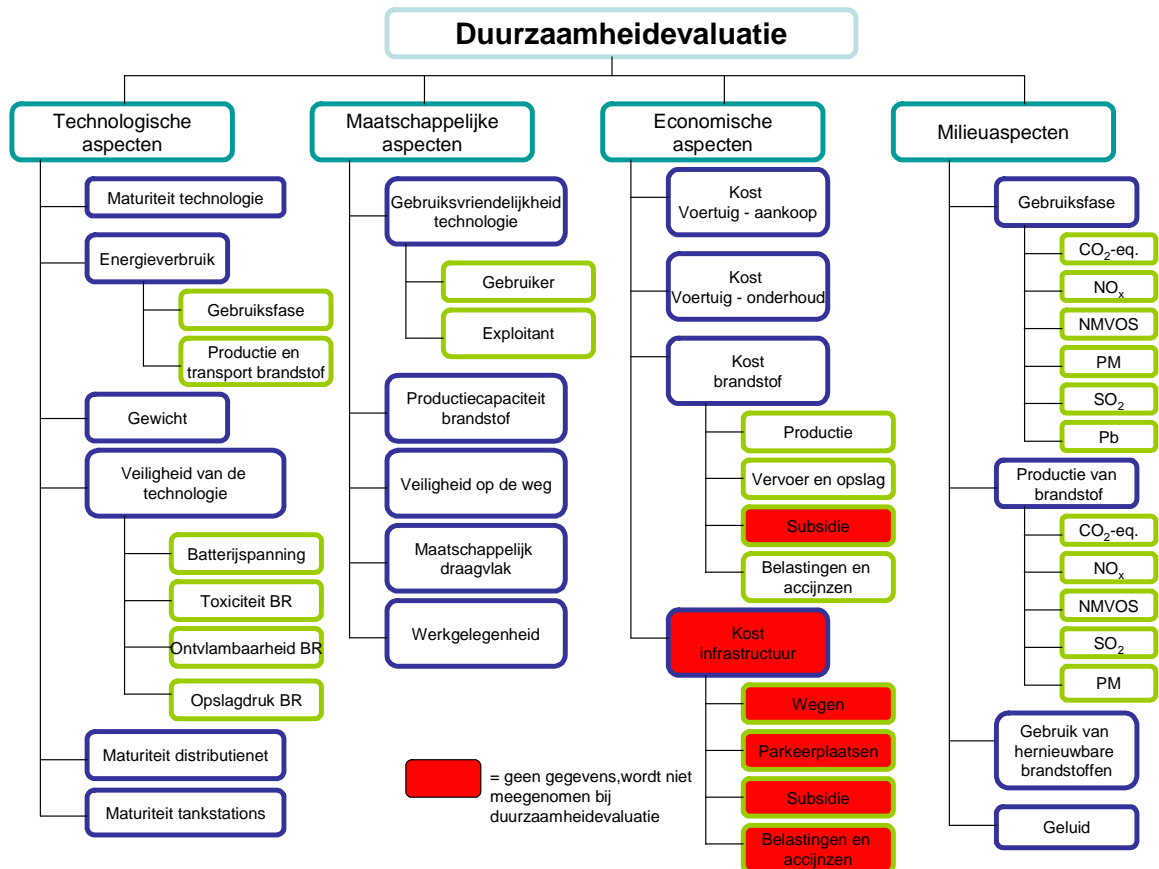
- Inventarisatie van de beschikbare technologieën voor wegverkeer, spoor en binnenvaart;
- Identificatie van de duurzaamheidscriteria voor wegverkeer (screening en gedetailleerde evaluatie);
- Evaluatie van de technologieën aan de hand van de screenings criteria en selectie van de technologieën voor de gedetailleerde evaluatie;
- Gedetailleerde duurzaamheidsvaluatie van de weerhouden technologieën voor wegverkeer.

Voor de resultaten van de screeningfase wordt verwezen naar Verbeiren *et al.* (2003). Hieronder wordt ook verstaan de inventarisatie van technologieën, de identificatie van de criteria voor de screening en de screening zelf.

Onderhavig rapport behandelt hoofdzakelijk de methodologie en de resultaten van de gedetailleerde duurzaamheidsvaluatie.

### Definitie van duurzaamheid en de criteria

De definitie gebruikt voor de keuze van de criteria voor de duurzaamheidsvaluatie binnen dit project, is gebaseerd op de definitie van Russel (Ed.) (1998; box 1 §2.1). In navolging van de internationale trend werden enkele criteria die de noord-zuid relatie beschrijven, toegevoegd. Naast criteria binnen de domeinen milieu, maatschappij, economie en noord-zuid relatie, werd er ook belang gehecht aan technologische aspecten aangezien het in dit project gaat om de evaluatie van technologieën. De criteria die voor de duurzaamheidsvaluatie werden opgesteld, worden weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Criteria voor de duurzaamheidsvaluatie

### Gewichten voor de criteria

Gezien de definitie van duurzaamheid wordt in de evaluatie rekening gehouden met 4 hoofdaspecten: milieu, economie, maatschappij en technologie. Niets zegt echter dat aan al deze aspecten hetzelfde gewicht moet worden toegekend. Aan 36 stakeholders in het domein van transport, milieu en duurzaamheid, werd gevraagd om gewichten toe te kennen aan deze aspecten volgens hun inzichten. Door middel van een data analyse aanpak werden de



onderstaande gewichten toegekend aan deze aspecten. Milieuaspecten wegen iets meer door dan de andere 3 aspecten.

	TECHNOLOGISCH	SOCIAAL	ECONOMISCH	MILIEU
Coëfficiënt (data analyses)	9	10	9	12

Preferenties en de belangrijkheid van de criteria werden bepaald door 27 besluitnemers. Zowel studenten, onderzoekers als gebruikers participeerden in deze oefening. Na cluster analyse blijkt dat dit wel degelijk verantwoord is. Er was hoofdzakelijk bezorgdheid over het feit of laatstejaars studenten wel geschikt zouden zijn om aan een dergelijke oefening mee te doen. Geen van de onderscheiden groepen lijkt eenzelfde mening toegedaan (studenten groeperen zich niet). Tabel 1 toont hoeveel besluitnemers betrokken waren bij de evaluatie van de verschillende aspecten. De besluitnemers werd gevraagd in hun domein van expertise deel te nemen aan deze oefening.

*Tabel 1: Aantal besluitnemers per aspect*

ASPECT	AANTAL BESLUITNEMERS
Technologie	18
Maatschappij	16
Economie	19
Milieu	14

Tabel 2 geeft aldus de bevraagde besluitnemers, de belangrijkste en minst belangrijke criteria weer voor de verschillende aspecten.

*Tabel 2: Meest belangrijke en minder belangrijke criteria volgens de besluitnemers*

ASPECT	BELANGRIJKSTE	MINDER BELANGRIJK
Technologie	Veiligheid van de technologie Energieconsumptie (algemeen en in de gebruiksfase)	Gewicht Opslagdruk van de brandstof Spanning van de batterij
Maatschappij	Veiligheid op de weg	Gebruiksvriendelijkheid voor de exploitant Werkgelegenheid
Economie		Opslag en transportkost Kost van de productie van de brandstof
Milieu	PM-emissies tijdens de gebruiksfase Broeikasgasemissies in gebruiksfase	Geluid

## Resultaten en discussie

De gedetailleerde duurzaamheidsvaluatie bleek complexer en meer tijdsverslindend dan eerst gedacht. Vooreerst waren een heel aantal besluitnemers betrokken bij deze evaluatie.

De inbreng die van deze besluitnemers gevraagd werd, was niet gering. Indien in de toekomst een gelijkaardige oefening zou gemaakt worden, is het aangeraden om de besluitnemers voor te bereiden op het pak werk dat een dergelijke oefening met zich meebrengt vooraleer zij zich bereid verklaren om mee te doen aan de oefening. Desalniettemin waren er besluitnemers die de tijd namen om de hele oefening te doen voor verschillende, soms de 4, aspecten.

Om een idee te geven van de complexiteit van de oefening wordt in Tabel 3 een overzicht gegeven van het aantal files dat met de evaluatie gepaard ging.

*Tabel 3: Aantal files die gebruikt werden in de gedetailleerde duurzaamheidsvaluatie*

	extension	file-type	used for	number	
input	arg	ARGUS data file	data of a multiple criteria (sub)problem	1495	4.034
	agd	ARGUS subcriteria import file	ARGUS results of subproblem to be imported as criteria	604	
	asf	ARGUS GDS import file	ARGUS results of one decision-maker to be imported in ARGUS GDS	893	
	acf	ARGUS preference structure	Preference structure of a criteria	1042	
GDS output	txt	text file	data files for GDS (year - transport-type level)	36	108
	txt	text file	results GDS heuristic method	72	
Clustering	txt	text file	data clusters (input)	56	233
	txt	text file	data to obtain cluster representatives (input)	56	
	txt	text file	cluster representatives (output)	60	
	jpg	screen capture	correlation tables	57	
	jpg	screen capture	overview	4	
					<b>4.375</b>

De resultaten van de rangschikkingen worden hieronder weergegeven.

Benzine *auto's*, zowel directe (DI) als indirecte injectie (IDI), scoren voor de jaren 2000 en 2010 niet goed. Dit kan gedeeltelijk verklaard worden door het feit dat zij een lagere energie-efficiëntie hebben en een hogere uitstoot van broeikasgassen dan de andere technologieën, bovenop het feit dat de emissies voor de productie van benzine hoger zijn dan deze van andere brandstoffen.

Op dit moment (2000) scoren LPG en CNG, op de voet gevolgd door dieselwagens en hybride benzine personenwagens, het best op de duurzaamheidsbarometer. In de nabije toekomst (2010) zullen auto's op LPG en CNG qua duurzaamheidscore voorbijgestoken worden door biodiesel auto's. Personenwagens op diesel scoren ook nog goed omwille van het feit dat er tegen 2010 nabehandelingssystemen als deeltjesfilters en DeNOx katalysatoren ingevoerd zullen worden. Indien deze nabehandelingssystemen geen standaard technologie vormen voor dieselwagens in 2010, zullen dieselvoertuigen een stuk lager scoren qua duurzaamheid.

In 2010 zullen hybride auto's en zeker andere alternatieve motorbrandstoffen nog geen geschikt (duurzaam) alternatief vormen voor de benzine en dieselvoertuigen.

Verder is er rond de duurzaamheid van elektrische wagens in 2010 nog wat onduidelijkheid. Afhankelijk van de methode scoren deze wagens beter of slechter. Waarom dit zo is, is niet erg duidelijk. Het zou kunnen betekenen dat de verschillen tussen de rangschikkingen niet groot zijn en deze technologieën gelijkwaardig zijn aan de conventionele technologieën. Auto's op waterstof zijn op dat moment niet echt duurzaam vergeleken met andere alternatieven.

Op middellange termijn (2020) zijn elektrische auto's (met elektriciteit van het net) en hybride voertuigen (op CNG en diesel) duurzame alternatieven. Ook brandstofcelvoertuigen aangedreven door waterstof (gemaakt uit aardgas) zullen duurzamer worden in vergelijking met de benzine en dieseltechnologieën. Let wel, dat andere technologieën op waterstof (gebaseerd op verbrandingsmotor) minder goed scoren qua duurzaamheid. Dit heeft te maken met het hoge energiegebruik (en CO<sub>2</sub> emissies) bij aanmaak van de waterstof. De brandstofcel compenseert dit grotendeels door zijn hoger rendement, maar bij verbrandingsmotoren op waterstof ligt het rendement niet significant hoger dan bij conventionele verbrandingsmotoren.

Met uitzondering van de verbrandingsmotoren op waterstof, kan voor *auto's in 2020* gesteld worden dat alle technologieën aan elkaar gewaagd zullen zijn wat duurzaamheid betreft. Redenen hiervoor zijn:

- de technologische evolutie van voertuigen op alternatieve brandstoffen;
- de vermindering van de kostprijs van alternatieve technologieën en brandstoffen.

Voor *vrachtvervoer over de weg* is het opmerkelijk dat synthetische diesel gemaakt van biomassa reeds in 2010 (op korte termijn) beter scoort dan biodiesel en diesel vrachtwagens. Dit is zeer verwonderlijk aangezien de productiecapaciteit van deze brandstof op dat moment nog vrij beperkt zal zijn. Dit toont duidelijk aan dat er wel degelijk een potentieel is voor deze brandstof.

Als naar de resultaten van *bussen* voor personenvervoer in de stad gekeken wordt, is het verwonderlijk dat de dag van vandaag elektrische bussen lager gerangschikt staan dan conventionele bussen, zelfs lager dan bussen op CNG. Dit is hoofdzakelijk het gevolg van de lagere economische prestatie van elektrische bussen op dit moment: de levensduur is nog gevoelig lager dan bij conventionele diesel bussen. Daarbij is de kostprijs ook nog een stuk hoger dan bij dieserbussen.

In de nabije toekomst (2010) is er geen echte verschuiving in de rangschikking waar te nemen. Bussen op diesel (ook deze met een bijmenging van 5% biodiesel) en conventionele dieselmotor en hybride bussen zijn nog steeds het meest duurzame alternatief. De levensduur van elektrische bussen is toegenomen en de aankoopkost gedaald. De technologie is echter nog niet in een positie om conventionele technologieën te beconcurreren. Een uitzondering hierop is de hybride diesel bus. Deze kan vergeleken worden met een conventionele diesel bus. De hybride diesel bus scoort nog iets lager op het sociale vlak, maar is wel milieuvriendelijker.

Slechts in 2020 zullen de alternatieve technologieën voor bussen duurzamer worden en zullen de conventionele technologieën zakken in de rangschikking. Dit kan verklaard worden door het feit dat de levensduur van elektrische, hybride en brandstofcelbussen sterk stijgt. Deze toename in levensduur gaat samen met een daling in de aankoopkost. De combinatie van deze twee aspecten maakt dat de economische prestatie van deze technologieën sterk vooruit gaat.

## **Nabeschouwing**

De studie was zeer interessant en diepgaand. Er werden nieuwe inzichten verkregen in de evolutie van technologieën en hun brandstoffen voor een tijdshorizon tot 2020. Naast milieu en technologische aspecten kwamen tevens economische en sociale aspecten aan bod.

In onderhavige studie werden aandrijflijnen met bijhorende brandstoffen geëvalueerd, specifieke voertuigen (modellen en merken) werden niet beoordeeld. Het uitwerken van een milieurating systeem voor specifieke voertuigen gebeurt binnen het project Ecoscore. Vito werkt hiervoor samen met de VUB in opdracht van de Vlaamse Gemeenschap (Aminal). Deze studie wordt in maart 2005 afgerond.

Synthetische brandstoffen konden in onderhavige studie slechts oppervlakkig bestudeerd worden. Het kan een interessant alternatief zijn voor vrachtvervoer. Tot op heden is er evenwel onvoldoende kennis over deze brandstof en zijn mogelijkheden voor commerciële productie op een milieuvriendelijke wijze. Verder onderzoek dringt zich hier op.



## ANNEX A: DETAILED CALCULATIONS OF THE CLUSTERING OF DECISION MAKERS

### Ecological aspect – Calculations

Step 1 : 14 clusters

	B05 S	B06 S	B07 S	B09 S	B12 W	B13 W	B30 V	B31 V	B32 V	B33 V	B34 V	B35 V	B37 G	B38 G
B05 S	1,000	0,505	0,510	0,724	0,545	0,657	0,478	0,523	0,556	0,744	0,597	0,470	0,690	0,624
B06 S	0,505	1,000	0,786	0,723	0,529	0,812	0,850	0,800	0,677	0,771	0,754	0,825	0,709	0,721
B07 S	0,510	0,786	1,000	0,610	0,651	0,771	0,771	0,660	0,753	0,660	0,771	0,775	0,657	0,718
B09 S	0,724	0,723	0,610	1,000	0,545	0,796	0,697	0,774	0,576	0,764	0,776	0,670	0,710	0,783
B12 W	0,545	0,529	0,651	0,545	1,000	0,541	0,464	0,527	0,794	0,585	0,599	0,553	0,689	0,567
B13 W	0,657	0,812	0,771	0,796	0,541	1,000	0,796	0,804	0,650	0,833	0,796	0,780	0,780	0,879
B30 V	0,478	0,850	0,771	0,697	0,464	0,796	1,000	0,824	0,532	0,677	0,738	0,800	0,663	0,744
B31 V	0,523	0,800	0,660	0,774	0,527	0,804	0,824	1,000	0,627	0,762	0,784	0,818	0,798	0,732
B32 V	0,556	0,677	0,753	0,576	0,794	0,650	0,532	0,627	1,000	0,697	0,650	0,733	0,782	0,598
B33 V	0,744	0,771	0,660	0,764	0,585	0,833	0,677	0,762	0,697	1,000	0,775	0,729	0,847	0,742
B34 V	0,597	0,754	0,771	0,776	0,599	0,796	0,738	0,784	0,650	0,775	1,000	0,780	0,722	0,821
B35 V	0,470	0,825	0,775	0,670	0,553	0,780	0,800	0,818	0,733	0,729	0,780	1,000	0,716	0,709
B37 G	0,690	0,709	0,657	0,710	0,689	0,780	0,663	0,798	0,782	0,847	0,722	0,716	1,000	0,689
B38 G	0,624	0,721	0,718	0,783	0,567	0,879	0,744	0,732	0,598	0,742	0,821	0,709	0,689	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.879

This occurs between : B13\_W and B38\_G

Join B13\_W and B38\_G into **Ca**

Step 2 : 13 clusters

	B05 S	B06 S	B07 S	B09 S	B12 W	B30 V	B31 V	B32 V	B33 V	B34 V	B35 V	B37 G	Ca
B05 S	1,000	0,505	0,510	0,724	0,545	0,478	0,523	0,556	0,744	0,597	0,470	0,690	0,670
B06 S	0,505	1,000	0,786	0,723	0,529	0,850	0,800	0,677	0,771	0,754	0,825	0,709	0,804
B07 S	0,510	0,786	1,000	0,610	0,651	0,771	0,660	0,753	0,660	0,771	0,775	0,657	0,754
B09 S	0,724	0,723	0,610	1,000	0,545	0,697	0,774	0,576	0,764	0,776	0,670	0,710	0,808
B12 W	0,545	0,529	0,651	0,545	1,000	0,464	0,527	0,794	0,585	0,599	0,553	0,689	0,536
B30 V	0,478	0,850	0,771	0,697	0,464	1,000	0,824	0,532	0,677	0,738	0,800	0,663	0,779
B31 V	0,523	0,800	0,660	0,774	0,527	0,824	1,000	0,627	0,762	0,784	0,818	0,798	0,787
B32 V	0,556	0,677	0,753	0,576	0,794	0,532	0,627	1,000	0,697	0,650	0,733	0,782	0,644
B33 V	0,744	0,771	0,660	0,764	0,585	0,677	0,762	0,697	1,000	0,775	0,729	0,847	0,825
B34 V	0,597	0,754	0,771	0,776	0,599	0,738	0,784	0,650	0,775	1,000	0,780	0,722	0,798
B35 V	0,470	0,825	0,775	0,670	0,553	0,800	0,818	0,733	0,729	0,780	1,000	0,716	0,754
B37 G	0,690	0,709	0,657	0,710	0,689	0,663	0,798	0,782	0,847	0,722	0,716	1,000	0,773
Ca	0,670	0,804	0,754	0,808	0,536	0,779	0,787	0,644	0,825	0,798	0,754	0,773	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.850

Join B06\_S and B30\_V into **Cb**

Step 3 : 12 clusters

	B05 S	B07 S	B09 S	B12 W	B31 V	B32 V	B33 V	B34 V	B35 V	B37 G	Ca	Cb
B05 S	1,000	0,510	0,724	0,545	0,523	0,556	0,744	0,597	0,470	0,690	0,670	0,493
B07 S	0,510	1,000	0,610	0,651	0,660	0,753	0,660	0,771	0,775	0,657	0,754	0,773
B09 S	0,724	0,610	1,000	0,545	0,774	0,576	0,764	0,776	0,670	0,710	0,808	0,710
B12 W	0,545	0,651	0,545	1,000	0,527	0,794	0,585	0,599	0,553	0,689	0,536	0,478
B31 V	0,523	0,660	0,774	0,527	1,000	0,627	0,762	0,784	0,818	0,798	0,787	0,806
B32 V	0,556	0,753	0,576	0,794	0,627	1,000	0,697	0,650	0,733	0,782	0,644	0,547
B33 V	0,744	0,660	0,764	0,585	0,762	0,697	1,000	0,775	0,729	0,847	0,825	0,689
B34 V	0,597	0,771	0,776	0,599	0,784	0,650	0,775	1,000	0,780	0,722	0,798	0,740
B35 V	0,470	0,775	0,670	0,553	0,818	0,733	0,729	0,780	1,000	0,716	0,754	0,792
B37 G	0,690	0,657	0,710	0,689	0,798	0,782	0,847	0,722	0,716	1,000	0,773	0,676
Ca	0,670	0,754	0,808	0,536	0,787	0,644	0,825	0,798	0,754	0,773	1,000	0,790
Cb	0,493	0,773	0,710	0,478	0,806	0,547	0,689	0,740	0,792	0,676	0,790	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.847

Join B33\_V and B37\_G into Cc

Step 4 : 11 clusters

	B05 S	B07 S	B09 S	B12 W	B31 V	B32 V	B34 V	B35 V	Ca	Cb	Cc
B05 S	1,000	0,510	0,724	0,545	0,523	0,556	0,597	0,470	0,670	0,493	0,749
B07 S	0,510	1,000	0,610	0,651	0,660	0,753	0,771	0,775	0,754	0,773	0,676
B09 S	0,724	0,610	1,000	0,545	0,774	0,576	0,776	0,670	0,808	0,710	0,769
B12 W	0,545	0,651	0,545	1,000	0,527	0,794	0,599	0,553	0,536	0,478	0,574
B31 V	0,523	0,660	0,774	0,527	1,000	0,627	0,784	0,818	0,787	0,806	0,767
B32 V	0,556	0,753	0,576	0,794	0,627	1,000	0,650	0,733	0,644	0,547	0,683
B34 V	0,597	0,771	0,776	0,599	0,784	0,650	1,000	0,780	0,798	0,740	0,760
B35 V	0,470	0,775	0,670	0,553	0,818	0,733	0,780	1,000	0,754	0,792	0,715
Ca	0,670	0,754	0,808	0,536	0,787	0,644	0,798	0,754	1,000	0,790	0,848
Cb	0,493	0,773	0,710	0,478	0,806	0,547	0,740	0,792	0,790	1,000	0,714
Cc	0,749	0,676	0,769	0,574	0,767	0,683	0,760	0,715	0,848	0,714	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.848

Join Ca and Cc into Ca

Step 5 : 10 clusters

	B05 S	B07 S	B09 S	B12 W	B31 V	B32 V	B34 V	B35 V	Ca	Cb
B05 S	1,000	0,510	0,724	0,545	0,523	0,556	0,597	0,470	0,710	0,493
B07 S	0,510	1,000	0,610	0,651	0,660	0,753	0,771	0,775	0,715	0,773
B09 S	0,724	0,610	1,000	0,545	0,774	0,576	0,776	0,670	0,769	0,710
B12 W	0,545	0,651	0,545	1,000	0,527	0,794	0,599	0,553	0,612	0,478
B31 V	0,523	0,660	0,774	0,527	1,000	0,627	0,784	0,818	0,825	0,806
B32 V	0,556	0,753	0,576	0,794	0,627	1,000	0,650	0,733	0,703	0,547
B34 V	0,597	0,771	0,776	0,599	0,784	0,650	1,000	0,780	0,798	0,740
B35 V	0,470	0,775	0,670	0,553	0,818	0,733	0,780	1,000	0,773	0,792
Ca	0,710	0,715	0,769	0,612	0,825	0,703	0,798	0,773	1,000	0,752
Cb	0,493	0,773	0,710	0,478	0,806	0,547	0,740	0,792	0,752	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.825

Join B31\_V and Ca into Ca

Step 6 : 9 clusters

	B05 S	B07 S	B09 S	B12 W	B32 V	B34 V	B35 V	Ca	Cb
B05 S	1,000	0,510	0,724	0,545	0,556	0,597	0,470	0,710	0,493
B07 S	0,510	1,000	0,610	0,651	0,753	0,771	0,775	0,715	0,773
B09 S	0,724	0,610	1,000	0,545	0,576	0,776	0,670	0,769	0,710
B12 W	0,545	0,651	0,545	1,000	0,794	0,599	0,553	0,612	0,478
B32 V	0,556	0,753	0,576	0,794	1,000	0,650	0,733	0,703	0,547
B34 V	0,597	0,771	0,776	0,599	0,650	1,000	0,780	0,798	0,740
B35 V	0,470	0,775	0,670	0,553	0,733	0,780	1,000	0,773	0,792
Ca	0,710	0,715	0,769	0,612	0,703	0,798	0,773	1,000	0,752
Cb	0,493	0,773	0,710	0,478	0,547	0,740	0,792	0,752	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.798

Join B34\_V and Ca into **Ca**

Step 7 : 8 clusters

	B05 S	B07 S	B09 S	B12 W	B32 V	B35 V	Ca	Cb
B05 S	1,000	0,510	0,724	0,545	0,556	0,470	0,651	0,493
B07 S	0,510	1,000	0,610	0,651	0,753	0,775	0,657	0,773
B09 S	0,724	0,610	1,000	0,545	0,576	0,670	0,808	0,710
B12 W	0,545	0,651	0,545	1,000	0,794	0,553	0,593	0,478
B32 V	0,556	0,753	0,576	0,794	1,000	0,733	0,683	0,547
B35 V	0,470	0,775	0,670	0,553	0,733	1,000	0,754	0,792
Ca	0,651	0,657	0,808	0,593	0,683	0,754	1,000	0,733
Cb	0,493	0,773	0,710	0,478	0,547	0,792	0,733	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.808

Join B09\_S and Ca into **Ca**

Step 8 : 7 clusters

	B05 S	B07 S	B12 W	B32 V	B35 V	Ca	Cb
B05 S	1,000	0,510	0,545	0,556	0,470	0,670	0,493
B07 S	0,510	1,000	0,651	0,753	0,775	0,715	0,773
B12 W	0,545	0,651	1,000	0,794	0,553	0,574	0,478
B32 V	0,556	0,753	0,794	1,000	0,733	0,664	0,547
B35 V	0,470	0,775	0,553	0,733	1,000	0,773	0,792
Ca	0,670	0,715	0,574	0,664	0,773	1,000	0,790
Cb	0,493	0,773	0,478	0,547	0,792	0,790	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.794

Join B12\_W and B32\_V into **Cd**



Step 9 : 6 clusters

	B05 S	B07 S	B35 V	Ca	Cb	Cd
B05 S	1,000	0,510	0,470	0,670	0,493	0,532
B07 S	0,510	1,000	0,775	0,715	0,773	0,734
B35 V	0,470	0,775	1,000	0,773	0,792	0,696
Ca	0,670	0,715	0,773	1,000	0,790	0,619
Cb	0,493	0,773	0,792	0,790	1,000	0,524
Cd	0,532	0,734	0,696	0,619	0,524	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.792

Join B35\_V and Cb into **Cb**

Step 10 : 5 clusters

	B05 S	B07 S	Ca	Cb	Cd
B05 S	1,000	0,510	0,670	0,473	0,532
B07 S	0,510	1,000	0,715	0,792	0,734
Ca	0,670	0,715	1,000	0,771	0,619
Cb	0,473	0,792	0,771	1,000	0,543
Cd	0,532	0,734	0,619	0,543	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.792

Join B07\_S and Cb into **Cb**

Step 11 : 4 clusters

	B05 S	Ca	Cb	Cd
B05 S	1,000	0,670	0,513	0,532
Ca	0,670	1,000	0,848	0,619
Cb	0,513	0,848	1,000	0,619
Cd	0,532	0,619	0,619	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.848

Join Ca and Cb into **Ca**

Step 12 : 3 clusters

	B05 S	Ca	Cd
B05 S	1,000	0,572	0,532
Ca	0,572	1,000	0,638
Cd	0,532	0,638	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.638

Join Ca and Cd into **Ca**

Step 13 : 2 clusters

	B05_S	Ca
B05_S	1,000	0,631
Ca	0,631	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.631

Join B05\_S and Ca into **Ca**

## Economical aspect – Calculations

Step 1 : 19 clusters

	B01_S	B02_S	B03_S	B04_S	B06_S	B08_S	B09_S	B10_S	B11_S	B13_W	B17_W	B30_V	B31_V	B32_V	B33_V	B34_V	B35_V	B37_G	B38_G
B01_S	1,000	0,505	0,651	0,507	0,794	0,478	0,871	0,637	0,741	0,871	0,886	0,673	0,546	0,902	0,429	0,597	0,286	0,689	0,441
B02_S	0,505	1,000	0,579	0,956	0,525	0,804	0,450	0,624	0,670	0,640	0,523	0,310	0,700	0,485	0,818	0,472	0,627	0,598	0,545
B03_S	0,651	0,579	1,000	0,560	0,534	0,611	0,559	0,884	0,512	0,539	0,572	0,363	0,696	0,573	0,599	0,512	0,468	0,529	0,612
B04_S	0,507	0,956	0,560	1,000	0,527	0,782	0,453	0,624	0,670	0,650	0,525	0,315	0,689	0,546	0,806	0,515	0,618	0,599	0,527
B06_S	0,794	0,525	0,534	0,527	1,000	0,398	0,861	0,578	0,790	0,822	0,846	0,762	0,390	0,716	0,371	0,657	0,158	0,777	0,539
B08_S	0,478	0,804	0,611	0,782	0,398	1,000	0,382	0,577	0,525	0,553	0,424	0,181	0,772	0,438	0,931	0,283	0,800	0,453	0,478
B09_S	0,871	0,450	0,559	0,453	0,861	0,382	1,000	0,594	0,709	0,800	0,955	0,840	0,453	0,822	0,345	0,583	0,139	0,696	0,406
B10_S	0,637	0,624	0,884	0,624	0,578	0,577	0,594	1,000	0,605	0,624	0,637	0,406	0,722	0,559	0,576	0,617	0,434	0,631	0,637
B11_S	0,741	0,670	0,512	0,670	0,790	0,525	0,709	0,605	1,000	0,808	0,763	0,571	0,495	0,663	0,553	0,703	0,284	0,899	0,644
B13_W	0,871	0,640	0,539	0,650	0,822	0,553	0,800	0,624	0,808	1,000	0,874	0,640	0,581	0,852	0,542	0,714	0,338	0,755	0,505
B17_W	0,886	0,523	0,572	0,525	0,846	0,424	0,955	0,637	0,763	0,874	1,000	0,794	0,505	0,856	0,406	0,636	0,190	0,710	0,458
B30_V	0,673	0,310	0,363	0,315	0,762	0,181	0,840	0,406	0,571	0,640	0,794	1,000	0,256	0,653	0,158	0,442	-0,060	0,559	0,307
B31_V	0,546	0,700	0,696	0,689	0,390	0,772	0,453	0,722	0,495	0,581	0,505	0,256	1,000	0,527	0,738	0,446	0,696	0,425	0,468
B32_V	0,902	0,485	0,573	0,546	0,716	0,438	0,822	0,559	0,663	0,852	0,856	0,653	0,527	1,000	0,410	0,637	0,315	0,612	0,363
B33_V	0,429	0,818	0,599	0,806	0,371	0,931	0,345	0,576	0,553	0,542	0,406	0,158	0,738	0,410	1,000	0,347	0,755	0,522	0,546
B34_V	0,597	0,472	0,512	0,515	0,657	0,283	0,583	0,617	0,703	0,714	0,636	0,442	0,446	0,637	0,347	1,000	0,250	0,749	0,687
B35_V	0,286	0,627	0,468	0,618	0,158	0,800	0,139	0,434	0,284	0,338	0,190	-0,060	0,696	0,315	0,755	0,250	1,000	0,254	0,335
B37_G	0,689	0,598	0,529	0,599	0,777	0,453	0,696	0,631	0,899	0,755	0,710	0,559	0,425	0,612	0,522	0,749	0,254	1,000	0,689
B38_G	0,441	0,545	0,612	0,527	0,539	0,478	0,406	0,637	0,644	0,505	0,458	0,307	0,468	0,363	0,546	0,687	0,335	0,689	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.956

This occurs between : B02\_S and B04\_S

Join B02\_S and B04\_S into **Ca**

Step 2 : 18 clusters

	B01_S	B03_S	B06_S	B08_S	B09_S	B10_S	B11_S	B13_W	B17_W	B30_V	B31_V	B32_V	B33_V	B34_V	B35_V	B37_G	B38_G	Ca
B01_S	1,000	0,651	0,794	0,478	0,871	0,637	0,741	0,871	0,886	0,673	0,546	0,902	0,429	0,597	0,286	0,689	0,441	0,502
B03_S	0,651	1,000	0,534	0,611	0,559	0,884	0,512	0,539	0,572	0,363	0,696	0,573	0,599	0,512	0,468	0,529	0,612	0,593
B06_S	0,794	0,534	1,000	0,398	0,861	0,578	0,790	0,822	0,846	0,762	0,390	0,716	0,371	0,657	0,158	0,777	0,539	0,541
B08_S	0,478	0,611	0,398	1,000	0,382	0,577	0,525	0,553	0,424	0,181	0,772	0,438	0,931	0,283	0,800	0,453	0,478	0,794
B09_S	0,871	0,559	0,861	0,382	1,000	0,594	0,709	0,800	0,955	0,840	0,453	0,822	0,345	0,583	0,139	0,696	0,406	0,468
B10_S	0,637	0,884	0,578	0,577	0,594	1,000	0,605	0,624	0,637	0,406	0,722	0,559	0,576	0,617	0,434	0,631	0,637	0,638
B11_S	0,741	0,512	0,790	0,525	0,709	0,605	1,000	0,808	0,763	0,571	0,495	0,663	0,553	0,703	0,284	0,899	0,644	0,683
B13_W	0,871	0,539	0,822	0,553	0,800	0,624	0,808	1,000	0,874	0,640	0,581	0,852	0,542	0,714	0,338	0,755	0,505	0,644
B17_W	0,886	0,572	0,846	0,424	0,955	0,637	0,763	0,874	1,000	0,794	0,505	0,856	0,406	0,636	0,190	0,710	0,458	0,539
B30_V	0,673	0,363	0,762	0,181	0,840	0,406	0,571	0,640	0,794	1,000	0,256	0,653	0,158	0,442	-0,060	0,559	0,307	0,332
B31_V	0,546	0,696	0,390	0,772	0,453	0,722	0,495	0,581	0,505	0,256	1,000	0,527	0,738	0,446	0,696	0,425	0,468	0,702
B32_V	0,902	0,573	0,716	0,438	0,822	0,559	0,663	0,852	0,856	0,653	0,527	1,000	0,410	0,637	0,315	0,612	0,363	0,502
B33_V	0,429	0,599	0,371	0,931	0,345	0,576	0,553	0,542	0,406	0,158	0,738	0,410	1,000	0,347	0,755	0,522	0,546	0,817
B34_V	0,597	0,512	0,657	0,283	0,583	0,617	0,703	0,714	0,636	0,442	0,446	0,637	0,347	1,000	0,250	0,749	0,687	0,500
B35_V	0,286	0,468	0,158	0,800	0,139	0,434	0,284	0,338	0,190	-0,060	0,696	0,315	0,755	0,250	1,000	0,254	0,335	0,592
B37_G	0,689	0,529	0,777	0,453	0,696	0,631	0,899	0,755	0,710	0,559	0,425	0,612	0,522	0,749	0,254	1,000	0,689	0,612
B38_G	0,441	0,612	0,539	0,478	0,406	0,637	0,644	0,505	0,458	0,307	0,468	0,363	0,546	0,687	0,335	0,689	1,000	0,560
Ca	0,502	0,593	0,541	0,794	0,468	0,638	0,683	0,644	0,539	0,332	0,702	0,502	0,817	0,500	0,592	0,612	0,560	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.955

Join B09\_S and B17\_W into **Cb**

Step 3 : 17 clusters

	B01_S	B03_S	B06_S	B08_S	B10_S	B11_S	B13_W	B30_V	B31_V	B32_V	B33_V	B34_V	B35_V	B37_G	B38_G	Ca	Cb
B01_S	1.000	0.651	0.794	0.478	0.637	0.741	0.871	0.673	0.546	0.902	0.429	0.597	0.286	0.689	0.441	0.502	0.850
B03_S	0.651	1.000	0.534	0.611	0.884	0.512	0.539	0.363	0.696	0.573	0.599	0.512	0.468	0.529	0.612	0.593	0.536
B06_S	0.794	0.534	1.000	0.398	0.578	0.790	0.822	0.762	0.390	0.716	0.371	0.657	0.158	0.777	0.539	0.541	0.831
B08_S	0.478	0.611	0.398	1.000	0.577	0.525	0.553	0.181	0.772	0.438	0.931	0.283	0.800	0.453	0.478	0.794	0.363
B10_S	0.637	0.884	0.578	0.577	1.000	0.605	0.624	0.406	0.722	0.559	0.576	0.617	0.434	0.631	0.637	0.638	0.580
B11_S	0.741	0.512	0.790	0.525	0.605	1.000	0.808	0.571	0.495	0.663	0.553	0.703	0.284	0.899	0.644	0.683	0.721
B13_W	0.871	0.539	0.822	0.553	0.624	0.808	1.000	0.640	0.581	0.852	0.542	0.714	0.338	0.755	0.505	0.644	0.800
B30_V	0.673	0.363	0.762	0.181	0.406	0.571	0.640	1.000	0.256	0.653	0.158	0.442	-0.060	0.559	0.307	0.332	0.820
B31_V	0.546	0.696	0.390	0.772	0.722	0.495	0.581	0.256	1.000	0.527	0.738	0.446	0.696	0.425	0.468	0.702	0.433
B32_V	0.902	0.573	0.716	0.438	0.559	0.663	0.852	0.653	0.527	1.000	0.410	0.637	0.315	0.612	0.363	0.502	0.812
B33_V	0.429	0.599	0.371	0.931	0.576	0.553	0.542	0.158	0.738	0.410	1.000	0.347	0.755	0.522	0.546	0.817	0.337
B34_V	0.597	0.512	0.657	0.283	0.617	0.703	0.714	0.442	0.446	0.637	0.347	1.000	0.250	0.749	0.687	0.500	0.579
B35_V	0.286	0.468	0.158	0.800	0.434	0.284	0.338	-0.060	0.696	0.315	0.755	0.250	1.000	0.254	0.335	0.592	0.126
B37_G	0.689	0.529	0.777	0.453	0.631	0.899	0.755	0.559	0.425	0.612	0.522	0.749	0.254	1.000	0.689	0.612	0.670
B38_G	0.441	0.612	0.539	0.478	0.637	0.644	0.505	0.307	0.468	0.363	0.546	0.687	0.335	0.689	1.000	0.560	0.425
Ca	0.502	0.593	0.541	0.794	0.638	0.683	0.644	0.332	0.702	0.502	0.817	0.500	0.592	0.612	0.560	1.000	0.467
Cb	0.850	0.536	0.831	0.363	0.580	0.721	0.800	0.820	0.433	0.812	0.337	0.579	0.126	0.670	0.425	0.467	1.000

Highest value rank correlation coefficient : 0.931

Join B08\_S and B33\_V into Cc

Step 4 : 16 clusters

	B01_S	B03_S	B06_S	B10_S	B11_S	B13_W	B30_V	B31_V	B32_V	B34_V	B35_V	B37_G	B38_G	Ca	Cb	Cc
B01_S	1.000	0.651	0.794	0.637	0.741	0.871	0.673	0.546	0.902	0.597	0.286	0.689	0.441	0.502	0.850	0.483
B03_S	0.651	1.000	0.534	0.884	0.512	0.539	0.363	0.696	0.573	0.512	0.468	0.529	0.612	0.593	0.536	0.612
B06_S	0.794	0.534	1.000	0.578	0.790	0.822	0.762	0.390	0.716	0.657	0.158	0.777	0.539	0.541	0.831	0.406
B10_S	0.637	0.884	0.578	1.000	0.605	0.624	0.406	0.722	0.559	0.617	0.434	0.631	0.637	0.638	0.580	0.580
B11_S	0.741	0.512	0.790	0.605	1.000	0.808	0.571	0.495	0.663	0.703	0.284	0.899	0.644	0.683	0.721	0.548
B13_W	0.871	0.539	0.822	0.624	0.808	1.000	0.640	0.581	0.852	0.714	0.338	0.755	0.505	0.644	0.800	0.566
B30_V	0.673	0.363	0.762	0.406	0.571	0.640	1.000	0.256	0.653	0.442	-0.060	0.559	0.307	0.332	0.820	0.195
B31_V	0.546	0.696	0.390	0.722	0.495	0.581	0.256	1.000	0.527	0.446	0.696	0.425	0.468	0.702	0.433	0.740
B32_V	0.902	0.573	0.716	0.559	0.663	0.852	0.653	0.527	1.000	0.637	0.315	0.612	0.363	0.502	0.812	0.444
B34_V	0.597	0.512	0.657	0.617	0.703	0.714	0.442	0.446	0.637	1.000	0.250	0.749	0.687	0.500	0.579	0.284
B35_V	0.286	0.468	0.158	0.434	0.284	0.338	-0.060	0.696	0.315	0.250	1.000	0.254	0.335	0.592	0.126	0.748
B37_G	0.689	0.529	0.777	0.631	0.899	0.755	0.559	0.425	0.612	0.749	0.254	1.000	0.689	0.612	0.670	0.478
B38_G	0.441	0.612	0.539	0.637	0.644	0.505	0.307	0.468	0.363	0.687	0.335	0.689	1.000	0.560	0.425	0.502
Ca	0.502	0.593	0.541	0.638	0.683	0.644	0.332	0.702	0.502	0.500	0.592	0.612	0.560	1.000	0.467	0.790
Cb	0.850	0.536	0.831	0.580	0.721	0.800	0.820	0.433	0.812	0.579	0.126	0.670	0.425	0.467	1.000	0.371
Cc	0.483	0.612	0.406	0.580	0.548	0.566	0.195	0.740	0.444	0.284	0.748	0.478	0.502	0.790	0.371	1.000

Highest value rank correlation coefficient : 0.902

Join B01\_S and B32\_V into Cd

Step 5 : 15 clusters

	B03 S	B06 S	B10 S	B11 S	B13 W	B30 V	B31 V	B34 V	B35 V	B37 G	B38 G	Ca	Cb	Cc	Cd
B03 S	1,000	0,534	0,884	0,512	0,539	0,363	0,696	0,512	0,468	0,529	0,612	0,593	0,536	0,612	0,612
B06 S	0,534	1,000	0,578	0,790	0,822	0,762	0,390	0,657	0,158	0,777	0,539	0,541	0,831	0,406	0,773
B10 S	0,884	0,578	1,000	0,605	0,624	0,406	0,722	0,617	0,434	0,631	0,637	0,638	0,580	0,580	0,599
B11 S	0,512	0,790	0,605	1,000	0,808	0,571	0,495	0,703	0,284	0,899	0,644	0,683	0,721	0,548	0,721
B13 W	0,539	0,822	0,624	0,808	1,000	0,640	0,581	0,714	0,338	0,755	0,505	0,644	0,800	0,566	0,878
B30 V	0,363	0,762	0,406	0,571	0,640	1,000	0,256	0,442	-0,060	0,559	0,307	0,332	0,820	0,195	0,664
B31 V	0,696	0,390	0,722	0,495	0,581	0,256	1,000	0,446	0,696	0,425	0,468	0,702	0,433	0,740	0,548
B34 V	0,512	0,657	0,617	0,703	0,714	0,442	0,446	1,000	0,250	0,749	0,687	0,500	0,579	0,284	0,618
B35 V	0,468	0,158	0,434	0,284	0,338	-0,060	0,696	0,250	1,000	0,254	0,335	0,592	0,126	0,748	0,282
B37 G	0,529	0,777	0,631	0,899	0,755	0,559	0,425	0,749	0,254	1,000	0,689	0,612	0,670	0,478	0,670
B38 G	0,612	0,539	0,637	0,644	0,505	0,307	0,468	0,687	0,335	0,689	1,000	0,560	0,425	0,502	0,425
Ca	0,593	0,541	0,638	0,683	0,644	0,332	0,702	0,500	0,592	0,612	0,560	1,000	0,467	0,790	0,505
Cb	0,536	0,831	0,580	0,721	0,800	0,820	0,433	0,579	0,126	0,670	0,425	0,467	1,000	0,371	0,848
Cc	0,612	0,406	0,580	0,548	0,566	0,195	0,740	0,284	0,748	0,478	0,502	0,790	0,371	1,000	0,486
Cd	0,612	0,773	0,599	0,721	0,878	0,664	0,548	0,618	0,282	0,670	0,425	0,505	0,848	0,486	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.899

Join B11\_S and B37\_G into Ce

Step 6 : 14 clusters

	B03 S	B06 S	B10 S	B13 W	B30 V	B31 V	B34 V	B35 V	B38 G	Ca	Cb	Cc	Cd	Ce
B03 S	1,000	0,534	0,884	0,539	0,363	0,696	0,512	0,468	0,612	0,593	0,536	0,612	0,612	0,498
B06 S	0,534	1,000	0,578	0,822	0,762	0,390	0,657	0,158	0,539	0,541	0,831	0,406	0,773	0,792
B10 S	0,884	0,578	1,000	0,624	0,406	0,722	0,617	0,434	0,637	0,638	0,580	0,580	0,599	0,599
B13 W	0,539	0,822	0,624	1,000	0,640	0,581	0,714	0,338	0,505	0,644	0,800	0,566	0,878	0,820
B30 V	0,363	0,762	0,406	0,640	1,000	0,256	0,442	-0,060	0,307	0,332	0,820	0,195	0,664	0,586
B31 V	0,696	0,390	0,722	0,581	0,256	1,000	0,446	0,696	0,468	0,702	0,433	0,740	0,548	0,471
B34 V	0,512	0,657	0,617	0,714	0,442	0,446	1,000	0,250	0,687	0,500	0,579	0,284	0,618	0,716
B35 V	0,468	0,158	0,434	0,338	-0,060	0,696	0,250	1,000	0,335	0,592	0,126	0,748	0,282	0,262
B38 G	0,612	0,539	0,637	0,505	0,307	0,468	0,687	0,335	1,000	0,560	0,425	0,502	0,425	0,618
Ca	0,593	0,541	0,638	0,644	0,332	0,702	0,500	0,592	0,560	1,000	0,467	0,790	0,505	0,657
Cb	0,536	0,831	0,580	0,800	0,820	0,433	0,579	0,126	0,425	0,467	1,000	0,371	0,848	0,733
Cc	0,612	0,406	0,580	0,566	0,195	0,740	0,284	0,748	0,502	0,790	0,371	1,000	0,486	0,524
Cd	0,612	0,773	0,599	0,878	0,664	0,548	0,618	0,282	0,425	0,505	0,848	0,486	1,000	0,733
Ce	0,498	0,792	0,599	0,820	0,586	0,471	0,716	0,262	0,618	0,657	0,733	0,524	0,733	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.884

Join B03\_S and B10\_S into Cf

Step 7 : 13 clusters

	B06 S	B13 W	B30 V	B31 V	B34 V	B35 V	B38 G	Ca	Cb	Cc	Cd	Ce	Cf
B06 S	1.000	0,822	0,762	0,390	0,657	0,158	0,539	0,541	0,831	0,406	0,773	0,792	0,560
B13 W	0,822	1,000	0,640	0,581	0,714	0,338	0,505	0,644	0,800	0,566	0,878	0,820	0,605
B30 V	0,762	0,640	1,000	0,256	0,442	-0,060	0,307	0,332	0,820	0,195	0,664	0,586	0,390
B31 V	0,390	0,581	0,256	1,000	0,446	0,696	0,468	0,702	0,433	0,740	0,548	0,471	0,740
B34 V	0,657	0,714	0,442	0,446	1,000	0,250	0,687	0,500	0,579	0,284	0,618	0,716	0,598
B35 V	0,158	0,338	-0,060	0,696	0,250	1,000	0,335	0,592	0,126	0,748	0,282	0,262	0,437
B38 G	0,539	0,505	0,307	0,468	0,687	0,335	1,000	0,560	0,425	0,502	0,425	0,618	0,618
Ca	0,541	0,644	0,332	0,702	0,500	0,592	0,560	1,000	0,467	0,790	0,505	0,657	0,600
Cb	0,831	0,800	0,820	0,433	0,579	0,126	0,425	0,467	1,000	0,371	0,848	0,733	0,562
Cc	0,406	0,566	0,195	0,740	0,284	0,748	0,502	0,790	0,371	1,000	0,486	0,524	0,581
Cd	0,773	0,878	0,664	0,548	0,618	0,282	0,425	0,505	0,848	0,486	1,000	0,733	0,600
Ce	0,792	0,820	0,586	0,471	0,716	0,262	0,618	0,657	0,733	0,524	0,733	1,000	0,562
Cf	0,560	0,605	0,390	0,740	0,598	0,437	0,618	0,600	0,562	0,581	0,600	0,562	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.878

Join B13\_W and Cd into **Cd**

Step 8 : 12 clusters

	B06 S	B30 V	B31 V	B34 V	B35 V	B38 G	Ca	Cb	Cc	Cd	Ce	Cf
B06 S	1.000	0,762	0,390	0,657	0,158	0,539	0,541	0,831	0,406	0,773	0,792	0,560
B30 V	0,762	1,000	0,256	0,442	-0,060	0,307	0,332	0,820	0,195	0,664	0,586	0,390
B31 V	0,390	0,256	1,000	0,446	0,696	0,468	0,702	0,433	0,740	0,548	0,471	0,740
B34 V	0,657	0,442	0,446	1,000	0,250	0,687	0,500	0,579	0,284	0,618	0,716	0,598
B35 V	0,158	-0,060	0,696	0,250	1,000	0,335	0,592	0,126	0,748	0,282	0,262	0,437
B38 G	0,539	0,307	0,468	0,687	0,335	1,000	0,560	0,425	0,502	0,425	0,618	0,618
Ca	0,541	0,332	0,702	0,500	0,592	0,560	1,000	0,467	0,790	0,505	0,657	0,600
Cb	0,831	0,820	0,433	0,579	0,126	0,425	0,467	1,000	0,371	0,848	0,733	0,562
Cc	0,406	0,195	0,740	0,284	0,748	0,502	0,790	0,371	1,000	0,486	0,524	0,581
Cd	0,773	0,664	0,548	0,618	0,282	0,425	0,505	0,848	0,486	1,000	0,733	0,600
Ce	0,792	0,586	0,471	0,716	0,262	0,618	0,657	0,733	0,524	0,733	1,000	0,562
Cf	0,560	0,390	0,740	0,598	0,437	0,618	0,600	0,562	0,581	0,600	0,562	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.848

Join Cb and Cd into **Cb**

Step 9 : 11 clusters

	B06 S	B30 V	B31 V	B34 V	B35 V	B38 G	Ca	Cb	Cc	Ce	Cf
B06 S	1.000	0,762	0,390	0,657	0,158	0,539	0,541	0,831	0,406	0,792	0,560
B30 V	0,762	1,000	0,256	0,442	-0,060	0,307	0,332	0,742	0,195	0,586	0,390
B31 V	0,390	0,256	1,000	0,446	0,696	0,468	0,702	0,471	0,740	0,471	0,740
B34 V	0,657	0,442	0,446	1,000	0,250	0,687	0,500	0,579	0,284	0,716	0,598
B35 V	0,158	-0,060	0,696	0,250	1,000	0,335	0,592	0,204	0,748	0,262	0,437
B38 G	0,539	0,307	0,468	0,687	0,335	1,000	0,560	0,425	0,502	0,618	0,618
Ca	0,541	0,332	0,702	0,500	0,592	0,560	1,000	0,467	0,790	0,657	0,600
Cb	0,831	0,742	0,471	0,579	0,204	0,425	0,467	1,000	0,410	0,733	0,600
Cc	0,406	0,195	0,740	0,284	0,748	0,502	0,790	0,410	1,000	0,524	0,581
Ce	0,792	0,586	0,471	0,716	0,262	0,618	0,657	0,733	0,524	1,000	0,562
Cf	0,560	0,390	0,740	0,598	0,437	0,618	0,600	0,600	0,581	0,562	1,000



Highest value rank correlation coefficient : 0.831

Join B06\_S and Cb into **Cb**

*Step 10 : 10 clusters*

	B30 V	B31 V	B34 V	B35 V	B38 G	Ca	Cb	Cc	Ce	Cf
B30 V	1.000	0,256	0,442	-0,060	0,307	0,332	0,664	0,195	0,586	0,390
B31 V	0,256	1,000	0,446	0,696	0,468	0,702	0,587	0,740	0,471	0,740
B34 V	0,442	0,446	1,000	0,250	0,687	0,500	0,657	0,284	0,716	0,598
B35 V	-0,060	0,696	0,250	1,000	0,335	0,592	0,282	0,748	0,262	0,437
B38 G	0,307	0,468	0,687	0,335	1,000	0,560	0,464	0,502	0,618	0,618
Ca	0,332	0,702	0,500	0,592	0,560	1,000	0,543	0,790	0,657	0,600
Cb	0,664	0,587	0,657	0,282	0,464	0,543	1,000	0,524	0,771	0,638
Cc	0,195	0,740	0,284	0,748	0,502	0,790	0,524	1,000	0,524	0,581
Ce	0,586	0,471	0,716	0,262	0,618	0,657	0,771	0,524	1,000	0,562
Cf	0,390	0,740	0,598	0,437	0,618	0,600	0,638	0,581	0,562	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.771

Join Cb and Ce into **Cb**

*Step 11 : 9 clusters*

	B30 V	B31 V	B34 V	B35 V	B38 G	Ca	Cb	Cc	Cf
B30 V	1.000	0,256	0,442	-0,060	0,307	0,332	0,722	0,195	0,390
B31 V	0,256	1,000	0,446	0,696	0,468	0,702	0,529	0,740	0,740
B34 V	0,442	0,446	1,000	0,250	0,687	0,500	0,638	0,284	0,598
B35 V	-0,060	0,696	0,250	1,000	0,335	0,592	0,223	0,748	0,437
B38 G	0,307	0,468	0,687	0,335	1,000	0,560	0,444	0,502	0,618
Ca	0,332	0,702	0,500	0,592	0,560	1,000	0,524	0,790	0,600
Cb	0,722	0,529	0,638	0,223	0,444	0,524	1,000	0,467	0,581
Cc	0,195	0,740	0,284	0,748	0,502	0,790	0,467	1,000	0,581
Cf	0,390	0,740	0,598	0,437	0,618	0,600	0,581	0,581	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.790

Join Ca and Cc into **Ca**

*Step 12 : 8 clusters*

	B30 V	B31 V	B34 V	B35 V	B38 G	Ca	Cb	Cf
B30 V	1.000	0,256	0,442	-0,060	0,307	0,312	0,722	0,390
B31 V	0,256	1,000	0,446	0,696	0,468	0,721	0,529	0,740
B34 V	0,442	0,446	1,000	0,250	0,687	0,481	0,638	0,598
B35 V	-0,060	0,696	0,250	1,000	0,335	0,612	0,223	0,437
B38 G	0,307	0,468	0,687	0,335	1,000	0,541	0,444	0,618
Ca	0,312	0,721	0,481	0,612	0,541	1,000	0,543	0,581
Cb	0,722	0,529	0,638	0,223	0,444	0,543	1,000	0,581
Cf	0,390	0,740	0,598	0,437	0,618	0,581	0,581	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.740

Join B31\_V and Cf into **Cf**

Step 13 : 7 clusters

	B30_V	B34_V	B35_V	B38_G	Ca	Cb	Cf
B30_V	1,000	0,442	-0,060	0,307	0,312	0,722	0,351
B34_V	0,442	1,000	0,250	0,687	0,481	0,638	0,579
B35_V	-0,060	0,250	1,000	0,335	0,612	0,223	0,476
B38_G	0,307	0,687	0,335	1,000	0,541	0,444	0,618
Ca	0,312	0,481	0,612	0,541	1,000	0,543	0,581
Cb	0,722	0,638	0,223	0,444	0,543	1,000	0,543
Cf	0,351	0,579	0,476	0,618	0,581	0,543	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.722

Join B30\_V and Cb into **Cb**

Step 14 : 6 clusters

	B34_V	B35_V	B38_G	Ca	Cb	Cf
B34_V	1,000	0,250	0,687	0,481	0,618	0,579
B35_V	0,250	1,000	0,335	0,612	0,204	0,476
B38_G	0,687	0,335	1,000	0,541	0,502	0,618
Ca	0,481	0,612	0,541	1,000	0,524	0,581
Cb	0,618	0,204	0,502	0,524	1,000	0,524
Cf	0,579	0,476	0,618	0,581	0,524	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.687

Join B34\_V and B38\_G into **Cg**

Step 15 : 5 clusters

	B35_V	Ca	Cb	Cf	Cg
B35_V	1,000	0,612	0,204	0,476	0,223
Ca	0,612	1,000	0,524	0,581	0,486
Cb	0,204	0,524	1,000	0,524	0,619
Cf	0,476	0,581	0,524	1,000	0,600
Cg	0,223	0,486	0,619	0,600	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.619

Join Cb and Cg into **Cb**

Step 16 : 4 clusters

	B35_V	Ca	Cb	Cf
B35_V	1,000	0,612	0,165	0,476
Ca	0,612	1,000	0,486	0,581
Cb	0,165	0,486	1,000	0,524
Cf	0,476	0,581	0,524	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.612

Join B35\_V and Ca into **Ca**

Step 17 : 3 clusters

	Ca	Cb	Cf
Ca	1,000	0,448	0,581
Cb	0,448	1,000	0,524
Cf	0,581	0,524	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.581

Join Ca and Cf into **Ca**

Step 18 : 2 clusters

	Ca	Cb
Ca	1,000	0,486
Cb	0,486	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.486

Join Ca and Cb into **Ca**

## Social aspect

Step 1 : 16 clusters

	B07_S	B08_S	B11_S	B12_W	B13_W	B14_W	B17_W	B30_V	B31_V	B32_V	B33_V	B34_V	B35_V	B37_G	B38_G	B40_G
B07_S	1,000	0,876	0,925	0,935	0,759	0,905	0,936	0,935	0,980	0,915	0,940	0,920	0,859	0,950	0,950	0,868
B08_S	0,876	1,000	0,930	0,890	0,897	0,930	0,941	0,910	0,896	0,830	0,905	0,965	0,751	0,945	0,894	0,944
B11_S	0,925	0,930	1,000	0,910	0,805	0,960	0,941	0,890	0,955	0,900	0,985	0,945	0,843	0,975	0,894	0,934
B12_W	0,935	0,890	0,910	1,000	0,774	0,890	0,921	0,930	0,935	0,920	0,905	0,945	0,833	0,925	0,985	0,862
B13_W	0,759	0,897	0,805	0,774	1,000	0,794	0,827	0,815	0,780	0,753	0,788	0,829	0,670	0,829	0,775	0,847
B14_W	0,905	0,930	0,960	0,890	0,794	1,000	0,941	0,860	0,935	0,850	0,945	0,965	0,812	0,955	0,883	0,964
B17_W	0,936	0,941	0,941	0,921	0,827	0,941	1,000	0,901	0,966	0,861	0,955	0,945	0,824	0,985	0,935	0,904
B30_V	0,935	0,910	0,890	0,930	0,815	0,860	0,901	1,000	0,915	0,890	0,884	0,925	0,772	0,915	0,954	0,872
B31_V	0,980	0,896	0,955	0,935	0,780	0,935	0,966	0,915	1,000	0,915	0,970	0,930	0,859	0,970	0,940	0,888
B32_V	0,915	0,830	0,900	0,920	0,753	0,850	0,861	0,890	0,915	1,000	0,894	0,884	0,802	0,884	0,904	0,821
B33_V	0,940	0,905	0,985	0,905	0,788	0,945	0,955	0,884	0,970	0,894	1,000	0,919	0,857	0,980	0,898	0,918
B34_V	0,920	0,965	0,945	0,945	0,829	0,965	0,945	0,925	0,930	0,884	0,919	1,000	0,786	0,949	0,939	0,949
B35_V	0,859	0,751	0,843	0,833	0,670	0,812	0,824	0,772	0,859	0,802	0,857	0,786	1,000	0,847	0,835	0,802
B37_G	0,950	0,945	0,975	0,925	0,829	0,955	0,985	0,915	0,970	0,884	0,980	0,949	0,847	1,000	0,929	0,928
B38_G	0,950	0,894	0,894	0,985	0,775	0,883	0,935	0,954	0,940	0,904	0,898	0,939	0,835	0,929	1,000	0,854
B40_G	0,868	0,944	0,934	0,862	0,847	0,964	0,904	0,872	0,888	0,821	0,918	0,949	0,802	0,928	0,854	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.985

This occurs between : B11\_S and B33\_V / B12\_W and B38\_G / B17\_W and B37\_G

Join B11\_S and B33\_V into **Ca**

Join B12\_W and B38\_G into **Cb**

Join B17\_W and B37\_G into **Cc**



Step 2 : 13 clusters

	B07 S	B08 S	B13 W	B14 W	B30 V	B31 V	B32 V	B34 V	B35 V	B40 G	Ca	Cb	Cc
B07 S	1,000	0,876	0,759	0,905	0,935	0,980	0,915	0,920	0,859	0,868	0,903	0,884	0,923
B08 S	0,876	1,000	0,897	0,930	0,910	0,896	0,830	0,965	0,751	0,944	0,898	0,839	0,917
B13 W	0,759	0,897	1,000	0,794	0,815	0,780	0,753	0,829	0,670	0,847	0,785	0,725	0,805
B14 W	0,905	0,930	0,794	1,000	0,860	0,935	0,850	0,965	0,812	0,964	0,917	0,839	0,937
B30 V	0,935	0,910	0,815	0,860	1,000	0,915	0,890	0,925	0,772	0,872	0,878	0,878	0,878
B31 V	0,980	0,896	0,780	0,935	0,915	1,000	0,915	0,930	0,859	0,888	0,942	0,884	0,961
B32 V	0,915	0,830	0,753	0,850	0,890	0,915	1,000	0,884	0,802	0,821	0,898	0,878	0,859
B34 V	0,920	0,965	0,829	0,965	0,925	0,930	0,884	1,000	0,786	0,949	0,912	0,893	0,932
B35 V	0,859	0,751	0,670	0,812	0,772	0,859	0,802	0,786	1,000	0,802	0,822	0,822	0,822
B40 G	0,868	0,944	0,847	0,964	0,872	0,888	0,821	0,949	0,802	1,000	0,891	0,811	0,891
Ca	0,903	0,898	0,785	0,917	0,878	0,942	0,898	0,912	0,822	0,891	1,000	0,867	0,943
Cb	0,884	0,839	0,725	0,839	0,878	0,884	0,878	0,893	0,822	0,811	0,867	1,000	0,886
Cc	0,923	0,917	0,805	0,937	0,878	0,961	0,859	0,932	0,822	0,891	0,943	0,886	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.980

Join B07\_S and B31\_V into Cd

Step 3 : 12 clusters

	B08 S	B13 W	B14 W	B30 V	B32 V	B34 V	B35 V	B40 G	Ca	Cb	Cc	Cd
B08 S	1,000	0,897	0,930	0,910	0,830	0,965	0,751	0,944	0,898	0,839	0,917	0,859
B13 W	0,897	1,000	0,794	0,815	0,753	0,829	0,670	0,847	0,785	0,725	0,805	0,745
B14 W	0,930	0,794	1,000	0,860	0,850	0,965	0,812	0,964	0,917	0,839	0,937	0,898
B30 V	0,910	0,815	0,860	1,000	0,890	0,925	0,772	0,872	0,878	0,878	0,878	0,917
B32 V	0,830	0,753	0,850	0,890	1,000	0,884	0,802	0,821	0,898	0,878	0,859	0,917
B34 V	0,965	0,829	0,965	0,925	0,884	1,000	0,786	0,949	0,912	0,893	0,932	0,912
B35 V	0,751	0,670	0,812	0,772	0,802	0,786	1,000	0,802	0,822	0,822	0,822	0,842
B40 G	0,944	0,847	0,964	0,872	0,821	0,949	0,802	1,000	0,891	0,811	0,891	0,851
Ca	0,898	0,785	0,917	0,878	0,898	0,912	0,822	0,891	1,000	0,867	0,943	0,924
Cb	0,839	0,725	0,839	0,878	0,878	0,893	0,822	0,811	0,867	1,000	0,886	0,905
Cc	0,917	0,805	0,937	0,878	0,859	0,932	0,822	0,891	0,943	0,886	1,000	0,943
Cd	0,859	0,745	0,898	0,917	0,917	0,912	0,842	0,851	0,924	0,905	0,943	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.965

This occurs between : B08\_S and B34\_V / B14\_W and B34\_V

Join B08\_S, B14\_W and B34\_V into Ce

Step 4 : 10 clusters

	B13 W	B30 V	B32 V	B35 V	B40 G	Ca	Cb	Cc	Cd	Ce
B13 W	1,000	0,815	0,753	0,670	0,847	0,785	0,725	0,805	0,745	0,805
B30 V	0,815	1,000	0,890	0,772	0,872	0,878	0,878	0,878	0,917	0,859
B32 V	0,753	0,890	1,000	0,802	0,821	0,898	0,878	0,859	0,917	0,839
B35 V	0,670	0,772	0,802	1,000	0,802	0,822	0,822	0,822	0,842	0,763
B40 G	0,847	0,872	0,821	0,802	1,000	0,891	0,811	0,891	0,851	0,951
Ca	0,785	0,878	0,898	0,822	0,891	1,000	0,867	0,943	0,924	0,924
Cb	0,725	0,878	0,878	0,822	0,811	0,867	1,000	0,886	0,905	0,867
Cc	0,805	0,878	0,859	0,822	0,891	0,943	0,886	1,000	0,943	0,943
Cd	0,745	0,917	0,917	0,842	0,851	0,924	0,905	0,943	1,000	0,886
Ce	0,805	0,859	0,839	0,763	0,951	0,924	0,867	0,943	0,886	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.951

Join B40\_G and Ce into Ce

*Step 5 : 9 clusters*

	B13 W	B30 V	B32 V	B35 V	Ca	Cb	Cc	Cd	Ce
B13 W	1,000	0,815	0,753	0,670	0,785	0,725	0,805	0,745	0,805
B30 V	0,815	1,000	0,890	0,772	0,878	0,878	0,878	0,917	0,859
B32 V	0,753	0,890	1,000	0,802	0,898	0,878	0,859	0,917	0,839
B35 V	0,670	0,772	0,802	1,000	0,822	0,822	0,822	0,842	0,763
Ca	0,785	0,878	0,898	0,822	1,000	0,867	0,943	0,924	0,924
Cb	0,725	0,878	0,878	0,822	0,867	1,000	0,886	0,905	0,867
Cc	0,805	0,878	0,859	0,822	0,943	0,886	1,000	0,943	0,943
Cd	0,745	0,917	0,917	0,842	0,924	0,905	0,943	1,000	0,886
Ce	0,805	0,859	0,839	0,763	0,924	0,867	0,943	0,886	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.943

This occurs between : Ca and Cc / Cc and Cd / Cc and Ce

Join Ca, Cc, Cd and Ce into Ca

*Step 6 : 6 clusters*

	B13 W	B30 V	B32 V	B35 V	Ca	Cb
B13 W	1,000	0,815	0,753	0,670	0,785	0,725
B30 V	0,815	1,000	0,890	0,772	0,878	0,878
B32 V	0,753	0,890	1,000	0,802	0,878	0,878
B35 V	0,670	0,772	0,802	1,000	0,842	0,822
Ca	0,785	0,878	0,878	0,842	1,000	0,867
Cb	0,725	0,878	0,878	0,822	0,867	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.890

Join B30\_V and B32\_V into Cf

*Step 7 : 5 clusters*

	B13 W	B35 V	Ca	Cb	Cf
B13 W	1,000	0,670	0,785	0,725	0,765
B35 V	0,670	1,000	0,842	0,822	0,763
Ca	0,785	0,842	1,000	0,867	0,867
Cb	0,725	0,822	0,867	1,000	0,848
Cf	0,765	0,763	0,867	0,848	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.867

This occurs between : Ca and Cb / Ca and Cf

Join Ca, Cb and Cf into Ca

Step 8 : 3 clusters

	B13 W	B35 V	Ca
B13 W	1,000	0,670	0,805
B35 V	0,670	1,000	0,803
Ca	0,805	0,803	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.805

Join B13\_W and Ca into **Ca**

Step 9 : 2 clusters

	B35 V	Ca
B35 V	1,000	0,803
Ca	0,803	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.803

Join B35\_V and Ca into **Ca**.

## Technological aspect

Step 1 : 18 clusters

	B01 S	B02 S	B03 S	B04 S	B10 S	B13 W	B14 W	B15 W	B16 W	B30 V	B31 V	B32 V	B33 V	B34 V	B35 V	B37 G	B38 G	B39 G
B01 S	1,000	0,968	0,650	0,440	0,421	0,505	0,543	0,607	0,604	0,560	0,837	0,589	0,730	0,455	0,663	0,531	0,505	0,545
B02 S	0,968	1,000	0,677	0,445	0,467	0,542	0,527	0,624	0,621	0,566	0,835	0,628	0,685	0,513	0,616	0,579	0,457	0,519
B03 S	0,650	0,677	1,000	0,482	0,653	0,606	0,594	0,708	0,622	0,477	0,543	0,815	0,601	0,653	0,534	0,684	0,516	0,687
B04 S	0,440	0,445	0,482	1,000	0,612	0,821	0,804	0,813	0,860	0,804	0,400	0,607	0,463	0,568	0,649	0,591	0,251	0,615
B10 S	0,421	0,467	0,653	0,612	1,000	0,774	0,612	0,572	0,721	0,505	0,318	0,831	0,258	0,897	0,354	0,883	0,277	0,765
B13 W	0,505	0,542	0,606	0,821	0,774	1,000	0,823	0,739	0,929	0,731	0,469	0,691	0,404	0,715	0,534	0,745	0,227	0,667
B14 W	0,543	0,527	0,594	0,804	0,612	0,823	1,000	0,762	0,874	0,723	0,495	0,681	0,545	0,588	0,670	0,579	0,298	0,741
B15 W	0,607	0,624	0,708	0,813	0,572	0,739	0,762	1,000	0,808	0,784	0,563	0,670	0,684	0,579	0,713	0,570	0,283	0,594
B16 W	0,604	0,621	0,622	0,860	0,721	0,929	0,874	0,808	1,000	0,738	0,560	0,729	0,513	0,681	0,646	0,691	0,333	0,736
B30 V	0,560	0,566	0,477	0,804	0,505	0,731	0,723	0,784	0,738	1,000	0,535	0,508	0,448	0,469	0,590	0,574	0,073	0,485
B31 V	0,837	0,835	0,543	0,400	0,318	0,469	0,495	0,563	0,560	0,535	1,000	0,479	0,700	0,317	0,641	0,452	0,370	0,389
B32 V	0,589	0,628	0,815	0,607	0,831	0,691	0,681	0,670	0,729	0,508	0,479	1,000	0,476	0,825	0,460	0,844	0,463	0,827
B33 V	0,730	0,685	0,601	0,463	0,258	0,404	0,545	0,684	0,513	0,448	0,700	0,476	1,000	0,287	0,774	0,314	0,582	0,432
B34 V	0,455	0,513	0,653	0,568	0,897	0,715	0,588	0,579	0,681	0,469	0,317	0,825	0,287	1,000	0,333	0,869	0,317	0,790
B35 V	0,663	0,616	0,534	0,649	0,354	0,534	0,670	0,713	0,646	0,590	0,641	0,460	0,774	0,333	1,000	0,349	0,460	0,564
B37 G	0,531	0,579	0,684	0,591	0,883	0,745	0,579	0,570	0,691	0,574	0,452	0,844	0,314	0,869	0,349	1,000	0,292	0,715
B38 G	0,505	0,457	0,516	0,251	0,277	0,227	0,298	0,283	0,333	0,073	0,370	0,463	0,582	0,317	0,460	0,292	1,000	0,492
B39 G	0,545	0,519	0,687	0,615	0,765	0,667	0,741	0,594	0,736	0,485	0,389	0,827	0,432	0,790	0,564	0,715	0,492	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.968

This occurs between : B01\_S and B02\_S

Join B01\_S and B02\_S into **Ca**

Step 2 : 17 clusters

	B03 S	B04 S	B10 S	B13 W	B14 W	B15 W	B16 W	B30 V	B31 V	B32 V	B33 V	B34 V	B35 V	B37 G	B38 G	B39 G	Ca
B03 S	1.000	0.482	0.653	0.606	0.594	0.708	0.622	0.477	0.543	0.815	0.601	0.653	0.534	0.684	0.516	0.687	0.657
B04 S	0.482	1.000	0.612	0.821	0.804	0.813	0.860	0.804	0.400	0.607	0.463	0.568	0.649	0.591	0.251	0.615	0.378
B10 S	0.653	0.612	1.000	0.774	0.612	0.572	0.721	0.505	0.318	0.831	0.258	0.897	0.354	0.883	0.277	0.765	0.390
B13 W	0.606	0.821	0.774	1.000	0.823	0.739	0.929	0.731	0.469	0.691	0.404	0.715	0.534	0.745	0.227	0.667	0.461
B14 W	0.594	0.804	0.612	0.823	1.000	0.762	0.874	0.723	0.495	0.681	0.545	0.588	0.670	0.579	0.298	0.741	0.476
B15 W	0.708	0.813	0.572	0.739	0.762	1.000	0.808	0.784	0.563	0.670	0.684	0.579	0.713	0.570	0.283	0.594	0.598
B16 W	0.622	0.860	0.721	0.929	0.874	0.808	1.000	0.738	0.560	0.729	0.513	0.681	0.646	0.691	0.333	0.736	0.545
B30 V	0.477	0.804	0.505	0.731	0.723	0.784	0.738	1.000	0.535	0.508	0.448	0.469	0.590	0.574	0.073	0.485	0.493
B31 V	0.543	0.400	0.318	0.469	0.495	0.563	0.560	0.535	1.000	0.479	0.700	0.317	0.641	0.452	0.370	0.389	0.797
B32 V	0.815	0.607	0.831	0.691	0.681	0.670	0.729	0.508	0.479	1.000	0.476	0.825	0.460	0.844	0.463	0.827	0.551
B33 V	0.601	0.463	0.258	0.404	0.545	0.684	0.513	0.448	0.700	0.476	1.000	0.287	0.774	0.314	0.582	0.432	0.745
B34 V	0.653	0.568	0.897	0.715	0.588	0.579	0.681	0.469	0.317	0.825	0.287	1.000	0.333	0.869	0.317	0.790	0.443
B35 V	0.534	0.649	0.354	0.534	0.670	0.713	0.646	0.590	0.641	0.460	0.774	0.333	1.000	0.349	0.460	0.564	0.651
B37 G	0.684	0.591	0.883	0.745	0.579	0.570	0.691	0.574	0.452	0.844	0.314	0.869	0.349	1.000	0.292	0.715	0.486
B38 G	0.516	0.251	0.277	0.227	0.298	0.283	0.333	0.073	0.370	0.463	0.582	0.317	0.460	0.292	1.000	0.492	0.511
B39 G	0.687	0.615	0.765	0.667	0.741	0.594	0.736	0.485	0.389	0.827	0.432	0.790	0.564	0.715	0.492	1.000	0.498
Ca	0.657	0.378	0.390	0.461	0.476	0.598	0.545	0.493	0.797	0.551	0.745	0.443	0.651	0.486	0.511	0.498	1.000

Highest value rank correlation coefficient : 0.929

Join B13\_W and B16\_W into Cb

Step 3 : 16 clusters

	B03 S	B04 S	B10 S	B14 W	B15 W	B30 V	B31 V	B32 V	B33 V	B34 V	B35 V	B37 G	B38 G	B39 G	Ca	Cb
B03 S	1.000	0.482	0.653	0.594	0.708	0.477	0.543	0.815	0.601	0.653	0.534	0.684	0.516	0.687	0.657	0.618
B04 S	0.482	1.000	0.612	0.804	0.813	0.804	0.400	0.607	0.463	0.568	0.649	0.591	0.251	0.615	0.378	0.837
B10 S	0.653	0.612	1.000	0.612	0.572	0.505	0.318	0.831	0.258	0.897	0.354	0.883	0.277	0.765	0.390	0.683
B14 W	0.594	0.804	0.612	1.000	0.762	0.723	0.495	0.681	0.545	0.588	0.670	0.579	0.298	0.741	0.476	0.840
B15 W	0.708	0.813	0.572	0.762	1.000	0.784	0.563	0.670	0.684	0.579	0.713	0.570	0.283	0.594	0.598	0.797
B30 V	0.477	0.804	0.505	0.723	0.784	1.000	0.535	0.508	0.448	0.469	0.590	0.574	0.073	0.485	0.493	0.729
B31 V	0.543	0.400	0.318	0.495	0.563	0.535	1.000	0.479	0.700	0.317	0.641	0.452	0.370	0.389	0.797	0.507
B32 V	0.815	0.607	0.831	0.681	0.670	0.508	0.479	1.000	0.476	0.825	0.460	0.844	0.463	0.827	0.551	0.671
B33 V	0.601	0.463	0.258	0.545	0.684	0.448	0.700	0.476	1.000	0.287	0.774	0.314	0.582	0.432	0.745	0.483
B34 V	0.653	0.568	0.897	0.588	0.579	0.469	0.317	0.825	0.287	1.000	0.333	0.869	0.317	0.790	0.443	0.664
B35 V	0.534	0.649	0.354	0.670	0.713	0.590	0.641	0.460	0.774	0.333	1.000	0.349	0.460	0.564	0.651	0.610
B37 G	0.684	0.591	0.883	0.579	0.570	0.574	0.452	0.844	0.314	0.869	0.349	1.000	0.292	0.715	0.486	0.664
B38 G	0.516	0.251	0.277	0.298	0.283	0.073	0.370	0.463	0.582	0.317	0.460	0.292	1.000	0.492	0.511	0.310
B39 G	0.687	0.615	0.765	0.741	0.594	0.485	0.389	0.827	0.432	0.790	0.564	0.715	0.492	1.000	0.498	0.657
Ca	0.657	0.378	0.390	0.476	0.598	0.493	0.797	0.551	0.745	0.443	0.651	0.486	0.511	0.498	1.000	0.543
Cb	0.618	0.837	0.683	0.840	0.797	0.729	0.507	0.671	0.483	0.664	0.610	0.664	0.310	0.657	0.543	1.000

Highest value rank correlation coefficient : 0.897

This occurs between : B10\_S and B34\_V

Join B10\_S and B34\_V into Cc

Step 4 : 15 clusters

	B03 S	B04 S	B14 W	B15 W	B30 V	B31 V	B32 V	B33 V	B35 V	B37 G	B38 G	B39 G	Ca	Cb	Cc
B03 S	1,000	0,482	0,594	0,708	0,477	0,543	0,815	0,601	0,534	0,684	0,516	0,687	0,657	0,618	0,657
B04 S	0,482	1,000	0,804	0,813	0,804	0,400	0,607	0,463	0,649	0,591	0,251	0,615	0,378	0,837	0,558
B14 W	0,594	0,804	1,000	0,762	0,723	0,495	0,681	0,545	0,670	0,579	0,298	0,741	0,476	0,840	0,577
B15 W	0,708	0,813	0,762	1,000	0,784	0,563	0,670	0,684	0,713	0,570	0,283	0,594	0,598	0,797	0,538
B30 V	0,477	0,804	0,723	0,784	1,000	0,535	0,508	0,448	0,590	0,574	0,073	0,485	0,493	0,729	0,453
B31 V	0,543	0,400	0,495	0,563	0,535	1,000	0,479	0,700	0,641	0,452	0,370	0,389	0,797	0,507	0,279
B32 V	0,815	0,607	0,681	0,670	0,508	0,479	1,000	0,476	0,460	0,844	0,463	0,827	0,551	0,671	0,811
B33 V	0,601	0,463	0,545	0,684	0,448	0,700	0,476	1,000	0,774	0,314	0,582	0,432	0,745	0,483	0,242
B35 V	0,534	0,649	0,670	0,713	0,590	0,641	0,460	0,774	1,000	0,349	0,460	0,564	0,651	0,610	0,326
B37 G	0,684	0,591	0,579	0,570	0,574	0,452	0,844	0,314	0,349	1,000	0,292	0,715	0,486	0,664	0,862
B38 G	0,516	0,251	0,298	0,283	0,073	0,370	0,463	0,582	0,460	0,292	1,000	0,492	0,511	0,310	0,310
B39 G	0,687	0,615	0,741	0,594	0,485	0,389	0,827	0,432	0,564	0,715	0,492	1,000	0,498	0,657	0,797
Ca	0,657	0,378	0,476	0,598	0,493	0,797	0,551	0,745	0,651	0,486	0,511	0,498	1,000	0,543	0,390
Cb	0,618	0,837	0,840	0,797	0,729	0,507	0,671	0,483	0,610	0,664	0,310	0,657	0,543	1,000	0,657
Cc	0,657	0,558	0,577	0,538	0,453	0,279	0,811	0,242	0,326	0,862	0,310	0,797	0,390	0,657	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.862

Join B37\_G and Cc into **Cc**

Step 5 : 14 clusters

	B03 S	B04 S	B14 W	B15 W	B30 V	B31 V	B32 V	B33 V	B35 V	B38 G	B39 G	Ca	Cb	Cc
B03 S	1,000	0,482	0,594	0,708	0,477	0,543	0,815	0,601	0,534	0,516	0,687	0,657	0,618	0,677
B04 S	0,482	1,000	0,804	0,813	0,804	0,400	0,607	0,463	0,649	0,251	0,615	0,378	0,837	0,578
B14 W	0,594	0,804	1,000	0,762	0,723	0,495	0,681	0,545	0,670	0,298	0,741	0,476	0,840	0,557
B15 W	0,708	0,813	0,762	1,000	0,784	0,563	0,670	0,684	0,713	0,283	0,594	0,598	0,797	0,558
B30 V	0,477	0,804	0,723	0,784	1,000	0,535	0,508	0,448	0,590	0,073	0,485	0,493	0,729	0,473
B31 V	0,543	0,400	0,495	0,563	0,535	1,000	0,479	0,700	0,641	0,370	0,389	0,797	0,507	0,300
B32 V	0,815	0,607	0,681	0,670	0,508	0,479	1,000	0,476	0,460	0,463	0,827	0,551	0,671	0,831
B33 V	0,601	0,463	0,545	0,684	0,448	0,700	0,476	1,000	0,774	0,582	0,432	0,745	0,483	0,262
B35 V	0,534	0,649	0,670	0,713	0,590	0,641	0,460	0,774	1,000	0,460	0,564	0,651	0,610	0,346
B38 G	0,516	0,251	0,298	0,283	0,073	0,370	0,463	0,582	0,460	1,000	0,492	0,511	0,310	0,330
B39 G	0,687	0,615	0,741	0,594	0,485	0,389	0,827	0,432	0,564	0,492	1,000	0,498	0,657	0,777
Ca	0,657	0,378	0,476	0,598	0,493	0,797	0,551	0,745	0,651	0,511	0,498	1,000	0,543	0,410
Cb	0,618	0,837	0,840	0,797	0,729	0,507	0,671	0,483	0,610	0,310	0,657	0,543	1,000	0,676
Cc	0,677	0,578	0,557	0,558	0,473	0,300	0,831	0,262	0,346	0,330	0,777	0,410	0,676	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.840

Join B14\_W and Cb into **Cb**



Step 6 : 13 clusters

	B03 S	B04 S	B15 W	B30 V	B31 V	B32 V	B33 V	B35 V	B38 G	B39 G	Ca	Cb	Cc
B03 S	1,000	0,482	0,708	0,477	0,543	0,815	0,601	0,534	0,516	0,687	0,657	0,598	0,677
B04 S	0,482	1,000	0,813	0,804	0,400	0,607	0,463	0,649	0,251	0,615	0,378	0,837	0,578
B15 W	0,708	0,813	1,000	0,784	0,563	0,670	0,684	0,713	0,283	0,594	0,598	0,777	0,558
B30 V	0,477	0,804	0,784	1,000	0,535	0,508	0,448	0,590	0,073	0,485	0,493	0,729	0,473
B31 V	0,543	0,400	0,563	0,535	1,000	0,479	0,700	0,641	0,370	0,389	0,797	0,486	0,300
B32 V	0,815	0,607	0,670	0,508	0,479	1,000	0,476	0,460	0,463	0,827	0,551	0,651	0,831
B33 V	0,601	0,463	0,684	0,448	0,700	0,476	1,000	0,774	0,582	0,432	0,745	0,463	0,262
B35 V	0,534	0,649	0,713	0,590	0,641	0,460	0,774	1,000	0,460	0,564	0,651	0,590	0,346
B38 G	0,516	0,251	0,283	0,073	0,370	0,463	0,582	0,460	1,000	0,492	0,511	0,290	0,330
B39 G	0,687	0,615	0,594	0,485	0,389	0,827	0,432	0,564	0,492	1,000	0,498	0,637	0,777
Ca	0,657	0,378	0,598	0,493	0,797	0,551	0,745	0,651	0,511	0,498	1,000	0,524	0,410
Cb	0,598	0,837	0,777	0,729	0,486	0,651	0,463	0,590	0,290	0,637	0,524	1,000	0,695
Cc	0,677	0,578	0,558	0,473	0,300	0,831	0,262	0,346	0,330	0,777	0,410	0,695	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.837

Join B04\_S and Cb into **Cb**

Step 7 : 12 clusters

	B03 S	B15 W	B30 V	B31 V	B32 V	B33 V	B35 V	B38 G	B39 G	Ca	Cb	Cc
B03 S	1,000	0,708	0,477	0,543	0,815	0,601	0,534	0,516	0,687	0,657	0,598	0,677
B15 W	0,708	1,000	0,784	0,563	0,670	0,684	0,713	0,283	0,594	0,598	0,757	0,558
B30 V	0,477	0,784	1,000	0,535	0,508	0,448	0,590	0,073	0,485	0,493	0,710	0,473
B31 V	0,543	0,563	0,535	1,000	0,479	0,700	0,641	0,370	0,389	0,797	0,466	0,300
B32 V	0,815	0,670	0,508	0,479	1,000	0,476	0,460	0,463	0,827	0,551	0,631	0,831
B33 V	0,601	0,684	0,448	0,700	0,476	1,000	0,774	0,582	0,432	0,745	0,483	0,262
B35 V	0,534	0,713	0,590	0,641	0,460	0,774	1,000	0,460	0,564	0,651	0,610	0,346
B38 G	0,516	0,283	0,073	0,370	0,463	0,582	0,460	1,000	0,492	0,511	0,310	0,330
B39 G	0,687	0,594	0,485	0,389	0,827	0,432	0,564	0,492	1,000	0,498	0,737	0,777
Ca	0,657	0,598	0,493	0,797	0,551	0,745	0,651	0,511	0,498	1,000	0,505	0,410
Cb	0,598	0,757	0,710	0,466	0,631	0,483	0,610	0,310	0,737	0,505	1,000	0,638
Cc	0,677	0,558	0,473	0,300	0,831	0,262	0,346	0,330	0,777	0,410	0,638	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.831

Join B32\_V and Cc into **Cc**

Step 8 : 11 clusters

	B03 S	B15 W	B30 V	B31 V	B33 V	B35 V	B38 G	B39 G	Ca	Cb	Cc
B03 S	1,000	0,708	0,477	0,543	0,601	0,534	0,516	0,687	0,657	0,598	0,677
B15 W	0,708	1,000	0,784	0,563	0,684	0,713	0,283	0,594	0,598	0,757	0,578
B30 V	0,477	0,784	1,000	0,535	0,448	0,590	0,073	0,485	0,493	0,710	0,513
B31 V	0,543	0,563	0,535	1,000	0,700	0,641	0,370	0,389	0,797	0,466	0,341
B33 V	0,601	0,684	0,448	0,700	1,000	0,774	0,582	0,432	0,745	0,483	0,282
B35 V	0,534	0,713	0,590	0,641	0,774	1,000	0,460	0,564	0,651	0,610	0,366
B38 G	0,516	0,283	0,073	0,370	0,582	0,460	1,000	0,492	0,511	0,310	0,330
B39 G	0,687	0,594	0,485	0,389	0,432	0,564	0,492	1,000	0,498	0,737	0,777
Ca	0,657	0,598	0,493	0,797	0,745	0,651	0,511	0,498	1,000	0,505	0,448
Cb	0,598	0,757	0,710	0,466	0,483	0,610	0,310	0,737	0,505	1,000	0,638
Cc	0,677	0,578	0,513	0,341	0,282	0,366	0,330	0,777	0,448	0,638	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.797

Join B31\_V and Ca into **Ca**

Step 9 : 10 clusters

	B03 S	B15 W	B30 V	B33 V	B35 V	B38 G	B39 G	Ca	Cb	Cc
B03 S	1,000	0,708	0,477	0,601	0,534	0,516	0,687	0,657	0,598	0,677
B15 W	0,708	1,000	0,784	0,684	0,713	0,283	0,594	0,598	0,757	0,578
B30 V	0,477	0,784	1,000	0,448	0,590	0,073	0,485	0,493	0,710	0,513
B33 V	0,601	0,684	0,448	1,000	0,774	0,582	0,432	0,745	0,483	0,282
B35 V	0,534	0,713	0,590	0,774	1,000	0,460	0,564	0,651	0,610	0,366
B38 G	0,516	0,283	0,073	0,582	0,460	1,000	0,492	0,511	0,310	0,330
B39 G	0,687	0,594	0,485	0,432	0,564	0,492	1,000	0,498	0,737	0,777
Ca	0,657	0,598	0,493	0,745	0,651	0,511	0,498	1,000	0,505	0,448
Cb	0,598	0,757	0,710	0,483	0,610	0,310	0,737	0,505	1,000	0,638
Cc	0,677	0,578	0,513	0,282	0,366	0,330	0,777	0,448	0,638	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.784

Join B15\_W and B30\_V into **Cd**

Step 10 : 9 clusters

	B03 S	B33 V	B35 V	B38 G	B39 G	Ca	Cb	Cc	Cd
B03 S	1,000	0,601	0,534	0,516	0,687	0,657	0,598	0,677	0,638
B33 V	0,601	1,000	0,774	0,582	0,432	0,745	0,483	0,282	0,624
B35 V	0,534	0,774	1,000	0,460	0,564	0,651	0,610	0,366	0,692
B38 G	0,516	0,582	0,460	1,000	0,492	0,511	0,310	0,330	0,250
B39 G	0,687	0,432	0,564	0,492	1,000	0,498	0,737	0,777	0,598
Ca	0,657	0,745	0,651	0,511	0,498	1,000	0,505	0,448	0,562
Cb	0,598	0,483	0,610	0,310	0,737	0,505	1,000	0,638	0,790
Cc	0,677	0,282	0,366	0,330	0,777	0,448	0,638	1,000	0,619
Cd	0,638	0,624	0,692	0,250	0,598	0,562	0,790	0,619	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.790

Join Cb and Cd into **Cb**

Step 11 : 8 clusters

	B03 S	B33 V	B35 V	B38 G	B39 G	Ca	Cb	Cc
B03 S	1,000	0,601	0,534	0,516	0,687	0,657	0,598	0,677
B33 V	0,601	1,000	0,774	0,582	0,432	0,745	0,544	0,282
B35 V	0,534	0,774	1,000	0,460	0,564	0,651	0,651	0,366
B38 G	0,516	0,582	0,460	1,000	0,492	0,511	0,290	0,330
B39 G	0,687	0,432	0,564	0,492	1,000	0,498	0,637	0,777
Ca	0,657	0,745	0,651	0,511	0,498	1,000	0,486	0,448
Cb	0,598	0,544	0,651	0,290	0,637	0,486	1,000	0,619
Cc	0,677	0,282	0,366	0,330	0,777	0,448	0,619	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.777

Join B39\_G and Cc into **Cc**

Step 12 : 7 clusters

	B03 S	B33 V	B35 V	B38 G	Ca	Cb	Cc
B03 S	1,000	0,601	0,534	0,516	0,657	0,598	0,677
B33 V	0,601	1,000	0,774	0,582	0,745	0,544	0,282
B35 V	0,534	0,774	1,000	0,460	0,651	0,651	0,366
B38 G	0,516	0,582	0,460	1,000	0,511	0,290	0,330
Ca	0,657	0,745	0,651	0,511	1,000	0,486	0,448
Cb	0,598	0,544	0,651	0,290	0,486	1,000	0,619
Cc	0,677	0,282	0,366	0,330	0,448	0,619	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.774

Join B33\_V and B35\_V into **Ce**

Step 13 : 6 clusters

	B03 S	B38 G	Ca	Cb	Cc	Ce
B03 S	1,000	0,516	0,657	0,598	0,677	0,481
B38 G	0,516	1,000	0,511	0,290	0,330	0,471
Ca	0,657	0,511	1,000	0,486	0,448	0,619
Cb	0,598	0,290	0,486	1,000	0,619	0,600
Cc	0,677	0,330	0,448	0,619	1,000	0,333
Ce	0,481	0,471	0,619	0,600	0,333	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.677

Join B03\_S and Cc into **Cc**

Step 14 : 5 clusters

	B38 G	Ca	Cb	Cc	Ce
B38 G	1,000	0,511	0,290	0,370	0,471
Ca	0,511	1,000	0,486	0,448	0,619
Cb	0,290	0,486	1,000	0,619	0,600
Cc	0,370	0,448	0,619	1,000	0,295
Ce	0,471	0,619	0,600	0,295	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.619

This occurs between : Ca and Ce / Cb and Cc

Join Ca and Ce into **Ca**

Join Cb and Cc into **Cb**

Step 15 : 3 clusters

	B38 G	Ca	Cb
B38 G	1,000	0,431	0,350
Ca	0,431	1,000	0,390
Cb	0,350	0,390	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.390

Join Ca and Cb into **Ca**



*Step 16 : 2 clusters*

	B38_G	Ca
B38_G	1,000	0,411
Ca	0,411	1,000

Highest value rank correlation coefficient : 0.411

Join B38\_G and Ca into **Ca**.

# ANNEX B: AN INTRODUCTION TO GDS AND MULTIPLE GROUP DECISION PROBLEMS

## An introduction to GDS

### What is GDS ?

On the one hand there is a decision problem consisting of multiple alternatives (which are known and finite in number) where multiple criteria (which are known and finite in number) are taken in consideration (with deterministic evaluations for each alternative on each criterion). In fact, the decision problem under consideration is a *multiple criteria problem*. On the other hand, there are multiple decision makers which are involved in the decision process, which turns the multiple criteria problem into a *group decision problem*.



Figure 11: Group decision problem

A Group Decision Support (GDS) can handle such a situation and returns as solution for the decision problem a group's ranking of the alternatives. In short, a GDS uses a multiple criteria method to obtain this ranking.

Note that GDS is a sub-domain of the Prescriptive Decision Theory.

### The different GDS approaches

Several main general approaches can be distinguished to handle a GDS-process, where  $p$  decision makers are involved and where the problem at hand is well outlined.

A common property of most existing GDS's is that the decision problem, including the alternatives, the different criteria and the evaluations of the alternatives on the criteria, is determined by the group. Hence, it is presupposed that the group has already reached a consensus with respect to the afore mentioned inputs of the decision problem. Even the multiple criteria method, which will be used by the group, is supposed to be known to every decision maker of the group, who implicitly agrees with its use.

#### First type of GDS's

In the first approach of GDS's the so-called "decision maker"-specific data, such as preferences, importance's of criteria, ..., required for the selected multiple criteria method,

are determined by the group. In order to obtain the group decision, the multiple criteria problem is then solved by means of the chosen method, after which it is presented to the decision makers for final acceptance or discussion.

This first approach of GDS's, where  $p$  decision makers are involved and where the problem at hand is well outlined, can be summarised as follows:

- All aspects of the decision problem (alternatives, criteria, evaluations) are determined in group;
- The multiple criteria method that will be used as engine is chosen by the group of decision makers;
- The “decision maker”-specific data such as preferences, importance's of criteria, ... are determined in group according to the multiple criteria method that was chosen by the group;
- $I$  multiple criteria problem with 1 set of “decision maker”-specific data is considered;
- This  $I$  multiple criteria problem is solved using the multiple criteria method involved and results in  $I$  ranking of the alternatives;
- This group decision is then presented to the decision makers for final acceptance or discussion.

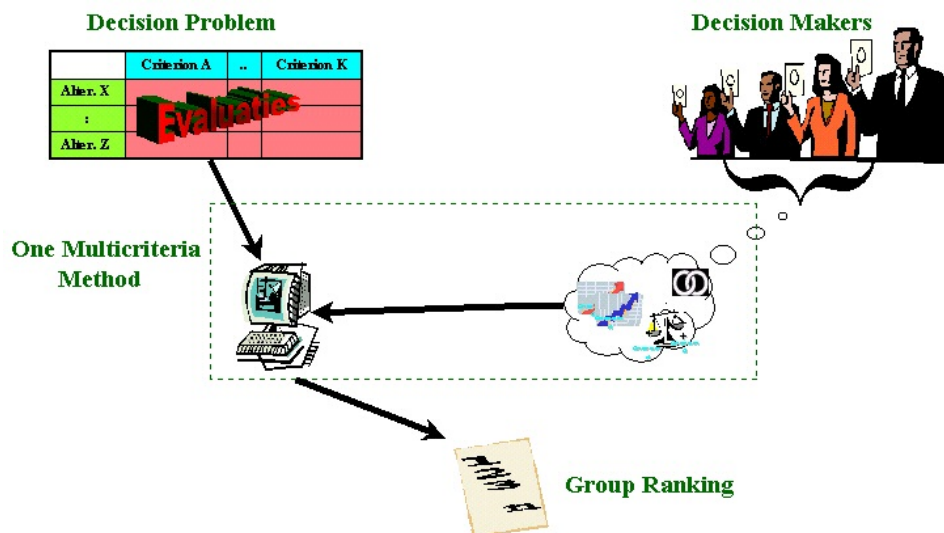


Figure 12: First type of GDS's

### Second type of GDS's.

The second type of GDS's supposes that the decision problem (alternatives, criteria, evaluations) is determined by the group in the same manner as for the first type. Though the “decision maker”-specific data such as preferences, importance's of criteria, ... required for the selected multiple criteria method are determined separately for each decision maker.

This second approach of GDS's, where  $p$  decision makers are involved and where the problem at hand is well outlined, can be summarised as follows:

- All aspects of the decision problem (alternatives, criteria, evaluations) are determined in group;

- The multiple criteria method that will be used as engine is chosen by the group of decision makers;
- For each decision maker “decision maker”-specific data such as preferences, importance’s of criteria, ... are determined according to the multiple criteria method that was chosen by the group;
- $p$  multiple criteria problems with the same problem data (same alternatives, criteria and evaluations), with different “decision maker”-specific data are considered;
- The  $p$  multiple criteria problems are each solved using the multiple criteria method involved until a certain point;
- At that aggregation point, intermediate results of the  $p$  multiple criteria problems are aggregated and from there on the multiple criteria method continues as if it is solving a single multiple criteria problem and results in  $I$  ranking of the alternatives;
- This group decision is then presented to the decision makers for final acceptance or discussion.

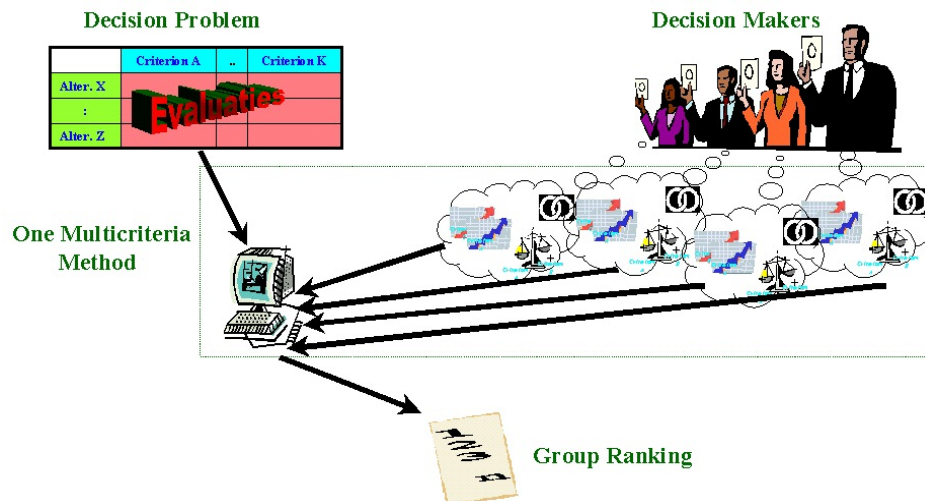


Figure 13: Second type of GDS approaches

### Third type of GDS's.

In the third type of GDS's, a group of decision makers are proceeding as in the second type of GDS's, but the results (the individual rankings plus some information coming from the used multiple criteria method) are used as input to a second decision problem with only one decision maker (Supra decision maker) who a.o. values the opinions of the decision makers. This third approach of GDS's, where  $p$  decision makers are involved and where the problem at hand is well outlined, can be summarised as follows:

- All aspects of the decision problem (alternatives, criteria, evaluations) are determined in group;
- The multiple criteria method that will be used as engine is chosen by the group of decision makers;
- For each decision maker “decision maker”-specific data such as preferences, importance’s of criteria, ... are determined according to the multiple criteria method that was chosen by the group;

- $p$  multiple criteria problems with the same problem data (same alternatives, criteria and evaluations), with different “decision maker”-specific data are considered;
- The  $p$  multiple criteria problems are each solved using the multiple criteria method involved. This results in  $p$  rankings, where each ranking has a preferential structure, i.e. an end result from the used multiple criteria method;
- The  $p$  rankings with their preferential structures are considered as a decision problem. The “decision maker”-specific data is obtained from a “Supra Decision maker”;
- This multiple criteria problem is solved (usually with the same multiple criteria method as the one of the previous stage) and results in  $1$  ranking of the alternatives;
- This group decision is then presented to the Supra Decision maker and to the decision makers.

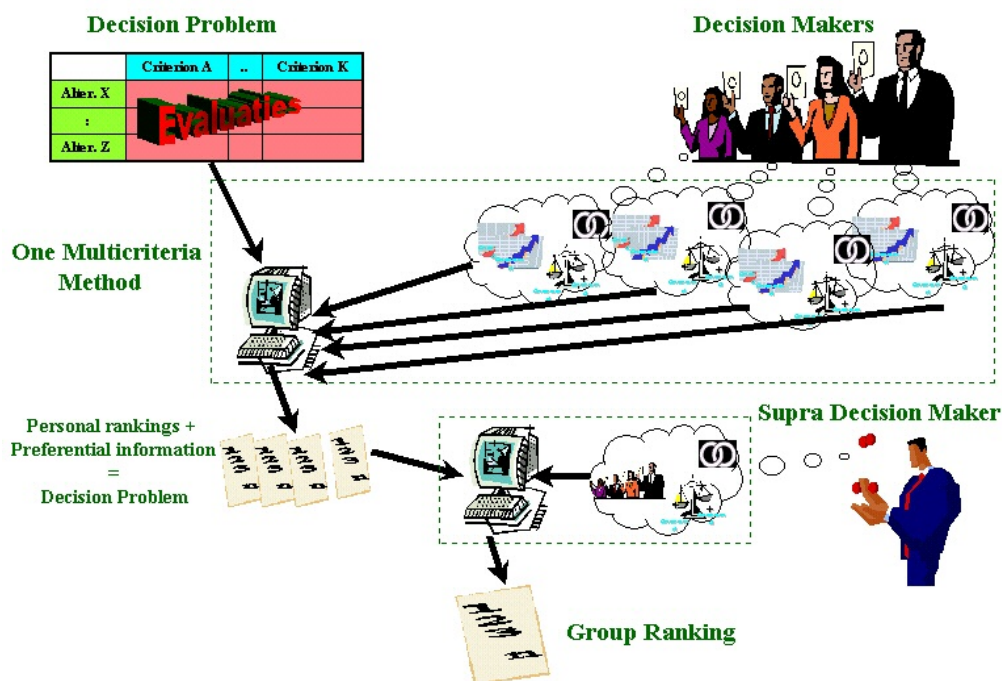


Figure 14: The third GDS approach

#### Fourth type of GDS's

In the approach to the fourth type of GDS's the decision makers should only agree upon the alternatives and their location in the complete list, which should be completely independent ranking. The problem of ending with a group decision can then be formulated as: “Consider  $p$  different rankings of  $n$  alternatives – one ranking for each member of the group – find the ranking that fits best these different rankings.”

This fourth type of GDS approach, where  $p$  decision makers are involved and where the problem at hand is well outlined, can be summarised as follows:

- A part of the decision problem (alternatives) is determined in group;
- A part of the decision problem (criteria, evaluations) can be determined in group or by each decision maker individually;
- Each decision maker chooses the multiple criteria method he wants to use;

- For each decision maker “decision maker”-specific data such as preferences, importance’s of criteria, ... are determined according to the multiple criteria method he has chosen;
- $p$  multiple criteria problems with not necessarily the same problem data (same alternatives, but criteria and/or evaluations can be different), with different “decision maker”-specific data are considered;
- The  $p$  multiple criteria problems are solved using the different multiple criteria methods involved and results in  $p$  rankings of the alternatives;
- Determination of the consensus ranking that fits best these  $p$  different rankings;
- This group decision is then presented to the decision makers for final acceptance or discussion.

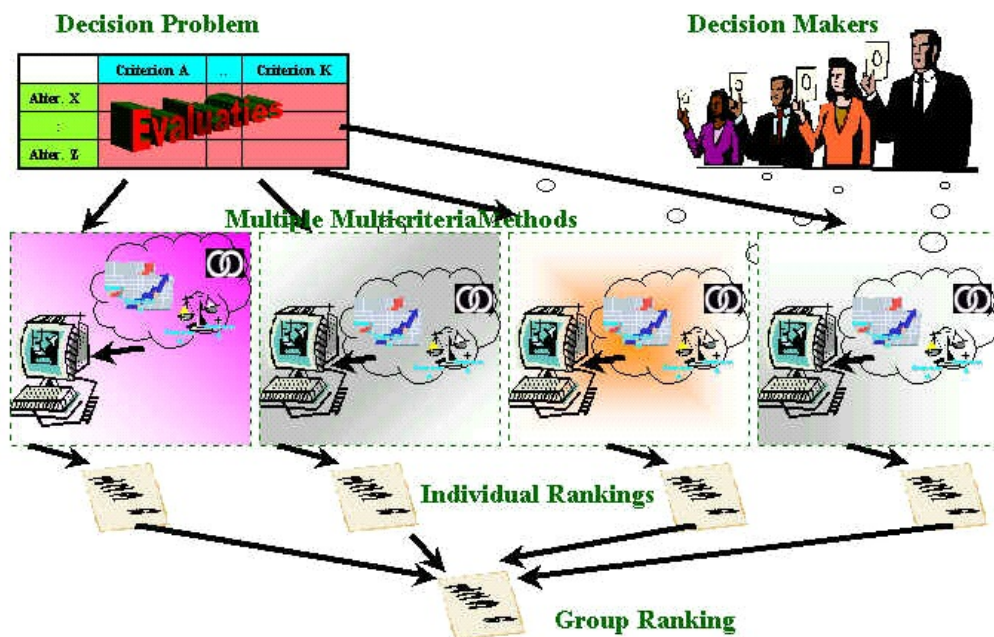





















Figure 15: The fourth type of GDS approach


*Overview table*

Table 19 gives an overview of the different aspects required for the different types of GDS approaches:



Table 19: GDS aspects

	GDS approach type 1	GDS approach type 2	GDS approach type 3	GDS approach type 4
Alternatives				
Criteria				
Evaluations				
Multiple criteria method				
“Common” MCDM parameters				
Common “decision maker”-specific data				
Same time and place				
Supra Decision maker				

Note :  indicates that the presence of this aspect depends on the multiple criteria method that is used as engine.

## Multiple group decision problem

### Problem definition

Consider a group decision problem where amongst the decision makers there are experts who can give their opinion on criteria (and evaluations on criteria), but only on criteria belonging to their field of expertise. E.g. a sociologist can give his expert opinion on criteria related to sociology, but cannot really give an expert opinion on economical criteria.

So the group decision problem can be seen as a *multiple group decision problem*: there are several subgroups of decision makers, in each subgroup one can find the experts on a certain aspect of the considered multiple criteria problem. The criteria of the multiple criteria problem can then be grouped in sub-domains/aspects, where of course the sub-domains/aspects correspond with the subgroups of the decision makers.

A similar situation occurs when there are so many criteria involved in the considered multiple criteria problem, that it is not feasible to ask the decision makers to give their “decision maker”-specific data for all criteria (and evaluations on all criteria). A grouping of the criteria in sub-domains/aspects and a grouping of the decision makers into subgroups, with homogeneous knowledge and or expertise, can result in a more manageable approach.

The multiple criteria problem is split into  $k$  parts. The decision problem part  $i$  consists of the alternatives, a subset of the criteria (corresponding to one sub-domain/aspect) and the evaluations of the alternatives on these criteria. The group of decision makers is split into  $k$  subgroups. The subgroup  $i$  of decision makers consists of the experts on the sub-domain/aspect which criteria are put into the decision problem part  $i$ .

A type of GDS, e.g. the second type, can then be applied to the  $k$  group decision problems as show in Figure 16.

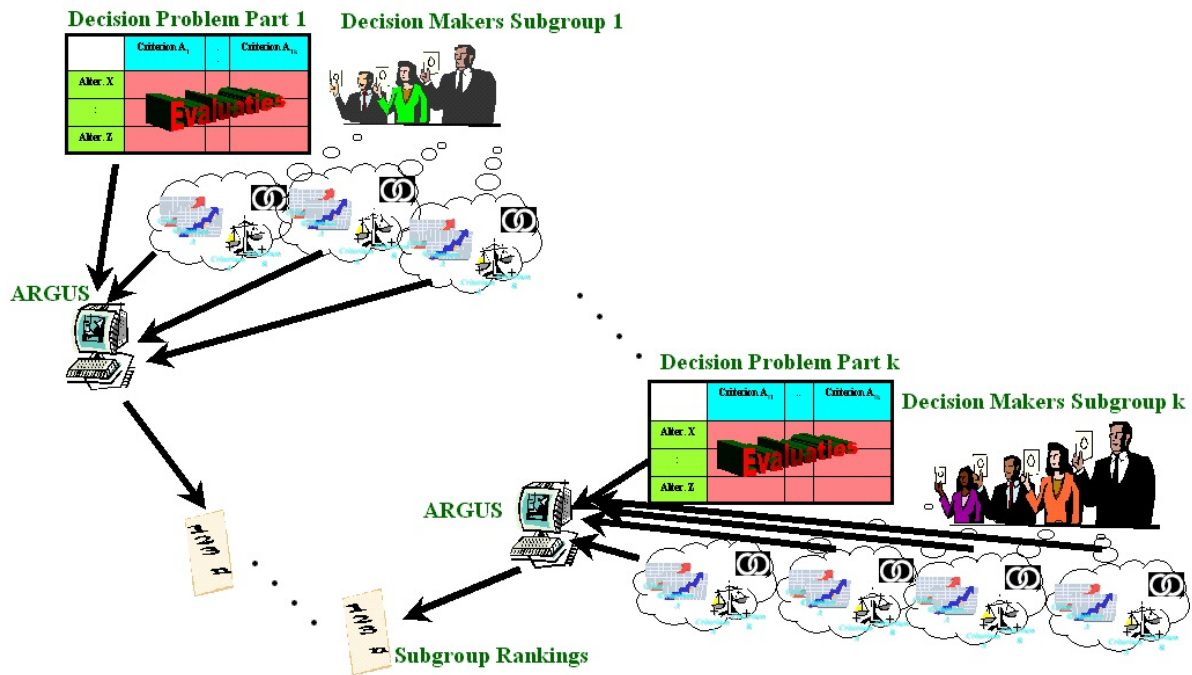


Figure 16: multiple group decision problem using second type of GDS with ARGUS as engine

Note that for each of the  $k$  group decision problems it must be decided which type of GDS and which multiple criteria method will be used as engine. There is no obligation that the same multiple criteria method or the same type of GDS must be used for all the  $k$  group decision problems.

It must also be noted that the number of decision makers in each of the  $k$  subgroups will and must not be the same since the aim is to group decision makers with the same or similar expertise together.

### How to handle a multiple group decision problem

Each of the  $k$  group decision problems will result in a ranking of the (same) alternatives (=  $k$  subgroup rankings). The final result (= group ranking) of a multiple group decision problem is of course one final ranking of the alternatives. To obtain that result, the same approach as the one of the fourth type of GDS can be applied on the  $k$  rankings as shown in Figure 17.



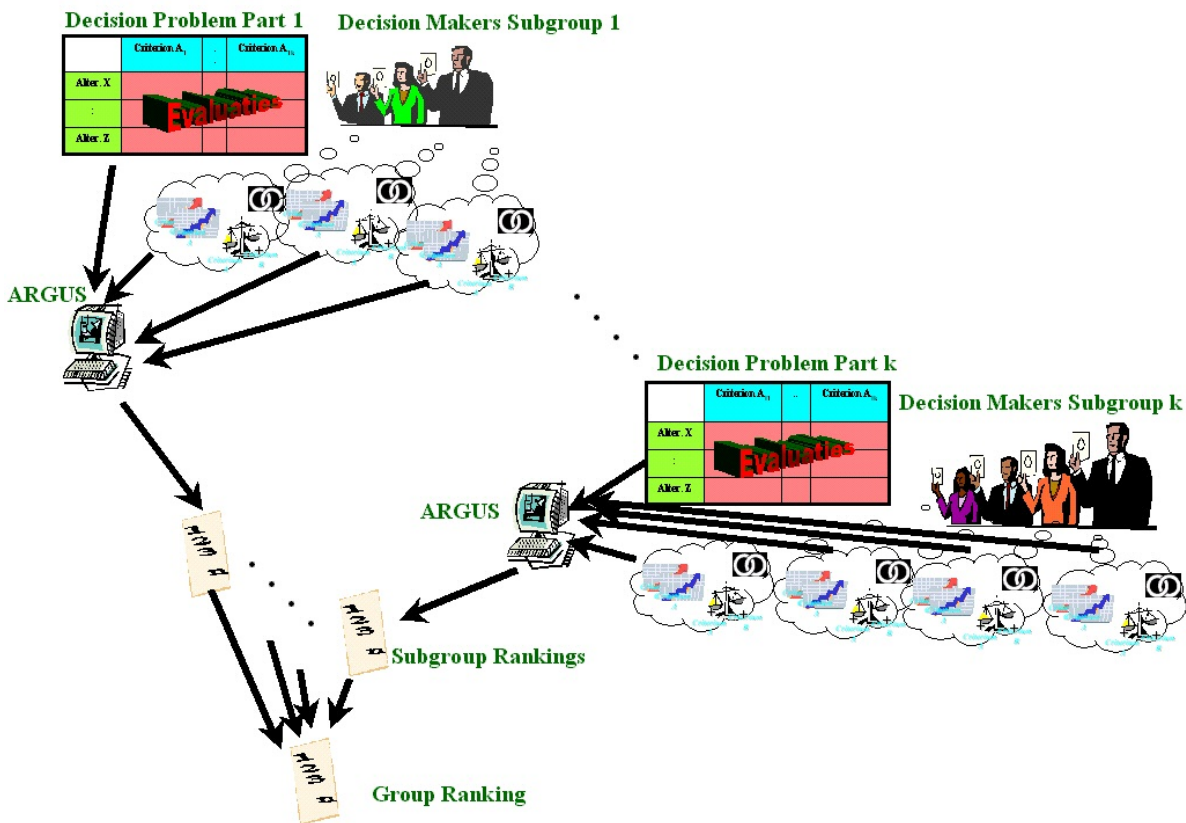


Figure 17: : multiple group decision problem using fourth type of GDS

### Inequality in the importance of the sub-domains/aspects

It is possible that the  $k$  sub-domains/aspects are not considered as equally important and that these sub-domains/aspects cannot contribute in the same way when determining the group ranking.

The fourth type of GDS approach requires a group of rankings and finds as group ranking the ranking that maximises the average (or other percentile) rank correlations coefficients between the group of rankings and this ranking.

If one wants to give more “weight” to one of the  $k$  sub-domains/aspects, one can “add” its ranking more than once to the group of rankings.

Each decision maker (or an other group of decision makers) can give an appreciation to each of the  $k$  sub-domains/aspects, by indicating how many times the ranking of each sub-domain/aspect should be added to the group of rankings (see Table 20).

Table 20

	Aspect 1	...	Aspect $j$	...	Aspect $k$
Decision maker 1	$C_{11}$	...	$C_{1j}$	...	$C_{1k}$
:	:		:		:
Decision maker $i$	$C_{i1}$	...	$C_{ij}$	...	$C_{ik}$
:	:		:		:
Decision maker $p$	$C_{p1}$	...	$C_{pj}$	...	$C_{pk}$

Note that all  $C_{ij}$ 's ( $1 \leq i \leq p$  ;  $1 \leq j \leq k$ ) are positive integer values.

These different opinions of the  $p$  decision makers must be “joined” together to obtain a coefficient  $C_{*j}$  (= a positive integer value) for each of the  $k$  sub-domains/ aspects.

From a data analysis point of view, the values ( $C_{ij}$ 's) given by each decision maker on the  $k$  sub-domains/aspects can be considered as coordinates. In this way the data is nothing more than a cloud of  $p$  points in a  $k$  dimensional space.

If one looks for 1 point to represent this cloud of  $p$  points, the *gravity point* is the best candidate.

Unfortunately the gravity point does not necessarily fulfil the requirements of the searched coefficients (positive integer values). The point with integer coordinates that is “closest” (Euclidian distance, distance of Rawls,...) to the gravity point can be taken. The coordinates of this point fulfil the requirements and can be used as  $C_{*j}$ 's ( $1 \leq j \leq k$ ).

## ANNEX C: RESULTS FROM THE SCREENING

### Importance of the criteria

Figure 18 shows the importance of the seven criteria for every decision maker (b in Figure 4). A striking point here is that none of the criteria were judged “not important”. This shows that relevant criteria were identified for this screening. It is hard to tell which criterion is seen as the most important one by the decision makers. One can deduct that criterion 7 (PM-emissions) is considered a bit more important and criterion 3 (additional cost of the fuel) a bit less. To give a better overview the figure was also translated to a matrix (Table 21).

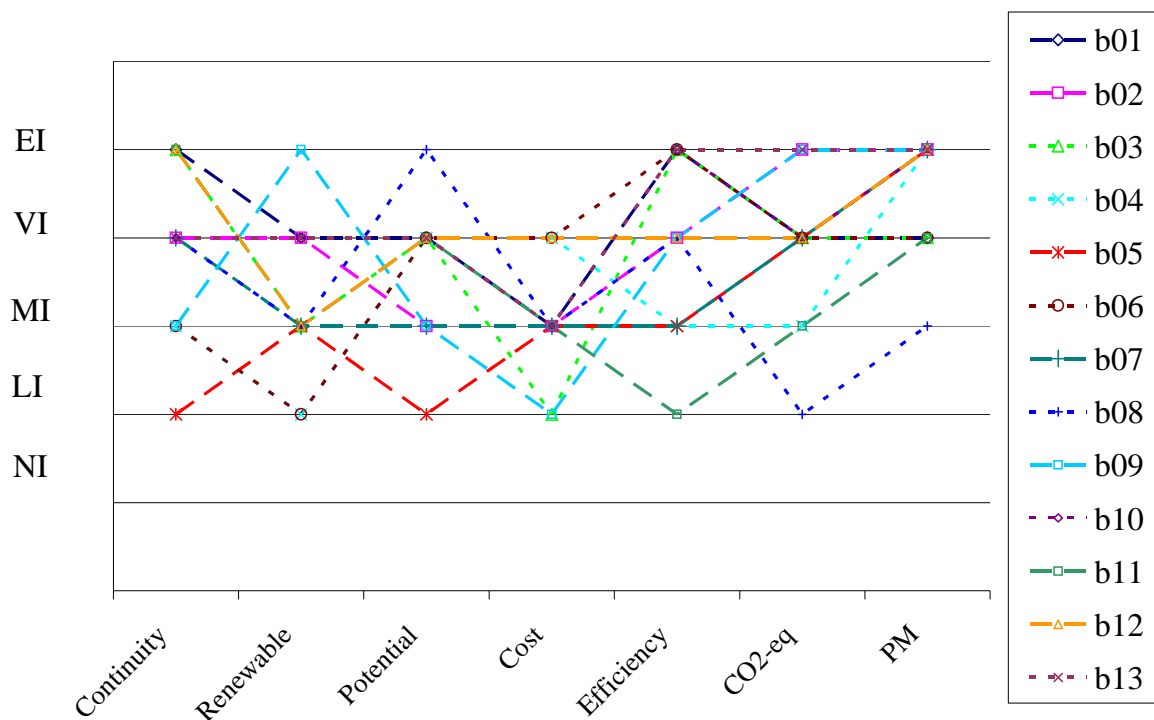


Figure 18: Overview of the importance of the criteria scored by 13 decision makers (NI=not important; LI=little important; MI=moderate important; VI=very important; EI=extremely important)

*Table 21: Overview of the amount of times that a criterion was scored on a certain importance (NI=not important; LI=little important; MI=moderate important; VI=very important; EI=extremely important)*

	NI	LI	MI	VI	EI
Continuity	-	1	3	5	4
Renewable	-	2	6	4	1
Potential	-	1	3	8	1
Cost	-	2	8	3	-
Efficiency	-	1	3	4	5
CO2-eq	-	1	2	7	3
PM	-	-	1	4	8

## **Results**

Table 22 and Table 23 give an overview of the group ranking of the technology options in the base scenario for light duty (LD), respectively heavy duty (HD). In this stage of the project there was not yet a distinction made between trucks and buses in the category HD.

Table 22: Overview of the group rankings of all the ARGUS-scenarios for passenger transport (light duty; TO's with a small potential are eliminated)

Rank	Basescenario	influence of "dependence of non-renewable resources"	costs	influence of costs	only the three best criteria	the future	the European Vision
1	H2 biomass fuel cell	H2 biomass fuel cell	H2 biomass fuel cell	H2 biomass fuel cell H2 biomass hybrid	H2 biomass fuel cell	H2 biomass fuel cell	H2 biomass fuel cell
2	H2 biomass hybrid	H2 (CNG) fuel cell H2 biomass hybrid Batteries electricity net	H2 biomass hybrid	H2 biomass Otto	H2 (CNG) fuel cell H2 biomass hybrid	H2 biomass hybrid Batteries electricity net	H2 biomass hybrid Batteries electricity net
3	Biogas Otto	Gasoline hybrid IDI Gasoline hybrid DI	Biogas Otto	Biogas Otto	H2 (CNG) hybrid	H2 biomass Otto	Biogas Otto
4	H2 biomass Otto Batteries electricity net	Gasoline Otto IDI LPG Otto IDI Biogas Otto	H2 biomass Otto	BioDiesel engine	Gasoline fuel cell Biogas Otto	5%bioDiesel engine 5%biodiesel hybrid BioDiesel engine CNG hybrid Biogas Otto H2 (CNG) hybrid H2 (CNG) fuel cell	BioDiesel engine H2 (CNG) fuel cell H2 biomass Otto
5	H2 (CNG) fuel cell	CNG hybrid LPG hybrid H2 biomass Otto	H2 (CNG) fuel cell Batteries electricity net	Bioethanol ICE	H2 biomass Otto Gasoline hybrid DI	Diesel engine Diesel hybrid Gasoline hybrid IDI Gasoline fuel cell Gasoline otto DI Gasoline hybrid DI	CNG hybrid H2 (CNG) hybrid
6	BioDiesel engine CNG hybrid H2 (CNG) hybrid Bioethanol ICE	Gasoline fuel cell LPG hybrid CNG ICE Gasoline otto DI	BioDiesel engine H2 (CNG) hybrid	H2 (CNG) fuel cell H2 (el net) hybrid	CNG hybrid	Synth Diesel hybrid LPG hybrid CNG ICE H2 (el net) hybrid H2 (el net) fuel cell Bioethanol ICE Methanol hybrid Methanol fuel cell	Diesel hybrid 5%biodiesel hybrid
7	5%biodiesel hybrid Gasoline hybrid IDI Gasoline fuel cell LPG hybrid H2 (el net) hybrid Gasoline hybrid DI	Bioethanol ICE	CNG hybrid Bioethanol ICE	Batteries electricity net	LPG hybrid H2 (CNG) otto IDI Bioethanol ICE	Gasoline Otto IDI H2 (el net) Otto	Diesel engine 5%bioDiesel engine Gasoline hybrid IDI Gasoline fuel cell LPG hybrid Gasoline otto DI Gasoline hybrid DI
8	CNG ICE H2 (el net) fuel cell Gasoline otto DI	BioDiesel engine H2 (CNG) otto IDI Methanol hybrid	Gasoline fuel cell H2 (el net) hybrid H2 (el net) fuel cell	H2 (CNG) hybrid H2 (el net) fuel cell	Gasoline hybrid IDI Batteries electricity net	LPG Otto IDI H2 (CNG) otto IDI Synth gasoline hybrid Synth Gasoline fuel cell	Synth Diesel hybrid CNG ICE Bioethanol ICE Methanol hybrid Methanol fuel cell
9	H2 (CNG) otto IDI	Diesel hybrid 5%biodiesel hybrid H2 (el net) hybrid	5%biodiesel hybrid Gasoline hybrid IDI LPG hybrid H2 (CNG) otto IDI H2 (el net) Otto Gasoline hybrid DI	CNG hybrid H2 (el net) Otto	CNG ICE H2 (el net) hybrid H2 (el net) fuel cell Gasoline otto DI	Synth Diesel engine Methanol Otto Synth gasoline Otto	LPG Otto IDI H2 (CNG) otto IDI Synth gasoline hybrid Synth Gasoline fuel cell
10	Diesel hybrid Gasoline Otto IDI LPG Otto IDI H2 (el net) Otto Methanol hybrid	H2 (el net) fuel cell Methanol fuel cell	CNG ICE Gasoline otto DI	5%biodiesel hybrid CNG ICE H2 (CNG) otto IDI	LPG Otto IDI H2 (el net) Otto Methanol hybrid		Synth Diesel engine H2 (el net) hybrid H2 (el net) fuel cell
11	5%bioDiesel engine Synth Diesel hybrid	Diesel engine 5%bioDiesel engine Synth Diesel hybrid	Diesel hybrid Gasoline Otto IDI LPG Otto IDI Methanol hybrid	5%bioDiesel engine Gasoline hybrid IDI Gasoline fuel cell LPG hybrid Gasoline hybrid DI	Diesel hybrid 5%biodiesel hybrid Gasoline Otto IDI Methanol fuel cell		Gasoline Otto IDI H2 (el net) Otto
12	Diesel engine Methanol fuel cell	H2 (el net) Otto Synth gasoline hybrid Synth Gasoline fuel cell	5%bioDiesel engine Synth Diesel hybrid Methanol fuel cell	Gasoline Otto IDI LPG Otto IDI Gasoline otto DI	BioDiesel engine Synth Diesel hybrid		Methanol Otto Synth gasoline Otto
13	Synth gasoline hybrid Synth Gasoline fuel cell	Synth Diesel engine	Synth Gasoline fuel cell	Methanol hybrid	Synth Gasoline fuel cell		
14	Synth Diesel engine	Methanol Otto Synth gasoline Otto	Diesel engine Synth Diesel engine Synth gasoline hybrid	Synth Diesel hybrid	Methanol Otto Synth gasoline Otto Synth gasoline hybrid		
15	Methanol Otto Synth gasoline Otto		Methanol Otto Synth gasoline Otto	Diesel hybrid Methanol Otto Methanol fuel cell Synth gasoline Otto	Diesel engine 5%bioDiesel engine Synth Diesel engine		
16				Synth Diesel engine Synth Gasoline fuel cell			
17				Synth gasoline hybrid			
18				Diesel engine			

Table 23: Overview of the group rankings of all the ARGUS-scenarios for freight transport (heavy duty; TO's with a small potential are eliminated)

Rank	Basescenario	influence of "dependence of nonrenewable resources"	costs	influence of costs	only the three best criteria	the future	the European Vision
1	H2 biomass fuel cell	H2 biomass fuel cell	H2 biomass fuel cell	H2 biomass fuel cell	H2 biomass fuel cell	H2 biomass fuel cell	H2 biomass fuel cell
2	H2 biomass hybrid H2 biomass Otto	H2 biomass hybrid H2 biomass Otto	H2 biomass Otto H2 biomass hybrid	H2 biomass hybrid H2 biomass Otto	H2 biomass Otto H2 biomass hybrid	bio diesel diesel engine Biogas Otto H2 biomass Otto H2 biomass hybrid	Biogas Otto
3	Biogas Otto H2 (CNG) fuel cell Batteries electricity net	Biogas Otto H2 (CNG) fuel cell Batteries electricity net	H2 (CNG) fuel cell	Batteries electricity net	CNG fuel cell H2 (CNG) fuel cell Methanol fuel cell	5%bio diesel diesel engine 5%biodiesel hybrid CNG Otto CNG hybrid CNG fuel cell H2 (CNG) fuel cell Ethanol diesel engine Methanol fuel cell Batteries electricity net	bio diesel diesel engine H2 biomass hybrid H2 biomass Otto
4	Methanol fuel cell CNG fuel cell	bio diesel diesel engine CNG fuel cell Methanol fuel cell	Biogas Otto Batteries electricity net	Biogas Otto	gasoline fuel cell Batteries electricity net	diesel diesel engine diesel hybrid gasoline fuel cell H2 (el net) fuel cell gasoline Otto	H2 (CNG) fuel cell
5	bio diesel diesel engine gasoline fuel cell CNG hybrid	gasoline fuel cell CNG hybrid	CNG fuel cell Methanol fuel cell	H2 (CNG) fuel cell H2 (el net) fuel cell	DME fuel cell H2(CNG) Otto H2 CNG hybrid	DME diesel engine DME hybrid DME fuel cell Synth diesel diesel engine Synth diesel hybrid LPG Otto LPG hybrid H2(CNG) Otto H2 CNG hybrid H2 (el net) Otto H2 (el net) hybrid Synth gasoline fuel cell	CNG Otto CNG hybrid CNG fuel cell Methanol fuel cell Batteries electricity net
6	H2(CNG) Otto Ethanol diesel engine CNG Otto	H2(CNG) Otto CNG Otto	gasoline fuel cell bio diesel diesel engine	bio diesel diesel engine H2(CNG) Otto H2 (el net) Otto H2 (el net) hybrid	CNG hybrid Biogas Otto		diesel diesel engine diesel hybrid 5%bio diesel diesel engine 5%biodiesel hybrid gasoline fuel cell Ethanol diesel engine
7	5%bio diesel diesel engine H2 CNG hybrid H2 (el net) fuel cell gasoline Otto	LPG hybrid H2 CNG hybrid gasoline Otto	DME fuel cell CNG hybrid H2(CNG) Otto H2 CNG hybrid H2 (el net) fuel cell Ethanol diesel engine	CNG fuel cell Ethanol diesel engine Methanol fuel cell	H2 (el net) fuel cell		LPG Otto LPG hybrid H2 (el net) fuel cell gasoline Otto
8	5%biodiesel hybrid DME fuel cell H2 (el net) Otto H2 (el net) hybrid	diesel hybrid 5%biodiesel hybrid DME fuel cell H2 (el net) fuel cell Ethanol diesel engine	CNG Otto H2 (el net) Otto H2 (el net) hybrid	5%bio diesel diesel engine gasoline fuel cell CNG hybrid	bio diesel diesel engine H2 (el net) Otto H2 (el net) hybrid		DME diesel engine DME hybrid DME fuel cell Synth diesel diesel engine Synth diesel hybrid H2(CNG) Otto H2 CNG hybrid Synth gasoline fuel cell
9	diesel diesel engine LPG hybrid	diesel diesel engine 5%bio diesel diesel engine LPG Otto H2 (el net) Otto H2 (el net) hybrid	5%biodiesel hybrid LPG hybrid Synth gasoline fuel cell	CNG Otto H2 CNG hybrid	LPG hybrid Synth gasoline fuel cell		H2 (el net) Otto H2 (el net) hybrid
10	LPG Otto	Synth gasoline fuel cell	5%bio diesel diesel engine LPG Otto gasoline Otto	5%biodiesel hybrid gasoline fuel cell	CNG Otto		DME fuel cell
11	diesel hybrid Synth gasoline fuel cell	DME hybrid	diesel hybrid DME hybrid	diesel diesel engine LPG hybrid Synth gasoline fuel cell	LPG Otto gasoline Otto		
12	DME hybrid	DME diesel engine	diesel diesel engine DME diesel engine	LPG Otto gasoline Otto	DME hybrid		
13	DME diesel engine	Synth diesel hybrid	Synth diesel hybrid	DME hybrid	DME diesel engine		
14	Synth diesel hybrid	Synth diesel diesel engine	Synth diesel diesel engine	DME diesel engine	diesel hybrid 5%biodiesel hybrid Synth diesel hybrid Ethanol diesel engine		
15	Synth diesel diesel engine			diesel hybrid Synth diesel hybrid	diesel diesel engine 5%bio diesel diesel engine Synth diesel diesel engine		
16				Synth diesel diesel engine			

### Fuel technologies for light duty

Table 22 illustrates that technologies, in combination with a fuel, at the top of the list can only satisfy the present mobility demand to a small extent. These technologies occupy only some niche markets. The rest of the study will therefore be focussed on technologies of which the application in daily life is relevant. The cases where the potential of the combination technology/fuel is small, will be excluded from further study. The only

exception on this is bio diesel, because it can be added to fossil diesel (see also directive 2003/30/EG on bio fuels).

Elimination of these combinations leads to the top three ranking of the following technologies:

- Rank 1: H<sub>2</sub> from biomass with fuel cell
- Rank 2: H<sub>2</sub> from biomass in hybrid car
- Rank 3: Electric car (electricity from the net);  
H<sub>2</sub> from biomass and Otto motor

Again these 4 options can not satisfy the present mobility demand. For vehicles on hydrogen this is mainly because of the moderate availability of hydrogen from biomass. For electric cars, that run on batteries, it is mainly due to the fact that the range is smaller than for gasoline or diesel cars. As a consequence other options should be included as well.

Table 22 shows us that the use of methanol, synthetic gasoline or synthetic diesel (produced from natural gas) is not a suitable option taken into account the sustainability principle. As a consequence these fuels are deleted from the further study. A remark here can be made that these fuels can also be produced out of biomass, which will probably lead to a greater sustainability. In the screening phase, though, the most economic (and most likely) production methods were considered for these fuels. Only for the production of H<sub>2</sub>, multiple production methods were considered.

Options that were taken into account, are hydrogen from natural gas in fuel cell vehicles and several forms of hybrid vehicles. Hybrid vehicles, highest in ranking, have natural gas and H<sub>2</sub> from natural gas as fuel.

Some technology/fuel combinations are used this very day on the roads and will be included in the sequel to the study. These technologies are:

- Hybrid vehicles on gasoline with indirect fuel injection;
- Natural gas vehicles with an ICE engine;
- Gasoline vehicles with direct fuel injection;
- 5% bio diesel with diesel engine;
- Bio diesel with diesel engine.

Notwithstanding the bad ranking of conventional technologies like diesel, gasoline and LPG-cars, these technologies will be filling in a large part of the mobility demand in the next 20 to 30 years. These vehicles will have to be taken into account as well in the sequel of the study. What's more their consumption- and emission figures will decrease significantly in the period 2000 – 2020.

### *Fuel technologies for heavy duty*

By analogy with light duty vehicles, analysis of Table 23 tells us that some highly ranked technology/fuel combinations are not able to satisfy the mobility demand. These technologies are reserved for niche markets and will not be looked upon again in the study. The only exception here is bio diesel, because it can be added to fossil diesel.

Eliminating these combinations leads to the following highest ranks:

- Rank 1: H<sub>2</sub> from biomass in a fuel cell
- Rank 2: H<sub>2</sub> from biomass – Otto motor  
H<sub>2</sub> from biomass – hybrid
- Rank 3: H<sub>2</sub> from natural gas – fuel cell  
Electric vehicle with battery (electricity from the net)

Notwithstanding that the potential of the above mentioned technologies is high to fulfil the present demand of mobility, other technology options are considered as well. There are two reasons for this: on the one hand an electric vehicle has a smaller range and trunk and on the other hand hydrogen fuelled vehicles will not be able to penetrate fully on the mid long term (2020). Reasons are the fleet turnover period (25 years) en the availability of tank facilities for hydrogen.

Table 23 shows that the use of synthetic diesel from natural gas, inclusive DME en LPG, are no suitable options taking into account the sustainability principle. Therefore these fuels were eliminated from the sequel of the study. An exception is made for LPG with Otto motor because this technology already exists today.

Options that can be taken into account are fuel cell vehicles on methanol and natural gas.

Some technology/fuel combinations are today available on the market en were taken into account in the further study:

- Bio diesel – diesel engine
- Natural gas – Otto motor
- Gasoline – Otto motor
- LPG – Otto motor

Notwithstanding the low ranking of conventional diesel trucks, these will be taken into account in the study since they will satisfy by a large extent the mobility demand in the next 20 to 30 years. Furthermore one needs to know that emission figures of these vehicles will decrease significantly in the period 2000-2020.



## ANNEX D: GROUPRANKING OF THE TECHNOLOGIES ACCORDING TO THE FOUR MAIN ASPECTS

### Bussen

2000	ECONOMY	SOCIETY	ENVIRONMENT	TECHNOLOGY
Rank 1	HD bus diesel	HD bus 5%biodiesel	HD bus electric	HD bus diesel HD bus 5%biodiesel
Rank 2	HD bus 5%biodiesel HD bus CNG	HD bus diesel	HD bus CNG	HD bus biodiesel HD bus electric
Rank 3	HD bus biodiesel	HD bus biodiesel	HD bus biodiesel	HD bus CNG
Rank 4	HD bus electric	HD bus CNG	HD bus 5%biodiesel	
Rank 5		HD bus electric	HD bus diesel	

2010	ECONOMY	SOCIETY	ENVIRONMENT	TECHNOLOGY
Rank 1	HD bus diesel HD bus hybrid diesel	HD bus 5%biodiesel	HD bus cell hydrogen HD bus electric	HD bus diesel HD bus 5%biodiesel HD bus hybrid diesel
Rank 2	HD bus 5%biodiesel HD bus CNG	HD bus diesel	HD bus CNG	HD bus biodiesel HD bus electric
Rank 3	HD bus biodiesel HD bus electric	HD bus biodiesel	HD bus hybrid diesel	HD bus CNG HD bus fuel cell hydrogen
Rank 4	HD bus fuel cell hydrogen	HD bus CNG	HD bus 5%biodiesel HD bus biodiesel	
Rank 5		HD bus hybrid diesel HD bus electric	HD bus diesel	
Rank 6		HD bus fuel cell hydrogen		

2020	ECONOMY	SOCIETY	ENVIRONMENT	TECHNOLOGY
Rank 1	HD bus electric	HD bus 5%biodiesel	HD bus fuel cell hydrogen HD bus electric	HD bus diesel HD bus 5%biodiesel HD bus hybrid diesel
Rank 2	HD bus hybrid diesel	HD bus diesel	HD bus CNG	HD bus biodiesel HD bus electric
Rank 3	HD bus diesel HD bus 5%biodiesel HD bus CNG HD bus fuel cell hydrogen	HD bus biodiesel	HD bus hybrid diesel	HD bus CNG HD bus fuel cell hydrogen
Rank 4	HD bus biodiesel	HD bus CNG	HD bus 5%biodiesel HD bus biodiesel	
Rank 5		HD bus hybrid diesel HD bus electric	HD bus diesel	

Rank 6		HD bus fuel cell hydrogen		
--------	--	------------------------------	--	--

### **Freight transport**

2000	ECONOMY	SOCIETY	ENVIRONMENT	TECHNOLOGY
Rank 1	HD freight diesel HD freight 5%biodiesel	HD freight 5%biodiesel	HD freight biodiesel	HD freight diesel HD freight biodiesel
Rank 2	HD freight biodiesel	HD freight diesel	HD freight 5%biodiesel	HD freight 5%biodiesel
Rank 3		HD freight biodiesel	HD freight diesel	

2010	ECONOMY	SOCIETY	ENVIRONMENT	TECHNOLOGY
Rank 1	HD freight synth diesel	HD freight 5%biodiesel	HD freight synth diesel	HD freight diesel HD freight 5%biodiesel HD freight biodiesel
Rank 2	HD freight diesel	HD freight diesel	HD freight 5%biodiesel HD freight biodiesel	HD freight synth diesel
Rank 3	HD freight 5%biodiesel	HD freight biodiesel HD freight synth diesel	HD freight diesel	
Rank 4	HD freight biodiesel			

2020	ECONOMY	SOCIETY	ENVIRONMENT	TECHNOLOGY
Rank 1	HD freight synth diesel	HD freight 5%biodiesel	HD freight synth diesel	HD freight diesel HD freight 5%biodiesel HD freight biodiesel
Rank 2	HD freight diesel HD freight 5%biodiesel	HD freight diesel	HD freight biodiesel	HD freight synth diesel
Rank 3	HD freight biodiesel	HD freight biodiesel HD freight synth diesel	HD freight 5%biodiesel	
Rank 4			HD freight diesel	

## Passenger cars

2000	ECONOMY	SOCIETY	ENVIRONMENT	TECHNOLOGY
Rank 1	LD LPG	LD 5%biodiesel	LD electric	LD diesel LD 5%biodiesel LD biodiesel LD hybrid gasoline LD electric
Rank 2	LD diesel	LD diesel	LD CNG	LD IDI gasoline LD DI gasoline
Rank 3	LD 5%biodiesel	LD IDI gasoline	LD LPG	LD LPG LD CNG
Rank 4	LD biodiesel LD CNG	LD DI gasoline	LD hybrid gasoline	
Rank 5	LD IDI gasoline LD hybrid gasoline	LD biodiesel	LD biodiesel	
Rank 6	LD DI gasoline LD electric	LD CNG	LD diesel LD 5%biodiesel	
Rank 7		LD LPG LD electric	LD IDI gasoline	
Rank 8		LD hybrid gasoline	LD DI gasoline	

2010	ECONOMY	SOCIETY	ENVIRONMENT	TECHNOLOGY
Rank 1	LD diesel LD LPG  LD hybrid diesel LD hybrid CNG LD electric	LD 5%biodiesel	LD electric LD fuel cell H2 NG LD fuel cell H2 biomass	LD hybrid diesel LD hybrid gasoline  LD electric
Rank 2	LD biodiesel	LD diesel	LD H2 LD hybrid CNG	LD diesel LD 5%biodiesel LD biodiesel
Rank 3	LD CNG	LD IDI gasoline LD DI gasoline	LD CNG LD hybrid H2	LD DI gasoline LD hybrid CNG LD fuel cell H2 NG
Rank 4	LD 5%biodiesel  LD hybrid gasoline	LD biodiesel	LD hybrid diesel	LD IDI gasoline LD fuel cell H2 biomass
Rank 5	LD DI gasoline	LD CNG	LD biodiesel LD LPG	LD LPG LD CNG LD hybrid H2
Rank 6	LD IDI gasoline	LD LPG LD hybrid diesel LD hybrid gasoline	LD 5%biodiesel LD hybrid gasoline	LD H2
Rank 7	LD hybrid H2 LD fuel cell H2 NG	LD electric	LD diesel	
Rank 8	LD H2 LD fuel cell H2 biomass	LD H2  LD hybrid CNG	LD DI gasoline	
Rank 9		LD hybrid H2	LD IDI gasoline	

Rank 10		LD fuel cell H2 biomass		
Rank 11		LD fuel cell H2 NG		

2020	ECONOMY	SOCIETY	ENVIRONMENT	TECHNOLOGY
Rank 1	LD electric	LD 5%biodiesel	LD fuel cell H2 NG LD fuel cell H2 biomass	LD diesel  LD 5%biodiesel LD hybrid diesel
Rank 2	LD hybrid CNG	LD diesel	LD electric	LD DI gasoline LD hybrid gasoline LD electric
Rank 3	LD biodiesel LD hybrid diesel LD fuel cell H2 NG	LD IDI gasoline LD DI gasoline	LD H2 LD hybrid H2	LD biodiesel LD IDI gasoline
Rank 4	LD diesel LD 5%biodiesel LD LPG	LD biodiesel	LD hybrid CNG	LD LPG LD CNG LD hybrid CNG
Rank 5	LD CNG	LD CNG	LD CNG	LD H2 LD fuel cell H2 NG
Rank 6	LD hybrid gasoline	LD LPG LD electric	LD hybrid diesel	LD fuel cell H2 biomass
Rank 7	LD DI gasoline LD hybrid H2	LD hybrid diesel LD hybrid gasoline	LD 5%biodiesel LD hybrid gasoline	LD hybrid H2
Rank 8	LD IDI gasoline LD fuel cell H2 biomass	LD H2	LD biodiesel  LD LPG	
Rank 9	LD H2	LD hybrid CNG	LD diesel	
Rank 10		LD fuel cell H2 biomass	LD DI gasoline	
Rank 11		LD hybrid H2 LD fuel cell H2 NG	LD IDI gasoline	

## ANNEX E: RESULTS OF THE SENSITIVITY ANALYSIS

### Passenger cars

Table 24 shows the rankings of the technology/fuel combinations according to the four scenarios. It learns us that no matter which scenario is looked at, in 2000 and 2010 conventional technologies driven by LPG and diesel (with addition of 5% bio diesel) are the most sustainable technologies compared to others.

On the short term bio diesel is a good alternative as well in combination with a traditional engine as used in a hybrid car. It is only in 2020 that technologies using H<sub>2</sub> will become more sustainable in relation to others. This will be probably due to the way of producing the fuel here hydrogen and the commercialisation of the technology.

The electrical vehicle is especially in 2020 a more sustainable alternative to conventional technologies.

*Table 24: Rankings of the technologies according the defined scenarios for light duty*

2000				
	scenario 1	scenario 2	scenario 3	scenario 4
<b>Rank 1</b>	LD 5%biodiesel	LD LPG	LD diesel	LD diesel
<b>Rank 2</b>	LD diesel	LD CNG	LD 5%biodiesel	LD 5%biodiesel
<b>Rank 3</b>	LD bio diesel	LD diesel	LD bio diesel	LD bio diesel
<b>Rank 4</b>	LD IDI gasoline	LD hybrid gasoline	LD LPG	LD LPG
<b>Rank 5</b>	LD LPG	LD bio diesel	LD IDI gasoline	LD IDI gasoline
<b>Rank 6</b>	LD hybrid gasoline	LD EV	LD DI gasoline	LD DI gasoline
<b>Rank 7</b>	LD EV	LD 5%biodiesel	LD CNG	LD CNG
<b>Rank 8</b>	LD DI gasoline	LD IDI gasoline	LD hybrid gasoline	LD hybrid gasoline
<b>Rank 9</b>	LD CNG	LD DI gasoline	LD EV	LD EV
<b>Quality</b>	0,456	0,535	0,592	0,592
2010				
	scenario 1	scenario 2	scenario 3	scenario 4
<b>Rank 1</b>	LD hybrid diesel	LD diesel	LD diesel	LD diesel
<b>Rank 2</b>	LD 5%biodiesel	LD 5%biodiesel	LD bio diesel	LD bio diesel
<b>Rank 3</b>	LD diesel	LD hybrid diesel	LD 5%biodiesel	LD 5%biodiesel
<b>Rank 4</b>	LD bio diesel	LD bio diesel	LD CNG	LD CNG
<b>Rank 5</b>	LD DI gasoline	LD hybrid gasoline	LD hybrid diesel	LD hybrid diesel
<b>Rank 6</b>	LD LPG	LD EV	LD LPG	LD LPG
<b>Rank 7</b>	LD hybrid gasoline	LD DI gasoline	LD EV	LD EV
<b>Rank 8</b>	LD EV	LD LPG	LD hybrid gasoline	LD hybrid gasoline
<b>Rank 9</b>	LD hybrid CNG	LD hybrid CNG	LD hybrid CNG	LD hybrid CNG
<b>Rank 10</b>	LD IDI gasoline	LD IDI gasoline	LD DI gasoline	LD DI gasoline
<b>Rank 11</b>	LD CNG	LD CNG	LD IDI gasoline	LD IDI gasoline
<b>Rank 12</b>	LD fuel cell H2 NG	LD hybrid H2	LD H2	LD H2
<b>Rank 13</b>	LD hybrid H2	LD fuel cell H2 biomass	LD hybrid H2	LD hybrid H2
<b>Rank 14</b>	LD fuel cell H2 biomass	LD fuel cell H2 NG	LD fuel cell H2 NG	LD fuel cell H2 NG
<b>Rank 15</b>	LD H2	LD H2	LD fuel cell H2 biomass	LD fuel cell H2 biomass
<b>Quality</b>	0,568	0,566	0,610	0,610

2020	scenario 1	scenario 2	scenario 3	scenario 4
<b>Rank 1</b>	LD EV	LD EV	LD EV	LD EV
<b>Rank 2</b>	LD 5%biodiesel	LD fuel cell H2 NG	LD fuel cell H2 NG	LD fuel cell H2 NG
<b>Rank 3</b>	LD bio diesel	LD hybrid CNG	LD hybrid CNG	LD hybrid CNG
<b>Rank 4</b>	LD diesel	LD hybrid diesel	LD hybrid diesel	LD hybrid diesel
<b>Rank 5</b>	LD hybrid diesel	LD 5%biodiesel	LD 5%biodiesel	LD 5%biodiesel
<b>Rank 6</b>	LD DI gasoline	LD CNG	LD CNG	LD CNG
<b>Rank 7</b>	LD LPG	LD bio diesel	LD bio diesel	LD bio diesel
<b>Rank 8</b>	LD hybrid CNG	LD hybrid H2	LD hybrid H2	LD hybrid H2
<b>Rank 9</b>	LD CNG	LD fuel cell H2 biomass	LD fuel cell H2 biomass	LD fuel cell H2 biomass
<b>Rank 10</b>	LD fuel cell H2 NG	LD H2	LD H2	LD H2
<b>Rank 11</b>	LD hybrid gasoline	LD hybrid gasoline	LD hybrid gasoline	LD hybrid gasoline
<b>Rank 12</b>	LD IDI gasoline	LD LPG	LD LPG	LD LPG
<b>Rank 13</b>	LD fuel cell H2 biomass	LD diesel	LD diesel	LD diesel
<b>Rank 14</b>	LD hybrid H2	LD DI gasoline	LD DI gasoline	LD DI gasoline
<b>Rank 15</b>	LD H2	LD IDI gasoline	LD IDI gasoline	LD IDI gasoline
<b>Quality</b>	0,520	0,573	0,573	0,573

## Freight transport

There are no or only very little differences in the scenarios for heavy duty lorries (Table 25 **Error! Reference source not found.**). This is mainly because there are only a small number of alternatives and four aspects to judge the alternatives on.

The same conclusions can thus be drawn as in §4.2.2.

Table 25: Rankings of the technologies according the defined scenarios for heavy duty lorries

2000	scenario 1	scenario 2	scenario 3	scenario 4
<b>Rank 1</b>	HD freight 5%biodiesel	HD freight 5%biodiesel	HD freight 5%biodiesel	HD freight 5%biodiesel
<b>Rank 2</b>	HD freight diesel	HD freight bio diesel	HD freight diesel	HD freight diesel
<b>Rank 3</b>	HD freight bio diesel	HD freight diesel	HD freight bio diesel	HD freight bio diesel
<b>Quality</b>	0,241	0,333	0,816	0,816

2010	scenario 1	scenario 2	scenario 3	scenario 4
<b>Rank 1</b>	HD freight synth diesel	HD freight synth diesel	HD freight synth diesel	HD freight synth diesel
<b>Rank 2</b>	HD freight 5%biodiesel	HD freight 5%biodiesel	HD freight 5%biodiesel	HD freight 5%biodiesel
<b>Rank 3</b>	HD freight diesel	HD freight diesel	HD freight diesel	HD freight diesel
<b>Rank 4</b>	HD freight bio diesel	HD freight bio diesel	HD freight bio diesel	HD freight bio diesel
<b>Quality</b>	0,366	0,548	0,548	0,548

2020				
	scenario 1	scenario 2	scenario 3	scenario 4
<b>Rank 1</b>	HD freight 5%biodiesel	HD freight synth diesel	HD freight 5%biodiesel	HD freight 5%biodiesel
<b>Rank 2</b>	HD freight synth diesel	HD freight 5%biodiesel	HD freight synth diesel	HD freight synth diesel
<b>Rank 3</b>	HD freight diesel	HD freight bio diesel	HD freight diesel	HD freight diesel
<b>Rank 4</b>	HD freight bio diesel	HD freight diesel	HD freight bio diesel	HD freight bio diesel
<b>Quality</b>	0,274	0,548	0,548	0,548

## Buses

Scenarios 3 and 4 are for the years 2010 and 2020 identical to the base scenario and have a very small difference with scenario 1 (see 2020) or none (see 2010). A reason for that can be that the difference in weights is too small to obtain a difference in the rankings. For the year 2000 the rankings of the scenarios 3 and 4 is identical. There are only small differences with the other two scenarios (Table 26).

Conclusions that were thus made in §4.2.3, apply also for the other scenarios.

*Table 26: Rankings of the technologies according the defined scenarios for heavy duty buses*

2000				
	scenario 1	scenario 2	scenario 3	scenario 4
<b>Rank 1</b>	HD bus diesel	HD bus diesel	HD bus 5%biodiesel	HD bus 5%biodiesel
<b>Rank 2</b>	HD bus 5%biodiesel	HD bus 5%biodiesel	HD bus diesel	HD bus diesel
<b>Rank 3</b>	HD bus bio diesel	HD bus bio diesel	HD bus CNG	HD bus CNG
<b>Rank 4</b>	HD bus CNG	HD bus CNG	HD bus bio diesel	HD bus bio diesel
<b>Rank 5</b>	HD bus EV	HD bus EV	HD bus EV	HD bus EV
<b>Quality</b>	0,705	0,671	0,738	0,738

2010				
	scenario 1	scenario 2	scenario 3	scenario 4
<b>Rank 1</b>	HD bus diesel	HD bus diesel	HD bus diesel	HD bus diesel
<b>Rank 2</b>	HD bus 5%biodiesel	HD bus 5%biodiesel	HD bus 5%biodiesel	HD bus 5%biodiesel
<b>Rank 3</b>	HD bus hybrid diesel	HD bus hybrid diesel	HD bus CNG	HD bus CNG
<b>Rank 4</b>	HD bus bio diesel	HD bus bio diesel	HD bus hybrid diesel	HD bus hybrid diesel
<b>Rank 5</b>	HD bus CNG	HD bus CNG	HD bus bio diesel	HD bus bio diesel
<b>Rank 6</b>	HD bus EV	HD bus EV	HD bus EV	HD bus EV
<b>Rank 7</b>	HD bus fuel cell H2	HD bus fuel cell H2	HD bus fuel cell H2	HD bus fuel cell H2
<b>Quality</b>	0,702	0,683	0,683	0,683

2020				
	scenario 1	scenario 2	scenario 3	scenario 4
<b>Rank 1</b>	HD bus EV	HD bus EV	HD bus EV	HD bus EV
<b>Rank 2</b>	HD bus 5%biodiesel	HD bus hybrid diesel	HD bus hybrid diesel	HD bus hybrid diesel
<b>Rank 3</b>	HD bus hybrid diesel	HD bus fuel cell H2	HD bus fuel cell H2	HD bus fuel cell H2
<b>Rank 4</b>	HD bus diesel	HD bus CNG	HD bus CNG	HD bus CNG
<b>Rank 5</b>	HD bus bio diesel	HD bus 5%biodiesel	HD bus 5%biodiesel	HD bus 5%biodiesel
<b>Rank 6</b>	HD bus CNG	HD bus bio diesel	HD bus bio diesel	HD bus bio diesel
<b>Rank 7</b>	HD bus fuel cell H2	HD bus diesel	HD bus diesel	HD bus diesel
<i>Quality</i>	<i>0,400</i>	<i>0,732</i>	<i>0,732</i>	<i>0,732</i>





KATHOLIEKE  
UNIVERSITEIT  
LEUVEN

## **Annex III: The choice for alternative car technologies**

Jasper Knockaert

25 November 2005

**Corresponding Address:** [Jasper.Knockaert@econ.KULeuven.be](mailto:Jasper.Knockaert@econ.KULeuven.be)

**ENERGY, TRANSPORT AND ENVIRONMENT**  
CENTER FOR ECONOMIC STUDIES  
Naamsestraat 69 B-3000 LEUVEN  
BELGIUM



# The choice for alternative car technologies

## 1. INTRODUCTION

The development of alternative car technologies has received much attention from both authorities and car manufacturers in an attempt to reduce emission levels and energy consumption for transport activity. Major research and development efforts result in a broad range of new fuels and new private car technologies which all seem to have potential benefits when compared to the existing diesel and gasoline options.

There is however a difference between the technological and environmental specifications of the individual car and the overall environmental impact of transport activity. Before a new technology can contribute to air quality improvements, people need to actually buy it. Need to want to buy it, need to prefer it over other existing or alternative technologies. It is on this choice a car buyer makes between alternative technologies that we focus in this paper. The aim is the design and estimation of a private car technology choice model.

In a first section we set down the scope of the model we want to design. Next we have a short introduction on discrete choice theory which is the modelling framework we will use. A third section provides an overview of past research on the topic. Two further sections focus on the design and implementation of a survey to collect stated preference data. The fifth section discusses the estimation of a model and the last section concludes the paper.

## 2. SCOPE OF THE MODEL

The choice we want to study concerns the choice between technologies upon purchase of a new private car in Belgium: we want to design a model to forecast the shares of the different vehicle technologies in new vehicle sales. The model will later be used as part of the larger TREMOVE model.

### 2.1.1. *Private car technologies*

The private car technologies we want to include in the model concern both existing, conventional (diesel, gasoline, LPG) and new, alternative technologies (e.g. fuel cell powered, alternative fuel, hybrid powertrain equipped).

The development of the new choice model is part of a broader research project. As a part of this project, a durability scan was conducted covering a broad range of alternative technologies. The most promising technologies have been selected to be considered in the choice model (see table 1). More information on how this selection was implemented can be found in Verbeiren et al. (2003).

*Table 1: technological scope of the model<sup>1</sup>*

Technology
Gasoline IDI ICEV
Diesel DI ICEV
LPG IDI ICEV
CNG HEV
CNG ICEV
Gasoline DI ICEV
Gasoline HEV (with DI)
BEV
Hydrogen FCEV
Hydrogen HEV
Hydrogen ICEV

We assume all technologies to be dedicated, which means that they can use only one fuel. In case we want to include bi-fuel cars on a later stage, an additional fuel choice submodel will have to be designed.

For retrofit LPG<sup>2</sup> or CNG cars, this assumption does not meet today's common specification, which allows the use of gasoline. However, people owning such car are likely to use the alternative fuel most of the time because that fuel is much cheaper in Belgium (otherwise they probably would not have retrofit their car).

For hybrid cars, we found some evidence (Burgwal et al. 2001) that this technology is evolving towards the use of smaller battery units, used as a temporary power storage buffer only and not allowing to recharge the batteries at home or at another place. As such, these cars are not using electricity as an input power source but only the liquid or gaseous fuel that is used by the ICE, so our 'dedicated' assumption is acceptable.

### 2.1.2. *The TREMOVE model*

The TREMOVE model version 1.3 was initially developed for the European Commission (DG ENV) within the framework of the Auto-Oil II programme by consortium DRI-K.U.Leuven. It is a partial equilibrium representation of the transport markets (all modes for both freight and passenger transport activity).

The model was built in order to allow for an integrated assessment of transport policy measures to reduce emissions resulting from transport activity. The model forecasts both effects (e.g. modal shift) and welfare costs of the implementation of different policies.

An in depth discussion of the TREMOVE model (version 1.3) can be found in The European Commission et al. 1999.

## 3. DISCRETE CHOICE

Discrete choice theory provides a broad range of mathematical modelling frameworks. An extended in depth discussion on discrete choice theory can be found in Ben-Akiva et al. (1985), Train (1990), Anderson et al. (1992) and Train (2003).

The introduction on the topic we provide in this section is mainly based on Train (2003) and Heiss (2002).

<sup>1</sup> IDI: indirect injection; ICEV: internal combustion engine vehicle; DI: direct injection; CNG: compressed natural gas; HEV: hybrid electric vehicle; BEV: battery electric vehicle; FCEV: fuel cell electric vehicle

<sup>2</sup> LPG: liquefied petrol gas

### 3.1. Consumer behaviour

The consumer who considers the purchase of a car faces a discrete choice situation. To model the behaviour in such circumstances, discrete choice theory offers several models based on random utility theory.

In these models, the probability that a consumer chooses a given alternative depends on the utility of the alternative as well as the utility of all the others on the market. This utility of alternative  $j$  as obtained by decision maker  $n$  consists of a deterministic and a random term. It is assumed that the consumer will prefer the alternative with the highest utility over the others (utility maximization).

$$U_{nj} = V_{nj} + \epsilon_{nj} \quad (1)$$

where:

- $V_{nj}$ : the deterministic part of the utility for alternative  $j$  as obtained by consumer  $n$
- $\epsilon_{nj}$ : the random term

The deterministic term  $V_{nj}$  can be function both of attributes of the good and the consumer. It is the part of  $U_{nj}$  captured by the researcher.

The random term  $\epsilon_{nj}$  accounts for all kind of influences which appear to be random and which make it impossible to observe the choice as a deterministic process. The underlying interpretation is that some characteristics are unobserved or unobservable (for the researcher), and the random term accounts for their influence on  $U_{nj}$ . The probability that the consumer chooses alternative  $j$  is then the probability that the utility  $U_{jn}$  is bigger than the utility of all other alternatives  $U_{in}$   $i \neq j$ .

Depending on assumptions on the statistical distribution of the random term  $\epsilon_{nj}$ , different models are distinguished. The multinomial probit (with all error terms normally distributed) and the mixed logit (with error terms identical and independently Gumbell distributed) model are the most flexible for discrete choice situations. However, the absence of a closed form for the choice probabilities makes them less flexible for simulation purposes and too much effort would be required to include such a model in the framework of TREMOVE. We have therefore opted for multinomial and nested logit as specification of the simulation model to be designed. Mixed logit estimation will be provided only to get a better insight in choice behaviour but will not be used for simulation purposes.

In the next sections we will discuss the multinomial logit, nested logit and mixed logit specifications.

### 3.2. Multinomial logit

The multinomial logit model has been applied widely for all kind of logit choice modelling exercises in consumer theory. It is based on the assumption that the random utility terms have a double exponential or Gumbel distribution with variance  $\sigma^2 \cdot (\pi^2/6)$ . The Gumbel distribution shows much similarities to a normal distribution, but its definition allows simplified mathematical manipulation and results in a closed form for the choice probabilities.

The choice probability of alternative  $j$  chosen by consumer  $n$  is then:

$$P_{nj} = \frac{e^{\frac{V_{nj}}{\sigma}}}{\sum_i e^{\frac{V_{ni}}{\sigma}}} \quad (2)$$

As we will not model the choice of consumer  $n$ , we will drop that subscript in the discussion of multinomial and nested logit for simplification. If  $V_{nj}$  is linear in parameters, the choice probabilities become:

$$P_j = \frac{e^{\frac{\beta' \cdot x_j}{\sigma}}}{\sum_i e^{\frac{\beta' \cdot x_i}{\sigma}}} \quad (3)$$

with:

- $\beta$ : the vector of coefficients
- $x_n$ : the vector of parameters of alternative  $n$

In formula (3) we see that the coefficients  $\beta$  are scaled by  $1/\sigma$ . Only the product of both can be estimated:  $\beta$  and  $\sigma$  cannot be identified separately. It is common practice to normalise  $\sigma$  to unity, so that it drops of the formulas. The estimated coefficients  $\beta_e$  then indicate the effect of each observed parameter relative to the variance of the unobserved utility. A larger variance in this unobserved preferences leads to smaller coefficients. The choice probability of the estimated model is then:

$$P_j = \frac{e^{\beta_e' \cdot x_j}}{\sum_i e^{\beta_e' \cdot x_i}} \quad (4)$$

Although the variance cannot be estimated directly, it is possible to calculate the ratio of variances in unobserved utility of two different datasets describing the same choice situation. Take the example of a model estimated on a stated preference (SP) and a revealed preference (RP) dataset. The estimated coefficients are  $\beta_e^{SP}$  and  $\beta_e^{RP}$ . We know:

$$\beta_e^{SP} = \frac{\beta^{SP}}{\sigma^{SP}} \quad (5)$$

and

$$\beta_e^{RP} = \frac{\beta^{RP}}{\sigma^{RP}} \quad (6)$$

The original coefficients ( $\beta^{RP}$  and  $\beta^{SP}$ ) should be the same for both RP and SP, as we assume only the variance of the unobserved utility to be different. From (5) and (6) then follows:

$$\frac{\sigma^{RP}}{\sigma^{SP}} = \frac{\beta_e^{SP}}{\beta_e^{RP}} \quad (7)$$

The ratio of the variances is then:

$$k = \frac{(\sigma^{SP})^2 \cdot \frac{\pi^2}{6}}{(\sigma^{RP})^2 \cdot \frac{\pi^2}{6}} = \left( \frac{\sigma^{SP}}{\sigma^{RP}} \right)^2 = \left( \frac{\beta_e^{RP}}{\beta_e^{SP}} \right)^2 \quad (8)$$

The MNL has however some important disadvantages. The error terms are supposed to be independent and to have an identical distribution (same variance, mean is always zero) for the different alternatives. As a result of this, the alternatives have to fulfil the so-called IIA property: independence from irrelevant alternatives. This can be illustrated by the red-bus blue-bus problem. Assume a situation where private cars and red buses have both a 50% market share. That means the ratio of their choice probabilities is 1. Now we introduce blue buses in the system. This does not change the ratio of the share of cars and blue buses (this can be easily verified using formula (4)). But we can expect the ratio of the shares of both flavours of buses also to be unity. That means that private cars, red buses and blue buses would all have a 1/3 market share, which is highly implausible. The unrealistic behaviour of the multinomial logit specification results from the independence assumption, which does probably not hold for the error terms for the buses.

The same phenomenon we described above may happen when choosing between private car technologies. E.g. preferences for diesel and gasoline may be correlated in comparison to electrical cars. This hypothesis is confirmed by e.g. Bunch et al. (1993) and Ramjerdi et al. (1999) attaining a better fit with a nested model.

In the next section we will discuss a generalization of the multinomial logit model in order to allow groups of alternatives to be (more) similar to each other in an unobserved way.

### 3.3. Nested logit

To allow for correlation between preferences for a subset of alternatives, the nested multinomial logit model is applied. A partitioning structure is defined by the researcher by defining subdivisions (nests) in which the alternatives are grouped. For simplicity we will assume a two level structure in the following discussion of the model.

Assume a model with  $J$  alternatives partitioned in  $K$  nests, denoted  $N_1, \dots, N_K$ . The observed utility of alternative  $a$  in nest  $N_b$  is  $V_a$ . The probability of choosing alternative  $a$  is then defined as the product of the marginal probability of choosing nest  $N_b$  and the conditional probability of choosing alternative  $a$  in nest  $N_b$ :

$$P_a = P_{N_b} \cdot P_{a|N_b} \quad (9)$$

Both the conditional probability of choosing within a nest and the marginal probability of choosing between nests are defined as multinomial logit. For the conditional choice probability of alternative  $a$  belonging to nest  $N_b$ , we assume the unobserved utility  $\varepsilon_b$  distributed with variance  $\sigma_b^2 \cdot (\pi^2/6)$ . The conditional choice probability for alternative  $a$  in nest  $N_b$  is hence:

$$P_{a|N_b} = \frac{e^{\frac{V_a}{\sigma_b}}}{\sum_{i \in N_b} e^{\frac{V_i}{\sigma_b}}} \quad (10)$$

To define the marginal choice probability of nest  $N_b$ , we need to identify the utility of each nest. This is the expected utility a decision maker receives from the choice among the alternatives in the nest. The correct formula for this utility is:

$$V_{N_b} = \sigma_b \cdot I_b \quad (11)$$

with  $I_b$  the inclusive value of nest  $b$ , defined as:

$$I_b = \ln \sum_{i \in N_b} e^{\frac{V_i}{\sigma_b}} \quad (12)$$

The inclusive values  $I_b$  provide the link between the upper and the lower levels.

We assume the unobserved utility  $\varepsilon$  to be distributed with variance  $\sigma^2 \cdot (\pi^2/6)$ . The marginal choice probability of nest  $N_b$  is then:

$$P_{N_b} = \frac{e^{\frac{\sigma_b \cdot I_b}{\sigma}}}{\sum_{i=1}^K e^{\frac{\sigma_i \cdot I_i}{\sigma}}} \quad (13)$$

We can now write the probability of choosing alternative  $a$  as:

$$P_{a \in N_b} = P_{N_b} \cdot P_{a|N_b} = \frac{e^{\frac{\sigma_b \cdot I_b}{\sigma}}}{\sum_{i=1}^K e^{\frac{\sigma_i \cdot I_i}{\sigma}}} \cdot \frac{e^{\frac{V_a}{\sigma_b}}}{e^{I_i}} \quad (14)$$

We define  $\lambda_b$  as:

$$\lambda_b = \frac{\sigma_b}{\sigma} \quad (15)$$

If  $V_a$  is linear in parameters, formula (14) becomes:

$$P_{a \in N_b} = \frac{e^{\lambda_b \cdot I_b}}{\sum_{i=1}^K e^{\lambda_i \cdot I_i}} \cdot \frac{e^{\frac{\beta' \cdot x_a}{\sigma \cdot \lambda_b}}}{e^{I_i}} \quad (16)$$

In formula (16) and (18) we see that the coefficients  $\beta$  are scaled by  $1/\sigma$ . Only the ratio of both can be estimated:  $\beta$  and  $\sigma$  cannot be identified separately. It is common practice to normalise  $\sigma$  to unity, so that it drops from the formulas. Substituting  $\beta/\sigma$  for  $\beta_e$  gives:

$$P_{a \in N_b} = \frac{e^{\lambda_b \cdot I_b}}{\sum_{i=1}^K e^{\lambda_i \cdot I_i}} \cdot \frac{e^{\frac{\beta_e' \cdot x_a}{\lambda_b}}}{e^{I_i}} \quad (17)$$

with the inclusive value of nest  $N_b$ :

$$I_b = \ln \sum_{i \in N_b} e^{\frac{\beta_e' \cdot x_i}{\lambda_b}} \quad (18)$$

The coefficient  $\lambda_k$  is called the log-sum or inclusive value coefficient, and is a measure for the correlation (or the degree of dissimilarities) between the alternatives in nest  $N_k$ , with a smaller value for  $\lambda_k$  meaning more correlation. When all  $\lambda_k$  are between zero and one, the model is consistent with utility maximization. When  $\lambda_k$  is one, the model becomes a multinomial logit model. For  $\lambda_k$  larger than unity, the model has to be tested for utility maximization. For negative values of  $\lambda_k$ , the model is not consistent.

The nested logit model allows for correlation in unobserved preferences for choice alternatives. This is an improvement over the multinomial logit model discussed in §3.2, while not giving up the advantage of having a closed analytical expression for the choice probabilities (17), which speeds up the estimation and simulation procedure. However, correlation patterns are limited to the alternatives available in the same choice set. In the next section we will discuss a more flexible extension of the multinomial logit model that allows e.g. for correlation between alternatives in different choice sets faced by the same decision maker (repetitive choices).

### 3.4. Mixed logit

The mixed logit specification is a further extension to multinomial logit that provides a very flexible modelling framework. The description provided here draws mainly on Train 2003 and Batley et al. 2003.

Analogous to the multinomial and nested logit models, we will introduce mixed logit by defining the choice probabilities. The probability of choosing alternative  $j$  is then:

$$P_j = \int L_j(\beta) f(\beta) d\beta \quad (19)$$

where  $\beta$  is the vector with the coefficients of the deterministic part of the utility and  $L_j(\beta)$  is the probability of choosing alternative  $j$  in a multinomial logit setting:

$$L_j(\beta) = \frac{e^{V_j(\beta)}}{\sum_i e^{V_i(\beta)}} \quad (20)$$

If the observed part of the utility is linear, the choice probabilities become:

$$P_j = \int \frac{e^{\beta'x_j}}{\sum_i e^{\beta'x_i}} f(\beta) d\beta \quad (21)$$

Formula (21) indicates that the choice probability for a mixed logit is a weighted average of the multinomial logit choice probabilities for different values of  $\beta$ . The weights are given by density  $f(\beta)$ . Different specifications can be used for the distribution  $f(\beta)$ , normal and lognormal being the most common. E.g. if  $f(\beta)$  is specified as normal with mean  $a$  and covariance  $W$ , formula (21) becomes:

$$P_j = \int \frac{e^{\beta'x_j}}{\sum_i e^{\beta'x_i}} \phi(\beta|a, W) d\beta \quad (22)$$

with  $\Phi(\beta|a,W)$  the normal density with mean  $a$  and covariance  $W$ .

A first advantage of the mixed logit model over nested or multinomial logit specifications is the possibility to account for taste variation over respondents. In the multinomial (and nested) logit model, the estimated coefficient vector  $\beta$  contains fixed (average) values that apply to all



respondents. The mixed logit allow for variation over the individuals by introducing a covariance  $\mu_n$ . The utility (1) can hence be rewritten as:

$$U_{nj} = \beta' \cdot x_{nj} + \epsilon_{nj} = (\alpha' + \mu'_n) \cdot x_{nj} + \epsilon_{nj} = \alpha' \cdot x_{nj} + \mu'_n \cdot x_{nj} + \epsilon_{nj} \quad (23)$$

with  $\alpha$  a vector of fixed coefficients,  $\mu_n$  a vector of random terms with mean zero,  $x_{nj}$  a vector of observed variables and  $\epsilon_{nj}$  iid<sup>3</sup> Gumbell distributed.

A second advantage of the mixed logit approach is the possibility to account for correlations in non-deterministic part of the utility of choice alternatives. This correlation can be studied at the choice set level (as in the nested logit specification) but also at other levels (e.g. the respondent in a repeated choice dataset). To show this, we rewrite the utility formula (23) as:

$$U_{nj} = \alpha' \cdot x_{nj} + \mu'_n \cdot z_{nj} + \epsilon_{nj} \quad (24)$$

with  $\alpha$  a vector of fixed coefficients,  $\mu_n$  a vector of random terms with mean zero,  $x_{nj}$  and  $z_{nj}$  vectors of observed variables and  $\epsilon_{nj}$  iid<sup>4</sup> Gumbell distributed. The stochastic portion of the utility is:

$$\eta_{nj} = \mu'_n \cdot z_{nj} + \epsilon_{nj} \quad (25)$$

The specification of the vector  $z_{nj}$  defines the correlation in  $\epsilon_{nj}$ .

We will illustrate this by defining an approximation to the nested logit. In this case we define the vector  $z_{nj}$  consisting of a dummy variable for each nest, which is set to one for the variables included in the corresponding nest and zero otherwise. The error components  $\mu_n$  are defined to be distributed independently normal. It can then be shown (Batley et al. 2003) that the inclusive value coefficient  $\lambda_k$  of nest  $k$  can be approximated by the formula:

$$\lambda_k = \sqrt{1 - \frac{\sigma_k^2}{\sigma_k^2 + \frac{\pi^2}{6}}} \quad (26)$$

with  $\sigma_k$  the variance of the corresponding error term in  $\mu_n$ .

In the remainder of the paper we will focus on the correlation in stochastic utility between choice alternatives rather than variation in taste.

## 4. LITERATURE REVIEW

Different choice models have been developed in the past for simulation of market shares of new electric and alternative fuel technologies. Since these technologies are not available on the market in large quantities, these models have been estimated making use of stated preference data collected through a survey. Several modelling frameworks have been applied, we will limit the review to multinomial logit and nested multinomial logit.

### 4.1. California

Much research on private car technology choice has been done in California for the development of a microsimulation model of the vehicle market for the greater LA area.

<sup>3</sup> independently and identically distributed

<sup>4</sup> independently and identically distributed

Bunch et al. (1993) conducted a pilot study and estimated a nested multinomial logit (NMNL) model based on stated preference (SP) data. They conducted a survey in three phases, resulting in 562 returned questionnaires (20% response rate). Three cumulative models are estimated. The first model (table 2) only includes technology-specific variables, whereas subsequent models include socio-demographic variables as well. In the last model, segmentation variables based on anticipated next vehicle type are added. Five technology types were included in the model: gasoline, alternative fuel only, multiple-fuel (alternative fuel and gasoline), electric and hybrid.

*Table 2: Nested Multinomial Logit model by Bunch et al. (1993)*

Variable	coeff.	t-stat
Purchase price (\$1000)	-0,134	-10,4
Fuel cost (cents/mile)	-0,190	16,4
Range (100 miles)	2,52	11,4
Range2 (100 miles)2	-0,408	-7,4
Emissions level (fraction of current)	-2,45	-7,0
Emissions level2 (fraction of current)2	0,855	2,7
Fuel availability (fraction of stations)	2,96	5,7
Fuel availability2 (fraction of stations)2	-1,63	-3,5
Alternative fuel (constant relative to gasoline veh.)	0,098	0,9
Multiple fuel (constant relative to gasoline veh.)	0,693	6,7
Electric vehicle (constant relative to gasoline veh.)	-0,024	-0,1
Hybrid electric (constant relative to gasoline veh.)	-0,257	-1,5
Electric: charge at work as well as home (dummy)	-0,126	-1,1
Electric: low performance (dummy)	-1,04	-6,2
Electric: low performance with hybrid (dummy)	0,544	2,3
Nonelectric vehicles (log-sum coefficient)	0,805	3,2

Some parameters in the model were found not to differ significantly from zero: alternative fuel, electric vehicle and the possibility to charge at work as well as at home for electric vehicles. The constant for hybrid electric is not significant at  $p=0,05$ .

Brownstone et al. (1996) build a large multinomial logit (MNL) model based on new SP data. The same data have been reused by Brownstone and Train (1999) to compare MNL with mixed logit (ML) models (table 3). In the survey, four technology types were included: gasoline, CNG, methanol and electric.

*Table 3: Multinomial Logit Model by Brownstone et al. (1999)*

Variables	Estimate	Std. error
Price/ln(income)	-0,185	0,027
Range	0,350	0,027
Acceleration	-0,716	0,111
Top speed	0,261	0,080
Pollution	-0,444	0,100
Size	0,935	0,311
'Big enough'	0,143	0,076
Luggage space	0,501	0,188
Operating cost	-0,768	0,073
Station availability	0,413	0,097
Sports utility vehicle	0,820	0,144
Sports car	0,637	0,156
Station wagon	-1,437	0,065
Truck	-1,017	0,055
Van	-0,799	0,053
Constant for EV	-0,179	0,169
Commute < 5 x EV	0,198	0,082
College x EV	0,443	0,108
Constant for CNG	0,345	0,091
Constant for methanol	0,313	0,103
College x methanol	0,228	0,089

In Brownstone et al. (2000), revealed preference (RP) data have been added to develop a joint joint mixed logit model.

## 4.2. Canada

Ewing et al. (1998) designed a vehicle technology choice model for the Montreal metropolitan area. The model was estimated on a SP dataset that was built on a survey with 1500 respondents in the suburbs of the Montreal Census Metropolitan Area. The model includes vehicle technology and commuting attributes, allowing for the assessment of infrastructure related policies, e.g. separate motorway lanes for cleaner vehicles. The number of vehicle technology types included in the survey is limited to three: a conventional gasoline vehicle, an electrical vehicle and a more fuel-efficient vehicle running on gasoline or alternative fuel.

Several multinomial logit models were estimated: a base model with main effects only, both for categorical and continuous variables for some technology attributes. Further on, a choice model was estimated including several interaction terms. The choice process was also tested for correlation in preferences for vehicle types, but with negative results, the reason why no nested logit model was required.

The parameter estimates of the base multinomial logit discrete choice model with continuous variables can be found in table 4.

*Table 4: Multinomial logit model by Ewin et al. (1998)*

Attribute	Regression coefficient	Probability of t value
Fuel-efficient vehicle constant	0,42	0
Electric vehicle constant	0,25	0,009
Price (\$)	-0,00022	0
Maintenance cost (\$/year)	-0,00104	0
Acceleration (as % of current car)	0,013	0
Range (miles)	0,0039	0
Refuel time (minutes)	-0,0014	0
Emission rate (as % of current car)	-0,7128	0
Commuting time (min one-way)	-0,008	0,024
Commuting cost (\$/week)	-0,015	0

## 4.3. Norway

A technology choice model for Norway has been developed by Ramjerdi et al. (1999) to estimate demand for clean fuel cars in Norway. Both MNL and NMNL models have been estimated. Three fuel technologies were included: gasoline, electric and alternative fuel. Different models were estimated for the household's main car (table 5) and the second car.

*Table 5: (N)MNL model for HH main car by Ramjerdi et al. (1999)*

Variables	Multinomial logit	Nested multinomial logit
Constant, electric car	-2,351	-2,2030
Constant, alt fuel car	-1,348	-1,0450
Electric car, refuelling range	0,04089	0,0391
Gasoline car, emission	-0,1888	-0,2971
Gasoline car, HH without car	-1,786	-1,6120
Gasoline car, age over 66	0,5457	0,6355
Alt fuel car, refuelling range	0,02495	0,0256
Gasoline, HH income		0,0015
Purchase price	-0,009577	-0,0115
Variable car cost	-0,008816	
Number of seats	0,4200	-0,7337
Number of seats2		0,1597
Top speed	0,0992	0,1112
Accessibility	0,3808	
Logsum (nonelectric vehicles)		0,6566

#### **4.4. UK**

Batley et al. (2003) have estimated a discrete choice model for alternative-fuel vehicles based on a UK survey conducted by Knight (2001). Different specifications for multinomial logit, nested logit and mixed logit models have been estimated.

The survey methodology differs somewhat compared to most other studies. The choice sets were limited to two alternatives with four properties (variables), in order to limit cognitive difficulty for the respondent.

The alternatives were unlabelled in the choice sets. However, the levels of the variables differed between both alternatives in such way that the "alternative" car could be distinguishable, which was confirmed in model estimation by finding a significant dummy coefficient.

In order to allow for seven variables in the choice model, the variables were split up over two setups with four variables each, having the purchase price in common. The nested logit specification was used in order to allow for integration of both setups in model estimation. This however does not provide much insight in correlation between alternatives.

#### **4.5. Summary**

Past research provides much insight in discrete choice modelling of new private car technologies. We observe that a shortlist of parameters is returning in most studies: purchase cost, range, etc. The survey procedure applied shows much similarity between the different studies. Nested logit estimations identified a correlation structure between choice alternatives.

There are however some limitations. As the stress has been put on alternative fuels rather than alternative technologies, hybrid cars seem not to be covered by past research. We also observe that somehow by accident nearly all past research focussed on car markets where only one technology (gasoline) was available for private cars at the moment of the survey. None of the studies mentioned did study differences in correlation between two or more established technologies (e.g. diesel and gasoline) at one hand and alternative technologies at the other hand. Finally, most studies did not cover all cost variables, in most cases excluding annual costs such as maintenance which may differ significantly between technologies (e.g. replacement of battery pack for electric car).

As far as we could identify, alternative technology choice for private cars has not been researched yet for Belgium. The survey described in the next sections allowed to build the necessary dataset for estimation of a choice model for the Belgian car market. The approach used is much similar to what has been applied in past research, however we modified the methodology on some points in order to overcome the limitations identified above.

### **5. SURVEY METHODOLOGY**

#### **5.1. Targeted statistical population**

The population for the survey is the households living in Flanders.

Some private car technology choice models include a separate submodel for company and private car purchase (e.g. COWI 2002). The population as determined above seems to exclude information on company car choice. However, a lot of company cars are used as household cars

as well. We assume that the employee has an important influence on the car the company buys for him. Moreover, developing a separate choice model for business cars would require a redesign of the TREMOVE framework. Assuming that household's preferences are representative for business purchases as well, we limit the population to households.

We include all households in the population. The current car ownership status of the household is not considered. This means that we also include households who actually own a second hand car or do not own a car at all.

The population includes all Flemish households. We assume their preferences to be representative for the Belgian households. The inclusion of Brussels and Wallonian households in the survey population seems to be not possible due to budget limitations.

## **5.2. Observation method**

A focus group has been organised in order to test the basic assumptions regarding household's vehicle technology choice. These assumptions include the technology variables that have been selected based on the literature review to possibly be included in the model. This focus group counts 7 persons who are responsible for car purchase in their family.

The choice information is collected in a two phase survey. A first phase (n=257) invites the respondent to participate in the survey and collects some socio-demographic data, together with information that should allow customisation of the second phase (see §6). This first phase is conducted making use of CATI (Computer Aided Telephone Interview).

In the second phase the respondent is sent six (customized) choice sets through mail. Each of these sets presents a choice between five vehicles, with for each vehicle a value for each technology variable. A CATI is then used to ask the respondent which vehicle he would buy in case the purchase of a new vehicle would be necessary at the time of the survey. 207 respondents completed the second phase of the survey.

A small pretest (n=19) has been conducted in order to check the methodology before the full test is held.

## **5.3. Statistical frame**

In order to allow for representative survey results, a proper frame has to be chosen. This frame has to cover the statistical population as complete as possible.

The respondents are approached through a CATI in phase 1. Random digit dialling (fixed lines only) is used. This means that the frame for the sample is the households in Flanders having a fixed telephone connection.

The use of this frame has the disadvantage that people who have no telephone can not be selected. Households who have more than one fixed line have theoretically more chance to be selected, be it that the second line is probably mainly used for fax and/or internet use and thus won't be answered upon calling. Moreover, literature provided no evidence on the existence of a correlation between car technology choice and the number of fixed telephone lines. Nevertheless we have to take these disadvantages into account when determining the sampling method to avoid a bias being introduced due to the frame used.

## 5.4. Sampling method

Different sampling methods are possible. The stratified sample seems to be the most appropriate.

The stratification has been done regarding household income, as this variable is relevant for car technology choice preferences. For Flanders, this is a variable that is very difficult to determine directly in a survey, the risk of ending up with no usable information is very high. This problem has been solved by using the standard demographic classification by ESOMAR<sup>5</sup>. This methodology is used to determine the appropriate social grade category of the Main Income Earner in the household (M.I.E.). The Social Grade variable is a composite variable constructed from:

- the occupation of the M.I.E.;
- the Terminal Education Age of the M.I.E., adjusted to incorporate any further education or professional training completed by the M.I.E. following a period of employment;
- in the case of non-active M.I.E.s, the Economic Status of the household, based on the household ownership level of ten selected consumer durables.

A standardized questionnaire was developed that can be used in surveys to determine the Social Grade category of the respondents. For these categories, the average household income is known from statistics.

Further stratification is done regarding the respondent's age, sex, province and degree of urbanisation. We also included the choice set blocking variable in the stratification process (see §6.3).

We want each stratum to be represented proportionally in the survey. Therefore the quota have to be calculated, based on the targeted total number of respondents and the shares of the different strata in NIS-statistics. Filter questions have been added in the first phase in order to determine the strata (see §5.6).

## 5.5. Sample Size

In literature we find an indication of the number of respondents that typically enter the database used for estimation of technology choice variables. An overview is provided in table 6.

*Table 6: Dataset size in literature*

Study	dataset size (number of observations)
Bunch et al. (1993)	3460
Brownstone et al. (1999)	4654
Ramjerdi et al. (1999): main car model	1197
Ramjerdi et al. (1999): second car model	945
Ewing et al. (1997)	7856

As the budget for our study is limited, we asked each respondent to deal with six choice sets. This way, we were able to get 1254 observations (209 respondents, 6 sets per respondent).

The decision to send each respondent six choice sets is not free of risk: this induces correlation between choice sets from each respondent. For the multinomial and nested logit specification, the estimation of standard errors for the coefficients relies on strict independence between observations, and may therefore be understated. The estimation of the coefficients however will

<sup>5</sup> ESOMAR 1997

not suffer from this. Therefore the benefits of a larger dataset will more than outweigh this concern<sup>6</sup>.

## **5.6. Data collection procedures**

Besides the questions that collect the data necessary for the model estimation, we included some filtering questions in the beginning of the CATI in phase 1, in order to control the stratification of the sample. In case the quota for a stratum has been reached, any further respondent belonging to that stratum was refused.

When the quota for all strata are reached for a given province, the random dialling procedure was adapted in order to exclude telephone numbers that are geographically situated in that region. This increased the efficiency.

## **6. CHOICE SET DESIGN**

The design of the choice sets for the survey will be discussed in this section. These choice sets include five vehicles with their technology type and a level for each variable. Each respondent had to indicate the vehicle of his/her choice for one or more choice sets.

The design of the choice sets has to meet some objectives<sup>7</sup>:

- minimize the level of cognitive difficulty;
- maximise the credibility of the choice alternatives;
- maximise the numbers and types of choice models (e.g. different nesting structures, utility functions) that can be estimated from the final data set;
- maximise potential forecasting flexibility;
- maximise statistical efficiency.

Remember that every respondent received six choice sets at random in phase 2 of the survey.

In a first section we determine the levels of the technology variables in the survey. The second section, choice set profiles are defined in the last section we discuss how the levels of the variables are combined in the final choice sets.

### **6.1. Technology variables**

Earlier research on the topic provides some evidence on which technology variables should be included in our model. These variables proved to have significant coefficients in choice models estimated based on stated or revealed preferences.

Also the focus group observation was used in order to determine the variables considered by consumers purchasing a car.

Further expert discussions (meetings OSTC project and user committee OSTC project) have been held regarding which variables to include.

Simulations have been conducted in order to identify the number of variables we can include given the limited budget (and hence limited sample).

All these considerations resulted in a final list:

---

<sup>6</sup> Bunch et al. 1993

<sup>7</sup> Bunch et al. 1993

- Engine type: internal combustion engine (ICE) or electrical engine. This variable is included as a dummy, which coefficient express the difference in preferences for cars having an electrical engine versus these with an ICE.
- Energy source: depending on the engine type, this can be gasoline, diesel, LPG or an unspecified alternative fuel (for ICE) or electricity from fuel cells on an unspecified alternative fuel or batteries (for electrical engine). For each fuel except gasoline a dummy will be included in the model.
- Powertrain (transmission): conventional or hybrid (for ICE only), in the model we will include a dummy for hybrid transmission.
- Purchase cost: purchase cost in euro.
- Annual cost: annual cost in euro, including battery replacement
- Fuel cost: fuel cost per kilometre in euro, expressed in euro
- Range: distance driven without refuelling, in km
- Emissions level: damage by exhaust emissions from the car
- Trunk space: loss of trunk space because of technology related requirements, e.g. gas tank (not for ICE on conventional fuels), expressed as a percentage relative to a gasoline or diesel car's trunk space.

## **6.2. Levels of the technology variables in the choice sets**

The non-discrete technology variables vary over two or three levels in the choice sets. We need to define these levels.

The levels have to be specified in such way that they are meaningful to the respondent at one hand. At the other hand, the values of the attributes of the technologies we want to simulate have to be as much as possible within the range we apply in the survey. The choice of three levels for each variable should allow us to cover the range of interest and at the same time allow us to estimate for non-linear effects. The range of levels have thus to be chosen wide enough for forecasting flexibility, but at the other hand not too wide because that would undermine statistical efficiency as well as the credibility for the respondent. Finally, domination of the variation of one variable in the choice process should be prevented, e.g. if the variation of the purchase cost is too big compared to the variation of the other variables, the respondent may consider only purchase cost and we would not get any information on the influence of the other variables.

The values used in the survey are given in table 7. The combination of engine, fuel and transmission is referred to as the *technology type* and determines the possible levels of other technology variables as indicated by each column in the table. Some explanation regarding the values is given below.



*Table 7: Levels of the variables in the choice sets for each technology type*

Technology type	Conventional ICE	Alternative Fuel ICE	Electrical Battery	Fuel cell
Motor	ICE	ICE	Electrical engine	Electrical engine
Energy source	Gasoline Diesel	LPG Alternative fuel	Electrical energy from batteries, charged at home.	Electrical energy from fuel cells which convert an alternative fuel to electricity.
Transmission	Conventional Hybrid	Conventional Hybrid	Electrical	Electrical
Purchase cost (VAT included)	0,85 * B B 1,15 * B	0,85 * B B 1,15 * B	0,85 * B B 1,15 * B	0,85 * B B 1,15 * B
Annual cost (taxes included)	0,135 * B 0,15 * B 0,165 * B	0,135 * B 0,15 * B 0,165 * B	0,135 * B 0,15 * B 0,165 * B	0,135 * B 0,15 * B 0,165 * B
Fuel cost (excises and VAT included)	€ 0,05 per kilometre (BEF 2,02) € 0,07 per kilometre (BEF 2,82) € 0,10 per kilometre (BEF 4,03)	€ 0,05 per kilometre (BEF 2,02) € 0,07 per kilometre (BEF 2,82) € 0,10 per kilometre (BEF 4,03)	€ 0,05 per kilometre (BEF 2,02) € 0,07 per kilometre (BEF 2,82) € 0,10 per kilometre (BEF 4,03)	€ 0,05 per kilometre (BEF 2,02) € 0,07 per kilometre (BEF 2,82) € 0,10 per kilometre (BEF 4,03)
Range	500 km	200 km 300 km 500 km	200 km 300 km 500 km	200 km 300 km 500 km
Tailpipe emissions	Same as average diesel/gasoline car currently available	25% of gasoline vehicle 50% of gasoline vehicle 100% of gasoline vehicle	0%	0%
Available trunk space	100%	100% 30%	100% 30%	100% 30%

Some notes regarding table 7:

- Purchase cost and annual cost: this variable is customised in order to increase the credibility. In phase 1, the respondent is asked how much he/she would spend when having to buy a new car at the moment of the survey. This amount is B and is varied over the survey according to the table. The actual level is expressed both in EUR and BEF.
- Energy source: alternative fuel means a new fuel (no gasoline, diesel or LPG). This can be CNG, hydrogen, methanol, ethanol, etc. We assume the respondent to have no particular preference for any of these alternative fuels over the others, and thus use the label 'alternative'. This has been checked for in the focus group.
- Annual costs: Based on focus group findings it was decided to formulate repair, maintenance and battery replacement costs as an annual service plan fee included in the annual costs, this has been done in order to reduce the perceived risk for the consumer related to the purchase of new technologies
- Range: distance driven between refuelling.
- Tailpipe emissions: this has been formulated as the damage caused by the emissions, the reference being the average gasoline car currently sold and all values are relative to this car except the diesel car which emissions are expressed as average for the current diesel car sold. This formulation has been chosen based on focusgroup experience

The exact layout and formulation (in Dutch) of the choice sets is provided at the end of this document.

### **6.3. Factorial design**

Based on literature and focus group results, we have chosen for a design with five alternatives per choice set. Each choice set includes a gasoline, diesel, LPG, alternative fuel car. The fifth car is either a fuel cell or a battery powered car.

This choice set setup results in eight variables with two levels and twenty variables with three levels. In this section we will discuss how the combinations of the different levels for the final choice sets are designed.

When we would apply a full factorial design, this would result in a huge number of runs. A full factorial would result in  $3^{20} \cdot 2^8$  runs.

However, a full factorial is only necessary in case we want to estimate all (interaction) coefficients. For the purpose of the car technology choice model we limit our focus to the main effects, assuming that all interaction coefficients between technology variables are zero.

For that reason, we apply an orthogonal main-effect plan<sup>8</sup>. A main effects plan for this design has been selected with SAS and is limited to 72 runs. This plan also included a blocking variable (six choice sets per respondent).

In a final step, the choice sets are customized (purchase cost) and the order of technologies as well as technologies variables are randomised within each choice set, in order to prevent any order-related bias.

## 7. MODEL ESTIMATION

### 7.1. Multinomial logit

The stated preference dataset collected in the survey was first used to estimate a multinomial logit choice model with all variables (see §6.1 and §6.2) entering the utility function in a linear way. We used the STATA application for all model estimations, the resulting coefficients are in table 9.

Table 8: multinomial logit choice model

Variable		SP multinomial logit	
Description	Unit	Coefficient	P
Purchase cost	1000€	-0,1224	0
Annual cost	1000€	-0,5031	0,003
Fuelcost	€/km	-10,6868	0
Available luggage space	0-1	0,9934	0
Emissions	0-1	-0,8575	0
Range	100 km	0,2614	0
Diesel	dummy	0,4641	0
LPG	dummy	-0,8228	0
Alternative fuel	dummy	-0,3325	0,039
Fuelcell	dummy	-0,1507	0,571
Battery	dummy	-0,4041	0,131
hybrid	dummy	0,0025	0,974
Log likelihood		-1751,8061	

We see that all the generic variables<sup>9</sup> enter the model significantly. The sign of their coefficients is acceptable. Negative signs are observed for all cost variables and emissions, meaning that an increase in the value of these variables decreases the deterministic utility of the choice alternative (recall formula (4)). The significance of the emissions coefficient together with the negative sign shows that the respondents of the survey prefer cleaner cars over more polluting ones all other things being equal. This result is in line with earlier studies (see §4). However, we should remind that we are working in a stated preference setting. Batley et al. 2003 raises the issue of respondents who may choose a socially-acceptable alternative rather than what they would buy in a real world setting. Based on focus group findings a formulation for the emissions variable was chosen in order to avoid such associations as much as possible.

<sup>8</sup> An orthogonal main-effect plan is an orthogonal fraction of resolution III. Such a design provides uncorrelated estimates of the mean and all-main-effects, under the assumption that all interactions are absent (Day 1985).

<sup>9</sup> Purchase cost, annual cost, fuelcost, available luggage space, emissions and range

For the dummies only the diesel, LPG and alternative fuel differ significantly from zero (at  $P=5\%$ ). This means that we could not measure a significant preference (be it positive or negative) for fuelcell, battery and hybrid cars that is not the result from differences in the values of the generic variables (e.g. purchase cost). For the fuelcell and the battery cars this is not too surprising, as these dummies concern only one choice alternative in half of the choice sets, the amount of information on the influence of these properties is hence limited. The hybrid dummy however is present for four choice alternatives in every choice set, the insignificance is here caused by the very small value of the coefficient estimated, which could not be proven to differ significantly from zero. The hybrid property does clearly not have a significant influence on the choice outcome. This finding is in line with focus group observations.

The sign of both the LPG and alternative fuel dummies have negative coefficients, meaning that these choice alternatives have a lower deterministic utility compared to the gasoline alternative (which has no dummies and serves as reference alternative) when all other properties are equal (purchase cost, emissions, etc.). Diesel has a positive sign, which is not too surprising considering the large share of diesel cars in current sales.

The pseudo- $R^2$  value of the multinomial logit model is 0,132.

The willingness to pay (WTP) for a change in the value of the different variables can be calculated by dividing the corresponding coefficient by the purchase cost coefficient. The ratio of the coefficients of two variables is a measure for the trade-off that is made by the respondent: the respondent is indifferent to the corresponding changes as the net result on deterministic utility is zero (see formula (4)). The resulting WTP is shown in table 9.

*Table 9: WTP in multinomial logit choice model (in €)*

Variable Description	Unit	WTP €
Purchase cost	100€	100
Annual cost	100€	411
Fuelcost	0,01€/km	873
Available luggage space	10%	-811
Emissions	10%	701
Range	100 km	-2136
Diesel	dummy	-3792
LPG	dummy	6722
Alternative fuel	dummy	2716

The WTP for a decrease in fuel cost of 0,10 €/km is 873 € (corresponding increase in purchase cost). For emissions we observe a WTP of 701 € for a 10 % reduction which is only half of what has been observed in California (Bunch et al. 1993) or UK (Batley et al. 2003). For luggage space there is a negative WTP value (or rather a positive willingness to accept) of 811 € for a decrease in luggage space of 10 %. An increase in range of 100 km is valued at 2136 €, which is in line with Batley et al. 2003 and about half of Bunch et al. 1993.

The ratio of the WTP for annual cost (€ per year) and fuelcost (€ per km) provides an indication on the implicit expected mileage which amounts to 21242 km. In the survey we asked the respondent to state his expected mileage, the average over all respondents is 19753 km, which is slightly lower as the implicit value but the difference is not significant. This indicates that the respondents clearly made a rational trade off between both variables.

An interesting point here is the WTP for a reduction in annual costs: the respondents state to be willing to accept a 411 € increase in purchase cost for a € 100 reduction in annual costs. Based

on an estimated average lifetime of 9,5 years<sup>10</sup>, we can calculate the implicit discount rate of car purchasers to amount to 20%. This seems to be rather high compared to the discount rate reported by Verboven (2002) of 11,5% for the period 1990 to 1994. However, the 95% confidence interval of the annual cost coefficient is rather large, not allowing to decide that the difference between our value and the literature is significant. To overcome this problem, we decided to integrate the fuelcost and annual cost variable in one new variable covering all non-purchase costs, by multiplying the fuelcost with the stated expected annual mileage and adding to the annual cost. The confidence interval of the coefficient of the new variable is much smaller. However, the implicit discount rate is now even higher compared to the original model, and amounts to 27% with a confidence interval of [16%,52%]. This value is clearly different from Verboven (2002) and is difficult to explain, considering that both inflation and interests on capital markets went down between the early 90s and 2005. We will come back to this issue in §7.1.

The dummy coefficients provide rather high WTP estimates. There is clearly major opposition regarding LPG, which was somewhat expected based on observed discussions in the focus group. It seems that LPG cars still bear the negative image of moving bombs, although the focus group observation indicated that factual information regarding technical safety records of retrofit LPG cars did reach potential buyers. This is confirmed by the much lower willingness to accept for alternative fuel cars: there seems to be no reason to believe that they are more or less explosive than common LPG cars, the only observable difference is the absence of the notorious LPG-label.

Further specifications of the multinomial logit model have been estimated in order to include squared terms for the generic variables entering the choice sets at three levels (see table 7). However, we could not find any significant influence on the choice behaviour, in contrast to e.g. Ramjerdi (1999) and Bunch et al. (1993).

In past studies, household income proved to have a significant influence on car technology choice. However, it is also a variable that is very difficult to measure in a survey. To avoid running the risk of failing to measure household income, we made use of a standardized demographic classification by ESOMAR (see §5.4). For each ESOMAR class, the average income is determined based on statistical information by NIS<sup>11</sup>. We have tested different modelling specifications for the income variable, however but no significant influence on purchase behaviour was found. Probably the size of the survey is too small to provide enough choice information. Note that the variance in income is linked to the number of respondents (209).

## **7.2. Nested logit**

The next step in model estimation was to change the specification to nested logit. This allows for correlation in non-deterministic utility between different alternatives in the same choice sets.

Estimating the nested logit specification<sup>12</sup>, we tested for several nesting structures but only one was found to result in a significant better modelling structure ( $\chi$ -square test on log-likelihood): all non-electric/fuel cell alternatives in a nest (see figure 1).

<sup>10</sup> Value taken from TRENDS project data

<sup>11</sup> <http://statbel.fgov.be>

<sup>12</sup> For nested logit estimation, the `nlogitrum` command in Stata was used to ensure consistency with random utility maximization (Heiss, 2002)

Comparing our modelling results to past research, we note that the nesting structure identified by Ramjerdi et al. 1999 and Bunch et al. 1993 is similar to what we observed.

The model coefficients are shown in table 10, figure 1 provides the corresponding nested structure.

Table 10: nested logit choice model

Variable Description	Unit	SP nested logit	
		Coefficient	P
Purchase cost	1000€	-0,0913	0
Annual cost	1000€	-0,3850	0,004
Fuelcost	€/km	-7,9560	0
Available luggage space	%	0,7911	0
Emissions	%	-0,5990	0,001
Range	100 km	0,2174	0
Diesel	dummy	0,3143	0
LPG	dummy	-0,4836	0,002
Alternative fuel	dummy	-0,1461	0,226
Fuelcell	dummy	-0,4124	0,061
Battery	dummy	-0,6660	0,003
hybrid	dummy	-0,0061	0,906
inclusive value		0,6696	0
Log likelihood		-1748,3057	

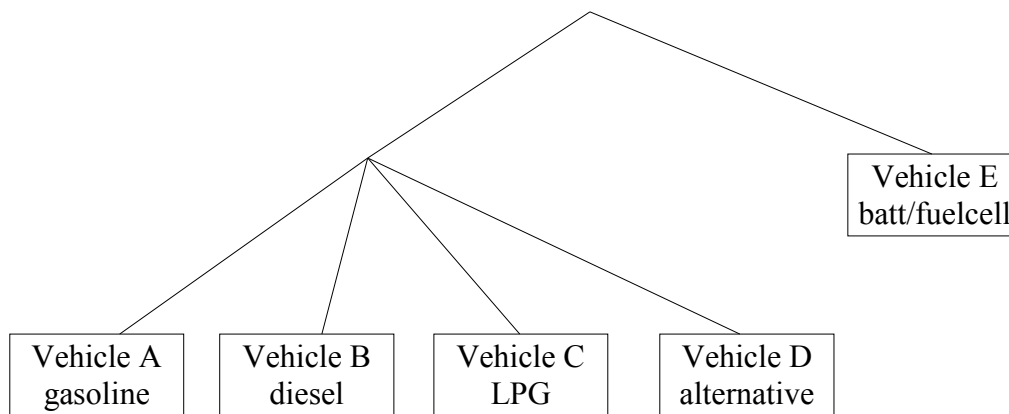


Figure 1: nesting structure

The interpretation of the model coefficients will not be discussed here, as most conclusions on the significance, signs and WTP-ratios observed in the multinomial logit model still hold. Only alternative-specific dummies do show some changes, reflecting the change in nesting structure.

The inclusive value coefficient (see §3.3) is a measure for the correlation in unobserved preferences for the alternatives in the nest. We should however stress here that in the nested logit specification, different choices are considered as independently. Correlation hence concerns only alternatives in the same choice set. This is a drawback as it seems realistic to assume that correlation in preferences are much stronger at the level of the respondent rather than at the choice set level. To overcome this limitation of the nested logit model, we will continue our analysis with the mixed logit specification.

### 7.3. Mixed logit

The major advantage of the mixed logit specification for analysis of our stated preference dataset is that we can account for the repeated choice character: every respondent answered six choice sets. The structure of the data is presented in figure 2.

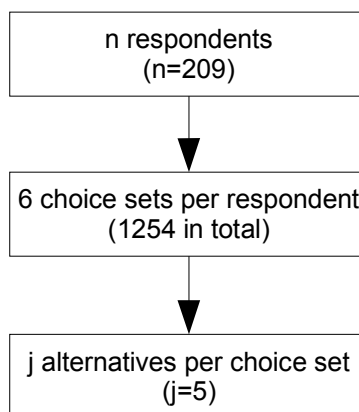


Figure 2: structure of stated preference dataset

The different mixed logit models described in this text have all been estimated making use of the `gllamm` command<sup>13</sup> in Stata.

### 7.3.1. *Nested logit revisited*

In a first analysis we will focus on a correlation structure similar to the nested logit specification in §7.2 (hierboven). This is done by specifying  $z_{nj}$  in formula (24) as a dummy property (labeled `ice` for internal combustion engine) for alternatives in the nest (see figure 1). Estimation results are provided in table 11.

Table 11: mixed logit estimation

Variable		SP mixed logit	
Description	Unit	Coefficient	P
Purchase cost	1000€	-0,1428	0
Annual cost	1000€	-0,5957	0,001
Fuelcost	€/km	-12,5518	0
Available luggage space	%	1,3272	0
Emissions	%	-0,9255	0
Range	100 km	0,3493	0
Diesel	dummy	0,4705	0
LPG	dummy	-0,6773	0
Alternative fuel	dummy	-0,1615	0,327
Fuelcell	dummy	-1,0175	0,005
Battery	dummy	-1,4938	0
hybrid	dummy	-0,0182	0,814
st. dev. (ice)		2,6125	0
Log likelihood		-1615,0414	

This model performs clearly better than the nested logit specification based on the log likelihood improvement. Based on formula (26), we can calculate a corresponding inclusive value coefficient of 0,44. Compared to the nested logit estimation, this is lower figure indicating a stronger correlation which seems realistic taken into account that we now study correlation over all choices made by the same respondent rather than at the individual choice set level.

The coefficients of the generic variables all show a higher absolute value. Remember that in the level of the coefficients, a scale factor representing the variation in  $\varepsilon$  is included. As now part of the variation is taken over by the  $\mu$ , the remaining variation to be accounted for by  $\varepsilon$  is smaller and hence the larger absolute values for the different coefficients.

The coefficient discussion here does not differ much from the previous estimations (multinomial and nested logit): trade-offs between parameters remain largely the same, only the alternative

<sup>13</sup> <http://www.gllamm.org>

specific dummy coefficients change somewhat (more of them becoming significant) and preferences for hybrid still are insignificant.

The random parameter  $\eta_{nj}$  (see formula (25)) has been specified such to capture the difference in preference for the internal combustion engine technologies compared to the electric or fuel cell alternatives.

In a next analysis, we refine the specification of  $z_{nj}$  such to be able to estimate in how far preferences for electric and fuel cell cars are correlated over choice sets by the same respondent. To illustrate this, we defined the  $z_{nj}$  vector as comprising the fuelcell and battery dummies. The resulting model is presented in table 12.

*Table 12: mixed logit estimation*

Variable Description	Unit	SP mixed logit	
		Coefficient	P
Purchase cost	1000€	-0,1426	0
Annual cost	1000€	-0,5968	0,001
Fuelcost	€/km	-12,9097	0
Available luggage space	%	1,3254	0
Emissions	%	-0,9289	0
Range	100 km	0,3460	0
Diesel	dummy	0,4749	0
LPG	dummy	-0,6867	0
Alternative fuel	dummy	-0,1690	0,305
Fuelcell	dummy	-0,9503	0,012
Battery	dummy	-1,3656	0,001
hybrid	dummy	-0,0153	0,844
st. dev. (fuelcell)		2,5253	0
st. dev. (battery)		2,4403	0
corr (fuelcell, battery)		0,9996	
Log likelihood		-1615,6497	

The estimation results show a very strong correlation between the preferences for fuel cell and hybrid cars. The variance of both random parameters does not differ significantly. The separate random variables could hence be replaced by a single one for both dummies. That single variable would express the correlation in preferences for battery and fuel cell cars compared to the other alternatives, and the model would come down to the same model as the one in table 11. If we compare both models, we observe that all coefficients have approximately the same value and that the log likelihood statistic does not differ significantly.

### 7.3.2. Hybrids

To further investigate the attitude of the respondents towards hybrid cars, a mixed logit estimation has been done with the  $z_{nj}$  vector specified as including the hybrid dummy only. This allows us to study correlation in preferences for hybrids at the level of the respondent. This means that both correlation between different hybrid choice alternatives (e.g. diesel and gasoline) as well as over the choice sets is considered. This specification did not result in a significant improvement of the model fit. We hence decide that the survey did not reveal any specific attitude towards hybrid. This is in line with the observation in the focus group discussion where a rather open attitude towards hybrid cars was recorded.

### 7.3.3. Correlation for alternatives over choice sets

A last mixed logit estimation was carried out by specifying  $z_{nj}$  to contain dummies for all internal combustion engine choice alternatives: gdo, gsl (for gasoline), lpg and alternative fuel. The error terms for each dummy were defined as independent (no correlation) and having an identical distribution (same variance). The resulting table is in table 13.

Table 13: mixed logit estimation

Variable Description	Unit	SP mixed logit	
		Coefficient	P
Purchase cost	1000€	-0,2040	0
Annual cost	1000€	-0,9661	0
Fuelcost	€/km	-17,73215	0
Available luggage space	%	1,4521	0
Emissions	%	-1,2784	0
Range	100 km	0,3905	0
Diesel	dummy	0,8343	0,001
LPG	dummy	-1,2676	0
Alternative fuel	dummy	-0,5226	0,100
Fuelcell	dummy	0,2849	0,443
Battery	dummy	-0,1033	0,782
hybrid	dummy	-0,0124	0,903
st. dev.		2,4403	0
Log likelihood		-1440,4981	

The log likelihood of this model is clearly better than of the specifications discussed earlier in this paper.

We further note that the ratio of the coefficients for annual cost and purchase cost increases compared to the multinomial logit estimation, and hence the implicit discount rate becomes smaller: 16% instead of the higher value of 20% (see §7.1). It seems that through accounting for correlation at the respondent level the implicit discount rate comes closer to values found in past research (Verboven 2003). We should however add that the 95% confidence interval of the annual cost coefficient is still rather large.

The absolute value of the WTP in this model is somewhat smaller (about 10%) than in the multinomial logit case (see table 9), however this does not change the conclusions.

## 7.4. Estimation for simulation

In the previous sections we discussed several model specifications in order to allow for an analysis of the survey data. Now we will focus on building a model for simulating market shares of new technologies. This model will be included in the partial equilibrium model REMOVE, which poses some limitations to the specifications.

The REMOVE model does not use the three cost variables separately, but joins them in a lifetime cost variable covering all expected resource costs per km for new technologies. We therefore calculated the lifetime cost variable, using the assumptions on expected lifetime and interest rate as in REMOVE. The expected annual mileage was asked to the respondents in the last CATI round of the survey, blank answers were replaced by an assumed average value of 20206 km (based on REMOVE2).

A further limitation is related to the resources being limited and excluding a mixed logit specification for simulation. The multinomial and nested logit model has then been re-estimated using the same specification but including the lifetime cost variable. The model coefficients are in table 14. We see that the results do not differ much from the first estimate. The original



variables were orthogonal to each other, so the lifetime cost variable is also original to the other variables, so correlation is limited or unexisting.

*Table 14: model for simulation*

Variable Description	Unit	SP multinomial logit		SP nested logit	
		Coefficient	P	Coefficient	P
Lifetime cost	€/vkm	-7,483417	0	-5,399	0
Available luggage space	%	0,9921	0	0,7443	0
Emissions	%	-0,8635	0	-0,5624	0,001
Range	100 km	0,2624	0	0,2081	0
Diesel	dummy	0,4621	0	0,2902	0
LPG	dummy	-0,8231	0	-0,4378	0,003
Alternative fuel	dummy	-0,3366532	0,037	-0,1273	0,259
Fuelcell	dummy	-0,1601	0,548	-0,4670	0,030
Battery	dummy	-0,4150	0,122	-0,7206	0,001
hybrid	dummy	-0,0106	0,887	-0,0126	0,793
Inclusive value non-electric/fuelcell				0,6204	0
Log likelihood		-1767,2477		-1763,3508	

## 8. CONCLUSIONS & FURTHER RESEARCH

A survey was conducted to collect stated preference data to estimate a discrete choice model for private car technologies. Although the relatively small size of the sample the resulting dataset was used to estimate a discrete choice model resulting in significant coefficients for all generic variables.

The resulting choice model clearly indicates that people do take into consideration all cost variables, loss of luggage space, refuelling range and exhaust emissions. This means that people accept to pay more for a cleaner car. Or want to pay less when a new technology involves a loss of luggage space (e.g. CNG retrofit). We should however add that from the focus group we learned that for conventional technologies people seems not to get clear information on emissions level, the identical labelling for gasoline and diesel cars (both EURO IV) causing confusion. A clear labelling system would be more appropriate.

As for the dummy variables, we see a significant positive preference for diesel cars, and an even larger dislike for LPG. For hybrid however people seem not to have any significant preference.

Further research on the topic will focus on the implementation of a simulation model in TREMOVE based on the estimation results. We will also extend the model estimation results to include more socio-demographic variables (so far only income has been considered).

## REFERENCES

- Anderson, S.P.; de Palma, A.; Thisse, J.-F. (1992) *Discrete Choice Theory of Product Differentiation*, London
- Batley, R.; Knight, M.; Toner, J.P. (2003) A mixed logit model of the demand for alternative-fuel vehicles. Paper presented at the 35th Annual Conference of the Universities Transport Study Group, Loughborough University, January 2003
- Ben-Akiva, M.; Lerman, S.R. (1985) *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, London
- Brownstone, D.; Bunch, D.; Golob, T.; Ren, W. (1996) Transactions choice model for forecasting demand for alternative-fuel vehicles. In: McMullen, S. (Ed.), *Research in Transportation Economics*, vol. 4, JAI Press, pp. 87-129
- Brownstone, D.; Train, K. (1999) Forecasting new product penetration with flexible substitution patterns, *Journal of Econometrics*, 89, pp. 109-129
- Brownstone, D.; Bunch, D.S.; Train, K. (2000) Joint mixed logit models of stated and revealed preferences for alternative-fuel vehicles, *Transportation Research Part B*, 34, pp. 315-338
- Bunch, D.S.; Bradley, M.; Golob, T.F.; Kitamura, R. (1993) Demand for clean-fuel vehicles in California: a discrete-choice stated preference pilot project, *Transportation research A*, 27A, pp. 237-253
- Burgwal, H.C. van de; Dijkhuizen, A.J.D.; Mourad, S.; Smokers, R.; Winkel, R.G. (2001) *Quickscan elektrische, hybride and brandstofcel voertuigen*, Delft
- COWI (2002) *Fiscal Measures to Reduce CO2 Emissions from New Passenger Cars*, Final Report (Downloadable from website [http://europa.eu.int/comm/environment/co2/cowi\\_finalreport.pdf](http://europa.eu.int/comm/environment/co2/cowi_finalreport.pdf))
- Day, A. (1985) *Orthogonal Fractional Factorial Designs*, New Delhi
- ESOMAR (1997) *Standard Demographic Classification*, Amsterdam
- The European Commission; Standard & Poor's DRI; KULeuven (1999) *The AOPII Cost-effectiveness Study - Part II: The TREMOVE Model*
- Ewing, G.O.; Sarigöllü, E. (1998) Car fuel-type choice under travel demand management and economic incentives, *Transportation Research D*, Vol 3, No 6, pp. 429-444
- Heiss, F. (2002) Specification(s) of Nested Logit Models, Discussion Paper Nr. 16-02 (Downloadable from website [http://www.mea.uni-mannheim.de/mea\\_neu/pages/files/nopage\\_pubs/dp16.pdf](http://www.mea.uni-mannheim.de/mea_neu/pages/files/nopage_pubs/dp16.pdf))
- Knight, M.J. (2001) *Stated preferences for alternative-fuel vehicles*. MA dissertation, Institute for Transport Studies, University of Leeds
- Ramjerdi, F.; Rand, L. (1999) Demand for clean fuel car in Norway, Presented at the 2nd KFB-Research Conference, Lund, Sweden, 7-8 June
- Train, K. (1990) *Qualitative Choice Analysis*, London
- Train, K.E. (2003) *Discrete Choice Methods with Simulation*, Berkeley

Verbeiren S., De Vlieger, I., Pelkmans, L. (2003) Duurzaamheidsvaluatie van technologieën en modi in de transportsector in België. Deelrapport eerste screening (Taak A), Vito-rapport 2003/IMS/R086

Verboven, F. (2002) Quality-based price discrimination and tax incidence: evidence from gasoline and diesel cars, *RAND Journal of Economics*, Vol. 33, No. 2, pp. 275-297

Veronderstel dat u nu een nieuwe auto moet kopen. U hebt het model (merk, model, kleur, opties) reeds gekozen. Veronderstel dat er van dit model vijf technische uitvoeringen (motor, brandstof, overbrenging) verkocht worden. Deze zijn voorgesteld in deze tabel en verschillen van elkaar enkel in de eigenschappen die in de tabel staan. Alle eigenschappen die niet in de tabel vermeld zijn, zijn voor alle uitvoeringen gelijk. Dit betekent ook dat alle uitvoeringen even degelijk, veilig, betrouwbaar, en dat de levensduur gelijk is, dat ze hetzelfde vermogen hebben en even snel optrekken.

Eigenschap	Voertuig A & B	Voertuig C & D	Voertuig E1	Voertuig E2
<b>Motor</b>	Verbrandingsmotor	Verbrandingsmotor	Elektrische motor	Elektrische motor
<b>Energie</b> - De opslag van energie is voor alle uitvoeringen even veilig. Het voltanken is voor alle uitvoeringen even eenvoudig en duurt even lang (behalve batterijauto). De brandstof wordt verkocht aan alle tankstations, en de beschikbaarheid is in heel Europa hetzelfde.	Benzine (A) Diesel (B)	Alternatieve brandstof (C) LPG (D)	Elektrische energie uit batterijen die worden opgeladen met netstroom. Volledig opladen duurt enkele uren.	Brandstofcellen zetten een alternatieve brandstof om in elektrische energie
<b>Aandrijving</b>	Verbrandingsmotor drijft de wielen aan Hybride: combinatie van verbrandingsmotor en elektrische motor drijft de wielen aan	Verbrandingsmotor drijft de wielen aan Hybride: combinatie van verbrandingsmotor en elektrische motor drijft de wielen aan	Elektrische motor drijft de wielen aan	Elektrische motor drijft de wielen aan
<b>Totale aankoopkost:</b> aankoop voertuig (BTW inbegrepen), inschrijving (B.I.V.), retributie nummerplaat en eventuele kortingen en subsidies.	0,85 * B B 1,15 * B	0,85 * B B 1,15 * B	0,85 * B B 1,15 * B	0,85 * B B 1,15 * B
<b>Totale jaarlijkse kost:</b> verkeersbelasting, verzekering en serviceplan voor onderhoud (BTW inbegrepen), het aantal onderhoudsbeurten is voor alle uitvoeringen gelijk.	0,135 * B 0,15 * B 0,165 * B	0,135 * B 0,15 * B 0,165 * B	0,135 * B 0,15 * B 0,165 * B	0,135 * B 0,15 * B 0,165 * B
<b>Brandstofkost per kilometer</b> , BTW en accijns inbegrepen, bij een normale rijstijl.	EUR 0,05 per km (BEF 2,02) EUR 0,07 per km (BEF 2,85) EUR 0,10 per km (BEF 4,03)	EUR 0,05 per km (BEF 2,02) EUR 0,07 per km (BEF 2,85) EUR 0,10 per km (BEF 4,03)	EUR 0,05 per km (BEF 2,02) EUR 0,07 per km (BEF 2,85) EUR 0,10 per km (BEF 4,03)	EUR 0,05 per km (BEF 2,02) EUR 0,07 per km (BEF 2,85) EUR 0,10 per km (BEF 4,03)
<b>Bereik:</b> afstand die u kunt rijden met een volle tank zonder bij te tanken (of met volle batterijen zonder bij te laden) bij een normale rijstijl op een vlakke weg.	500 km	200 km 300 km 500 km	200 km 300 km 500 km	200 km 300 km 500 km
<b>Schadelijkheid uitlaatgassen voor mens en milieu:</b> 100% betekent even schadelijk als gemiddelde nieuwe benzineauto die nu op de markt is, 50% betekent de helft minder schadelijk	Even schadelijk als de gemiddelde nieuwe benzineauto (A) dieselauto (B) die nu op de markt is.	100% van benzineauto 50% van benzineauto 25% van benzineauto	0%	0%
<b>Beschikbare kofferruimte</b>	100%	100% 30%	100% 30%	100% 30%

Stel dat u moet kiezen uit de vijf voorgestelde uitvoeringen, welke zou u kiezen? U hoeft slechts één keuze aan te geven (geen rangschikking).



KATHOLIEKE  
UNIVERSITEIT  
LEUVEN

## **Annex IV: Design of a car technology choice model for simulation of emission policies**

Jasper Knockaert

25 November 2005

**Corresponding Address:** [Jasper.Knockaert@econ.KULeuven.be](mailto:Jasper.Knockaert@econ.KULeuven.be)

**ENERGY, TRANSPORT AND ENVIRONMENT**  
CENTER FOR ECONOMIC STUDIES  
Naamsestraat 69 B-3000 LEUVEN  
BELGIUM



# Design of a car technology choice model for simulation of emission policies

## 1. INTRODUCTION

In this paper we discuss the design of a private car technology choice model that can be used as a simulation tool in the larger TREMOVE modelling framework.

In a first paragraph we briefly introduce the TREMOVE partial equilibrium model. A next paragraph provides a short discussion on discrete choice theory. In the third paragraph we design and estimate a revealed preference nested logit model for medium and big car technologies. The fourth paragraph covers the introduction of this revealed preference model with a stated preference model which has been estimated earlier (see annex I). In the two last paragraphs, the model is further extended to hybrids and small car technologies.

## 2. TREMOVE

The TREMOVE 1.3 model is a partial equilibrium representation of the transport markets developed for the EU Commission under the Auto-Oil II Program<sup>1</sup>.

The model (see figure 1) represents all the transport markets (passenger and freight, all modes (4 types of cars, metro, public bus, rail etc.) and contains a crude representation of congestion and a detailed emission module (TRE-part). The model tracks the evolution of the car stock per vehicle type (MOVE stock-part). The model computes the effects and welfare costs of alternative measures to reduce emissions in the transport sector. These measures include taxation and regulation packages ranging from subsidies to public transport and electronic road pricing to the obligation of installing catalytic converters.

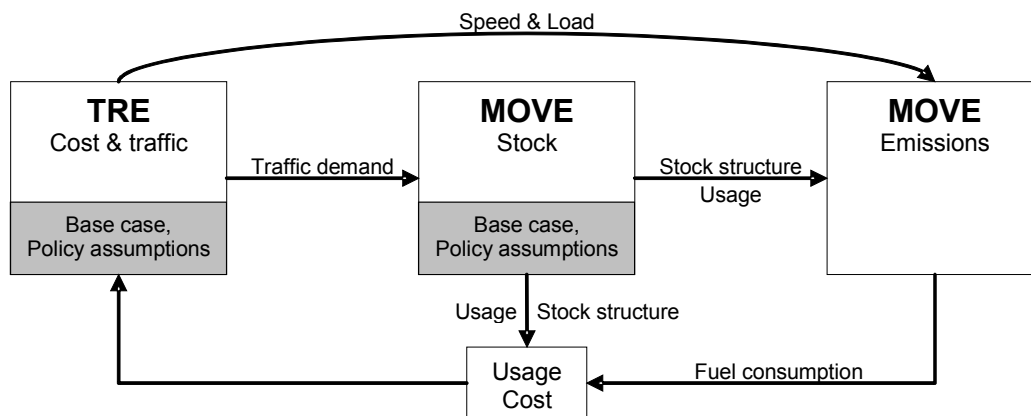


Figure 1: General structure of the TREMOVE model

The MOVE Stock module calculates the number of new vehicles based on the historic stock (previous modelling period) and the number of vehicles scrapped (scrappage model). It is at this point that the vehicle technology choice model comes in: the shares of the different technologies in new vehicles sales are calculated.

<sup>1</sup> More information on the Auto-Oil II program can be found on <http://europa.eu.int/comm/environment/autooil/> and <http://europa.eu.int/comm/environment/enveco/auto-oil/>

For an in-depth discussion of the TREMOVE 1.3 model we refer to European Commission et al. (1999).

### 3. DISCRETE CHOICE

Discrete choice theory provides a broad range of mathematical modelling frameworks. An extended in depth discussion on discrete choice theory can be found in Ben-Akiva et al. (1985), Train (1990), Anderson et al. (1992) and Train (2003).

The introduction on the topic we provide in this paragraph is mainly based on Train (2003) and Heiss (2002).

#### 3.1. Consumer behaviour

The consumer who considers the purchase of a car faces a discrete choice situation. To model the behaviour in such circumstances, discrete choice theory offers several models based on random utility theory.

In these models, the probability that a consumer chooses a given alternative depends on the utility of the alternative as well as the utility of all the others on the market. This utility of alternative  $j$  as obtained by decision maker  $n$  consists of a deterministic and a random term. It is assumed that the consumer will prefer the alternative with the highest utility over the others (utility maximization).

$$U_{nj} = V_{nj} + \epsilon_{nj} \quad (1)$$

where:

- $V_{nj}$ : the deterministic part of the utility for alternative  $j$  as obtained by consumer  $n$
- $\epsilon_{nj}$ : the random term

The deterministic term  $V_{nj}$  can be function both of attributes of the good and the consumer. It is the part of  $U_{nj}$  captured by the researcher.

The random term  $\epsilon_{nj}$  accounts for all kind of influences which appear to be random and which make it impossible to observe the choice as a deterministic process. The underlying interpretation is that some characteristics are unobserved or unobservable (for the researcher), and the random term accounts for their influence on  $U_{nj}$ . The probability that the consumer chooses alternative  $j$  is then the probability that the utility  $U_{jn}$  is bigger than the utility of all other alternatives  $U_{in}$   $i \neq j$ .

Depending on assumptions on the statistical distribution of the random term  $\epsilon_{nj}$ , different models are distinguished. The multinomial probit (with all error terms normally distributed) and the mixed logit model are the most flexible for discrete choice situations. However, the absence of a closed form for the choice probabilities makes them less flexible for simulation purposes and much effort would be required to include such a model in the framework of TREMOVE. Together with the still somewhat experimental character of the mixed logit model, we feel that these advanced discrete choice specifications fall beyond the scope of this study. We have therefore opted for multinomial and nested logit as specification of the model to be estimated. In the next paragraphs we will discuss the multinomial logit and nested logit specifications.

### 3.2. Multinomial logit

The multinomial logit model has been applied widely for all kind of logit choice modelling exercises in consumer theory. It is based on the assumption that the random utility terms have a double exponential or Gumbel distribution with variance  $\sigma^2 \cdot (\pi^2/6)$ . The Gumbel distribution shows much similarities to a normal distribution, but its definition allows simplified mathematical manipulation and results in a closed form for the choice probabilities.

The choice probability of alternative  $j$  chosen by consumer  $n$  is then:

$$P_{nj} = \frac{e^{\frac{V_{nj}}{\sigma}}}{\sum_i e^{\frac{V_{ni}}{\sigma}}} \quad (2)$$

As we will not model the choice of consumer  $n$ , we will drop that subscript from here on for simplification. If  $V_{nj}$  is linear in parameters, the choice probabilities become:

$$P_j = \frac{e^{\frac{\beta' \cdot x_j}{\sigma}}}{\sum_i e^{\frac{\beta' \cdot x_i}{\sigma}}} \quad (3)$$

with:

- $\beta$ : the vector of coefficients
- $x_n$ : the vector of parameters of alternative  $n$

In formula (3) we see that the coefficients  $\beta$  are scaled by  $1/\sigma$ . Only the product of both can be estimated:  $\beta$  and  $\sigma$  cannot be identified separately. It is common practice to normalise  $\sigma$  to unity, so that it drops from the formulas. The estimated coefficients  $\beta_e$  then indicate the effect of each observed parameter relative to the variance of the unobserved utility. A larger variance in this unobserved preferences leads to smaller coefficients. The choice probability of the estimated model is then:

$$P_j = \frac{e^{\beta_e' \cdot x_j}}{\sum_i e^{\beta_e' \cdot x_i}} \quad (4)$$

Although the variance cannot be estimated directly, it is possible to calculate the ratio of variances in unobserved utility of two different datasets describing the same choice situation. Take the example of a model estimated on a stated preference (SP) and a revealed preference (RP) dataset. The estimated coefficients are  $\beta_e^{SP}$  and  $\beta_e^{RP}$ . We know:

$$\beta_e^{SP} = \frac{\beta^{SP}}{\sigma^{SP}} \quad (5)$$

and

$$\beta_e^{RP} = \frac{\beta^{RP}}{\sigma^{RP}} \quad (6)$$

The original coefficients ( $\beta^{RP}$  and  $\beta^{SP}$ ) should be the same for both RP and SP, as we assume only the variance of the unobserved utility to be different. From (5) and (6) then follows:



$$\frac{\sigma^{RP}}{\sigma^{SP}} = \frac{\beta_e^{SP}}{\beta_e^{RP}} \quad (7)$$

The ratio of the variances is then:

$$k = \frac{(\sigma^{SP})^2 \cdot \frac{\pi^2}{6}}{(\sigma^{RP})^2 \cdot \frac{\pi^2}{6}} = \left( \frac{\sigma^{SP}}{\sigma^{RP}} \right)^2 = \left( \frac{\beta_e^{RP}}{\beta_e^{SP}} \right)^2 \quad (8)$$

The MNL has however some important disadvantages. The error terms are supposed to be independent and to have an identical distribution (same variance, mean is always zero) for the different alternatives. As a result of this, the alternatives have to fulfil the so-called IIA property: independence from irrelevant alternatives. This can be illustrated by the red-bus blue-bus problem. Assume a situation where private cars and red buses have both a 50% market share. That means the ratio of the probabilities is 1. Now we introduce blue buses in the system. This does not change the ratio of the share of cars and blue buses. But we can expect the ratio of the shares of both flavours of buses also to be unity. That means that private cars, red buses and blue buses would all have a 1/3 market share, which is highly implausible. The unrealistic behaviour of the multinomial logit specification results from the independence assumption, which does probably not hold for the error terms for the buses.

The same phenomenon we described above may happen when choosing between private car technologies. E.g. preferences for diesel and gasoline may be correlated in comparison to electrical cars. This hypothesis is confirmed by e.g. Bunch et al. (1993) and Ramjerdi et al. (1999) attaining a better fit with a nested model.

In the next paragraph we will discuss a generalization of the multinomial logit model in order to allow groups of alternatives to be (more) similar to each other in an unobserved way.

### 3.3. Nested logit

To allow for correlation between preferences for a subset of alternatives, the nested multinomial logit model is applied. A partitioning structure is defined by the researcher by defining subdivisions (nests) in which the alternatives are grouped. For simplicity we will assume a two level structure in the following discussion of the model.

Assume a model with J alternatives partitioned in K nests, denoted  $N_1, \dots, N_K$ . The observed utility of alternative a in nest  $N_b$  is  $V_a$ . The probability of choosing alternative a is then defined as the product of the marginal probability of choosing nest  $N_b$  and the conditional probability of choosing alternative a in nest  $N_b$ :

$$P_a = P_{N_b} \cdot P_{a|N_b} \quad (9)$$

Both the conditional probability of choosing within a nest and the marginal probability of choosing between nests are defined as multinomial logit. For the conditional choice probability of alternative a belonging to nest  $N_b$ , we assume the unobserved utility  $\varepsilon_b$  distributed with variance  $\sigma_b^2 \cdot (\pi^2/6)$ . The conditional choice probability for alternative a in nest  $N_b$  is hence:

$$P_{a|N_b} = \frac{e^{\frac{V_a}{\sigma_b}}}{\sum_{i \in N_b} e^{\frac{V_i}{\sigma_b}}} \quad (10)$$

To define the marginal choice probability of nest  $N_b$ , we need to identify the utility of each nest. This is the expected utility a decision maker receives from the choice among the alternatives in the nest. The correct formula for this utility is:

$$V_{N_b} = \sigma_b \cdot I_b \quad (11)$$

with  $I_b$  the inclusive value of nest  $b$ , defined as:

$$I_b = \ln \sum_{i \in N_b} e^{\frac{V_i}{\sigma_b}} \quad (12)$$

The inclusive values  $I_b$  provide the link between the upper and the lower models.

We assume the unobserved utility  $\varepsilon$  to be distributed with variance  $\sigma^2 \cdot (\pi^2/6)$ . The marginal choice probability of nest  $N_b$  is then:

$$P_{N_b} = \frac{e^{\frac{\sigma_b \cdot I_b}{\sigma}}}{\sum_{i=1}^K e^{\frac{\sigma_i \cdot I_i}{\sigma}}} \quad (13)$$

We can now write the probability of choosing alternative  $a$  as:

$$P_{a \in N_b} = P_{N_b} \cdot P_{a|N_b} = \frac{e^{\frac{\sigma_b \cdot I_b}{\sigma}}}{\sum_{i=1}^K e^{\frac{\sigma_i \cdot I_i}{\sigma}}} \cdot \frac{e^{\frac{V_a}{\sigma_b}}}{e^{I_b}} \quad (14)$$

We define  $\lambda_b$  as:

$$\lambda_b = \frac{\sigma_b}{\sigma} \quad (15)$$

If  $V_a$  is linear in parameters, formula (14) becomes:

$$P_{a \in N_b} = \frac{e^{\lambda_b \cdot I_b}}{\sum_{i=1}^K e^{\lambda_i \cdot I_i}} \cdot \frac{e^{\frac{\beta' \cdot x_a}{\sigma \cdot \lambda_b}}}{e^{I_b}} \quad (16)$$

In formula (16) and (18) we see that the coefficients  $\beta$  are scaled by  $1/\sigma$ . Only the ratio of both can be estimated:  $\beta$  and  $\sigma$  cannot be identified separately. It is common practice to normalise  $\sigma$  to unity, so that it drops from the formulas. Substituting  $\beta/\sigma$  for  $\beta_\varepsilon$  gives:

$$P_{a \in N_b} = \frac{e^{\lambda_b \cdot I_b}}{\sum_{i=1}^K e^{\lambda_i \cdot I_i}} \cdot \frac{e^{\frac{\beta_\varepsilon' \cdot x_a}{\lambda_b}}}{e^{I_b}} \quad (17)$$

with the inclusive value of nest  $N_b$ :

$$I_b = \ln \sum_{i \in N_b} e^{\frac{\beta_e \cdot x_i}{\lambda_b}} \quad (18)$$

The coefficient  $\lambda_k$  is called the log-sum or inclusive value coefficient, and is a measure for the correlation (or the degree of dissimilarities) between the alternatives in nest  $N_k$ , with a smaller value for  $\lambda_k$  meaning more correlation. When all  $\lambda_k$  are between zero and one, the model is consistent with utility maximization. When  $\lambda_k$  is one, the model becomes a multinomial logit model. For  $\lambda_k$  larger than unity, the model has to be tested for utility maximization. For negative values of  $\lambda_k$ , the model is not consistent.

## 4. REVEALED PREFERENCE

In this paragraph we discuss the design and estimation of a revealed preference technology choice model for private cars.

The different technologies included are diesel and gasoline cars. Both of them come in three engine size classes (table 1). The size classes are linked to the activity classes as shown in table 1.

*Table 1: size classification and link to CES-tree (TRE-module in figure 1)*

size class	engine capacity	activity category (CES-tree)
small	< 1400 cc	small
medium	1400 - 2000 cc	large
big	> 2000 cc	large

The choice between the medium and the big engine size class occurs in the technology choice model, whereas the demand for small cars is determined in the CES-tree of the TRE-module (see figure).

In this paragraph we will estimate a choice model for diesel and gasoline technologies of the medium and big size classes. In a next paragraph, we will discuss the extension of the model to small cars, as well as the introduction of hybrid car technologies in the model.

### 4.1. Literature review

For the modelling of market shares of conventional technologies, past studies rely on existing data (revealed preference). Extensive databases providing data on car sales, which can be used to estimate a choice model.

Main drawback of this method is the important correlation between different variables in revealed preference data. This creates a host of difficulties when estimating the choice model. However, revealed preference data represent real-world behaviour, which is a major advantage over stated preference data.

We limit this overview to the models simulating (part of) the European car market. For each study, we discuss the model specification, the database used for estimation of the model (time period covered, geographic coverage) and the resulting model coefficients.

#### 4.1.1. Verboven 1996

Verboven (1996) estimates a nested logit model for private car vehicle type choice for France, Germany, United Kingdom and Belgium, based on revealed preference data (vehicle sales). The

database set was collected by the author and included sales for most car models (512 observations) for 1990. The model was used in a larger model implemented to research international price discrimination in the European car market.

Four technical characteristics as well as country of origin were included as attributes. The technical characteristics that enter the utility formula logarithmically are horsepower, weight, width and height, of which for the last to no significance was found. Several nesting structures were tested for, but most were rejected. The only specification to remain unrejected specified groups to correspond to a marketing based classification and subgroups to country of origin (domestic or foreign).

#### **4.1.2. Verboven 2002**

Verboven (2002) estimates a simple logit model as well as two nested logit models for private car choice in five European markets during 1970-1999. The data set used for estimation covers sales of (nearly) all cars sold in Belgium, France, Germany, Italy and the UK, which results in a total number of 13.000 observations.

The author selects horsepower, fuel inefficiency, with, height, purchase price and a dummy for foreign as car variables in the model.

The simple logit specification resulted in some parameters having an unexpected sign (e.g. a negative horsepower coefficient). For the nested logit specifications, all estimated coefficients have the expected sign. The nesting structure is the same as in Verboven (1996), the difference between the two nested models estimated is in the specification of the coefficient of the inclusive value. For one model, these coefficients were constrained to be the same for all segments and subsegments, whereas for the other model a more flexible specification was estimated, allowing the parameters to vary by (sub)segment.

#### **4.1.3. De Jong 1996**

De Jong (1996) estimates a multinomial logit model for vehicle technology choice as part of a larger model integrating vehicle holding duration, type choice and use. Revealed preference data were used to estimate several nesting structures, of which only one was found to result in acceptable tree coefficients: with separate nests for diesel and non-diesel cars.

Two models were estimated, based on two datasets, one including only make/model combinations and the other covering make/model/age-of-car combinations. The attributes included cover income and cost variables, dummies related to the difference between the previous and the new car and attributes of the vehicle.

The datasets used for estimation covered The Netherlands and were collected by a questionnaire in 1992.

#### **4.1.4. COWI 2002**

A study by COWI (2002) on fiscal measures to reduce CO<sub>2</sub> emissions from new passenger cars includes a car choice model. This model consists of two sub models, one for the private car market and another to calculate the demand for company cars, and was estimated based on a Danish dataset.

The private car model is estimated for 24 types of car users, depending on the car buyer's family type and income class. The variables that were included:

- Price of the car (inclusive tax and VAT)
- Running cost (fuel and circulation tax)
- Size of the car (length)
- Luggage capacity
- Acceleration

The company car model has six "agents", depending on sector and whether the company manager or the employee decides which car to buy. The variables included in the model are:

- Cost of acquisition (Personal taxation rules)
- Running cost (Personal taxation rules)
- Size of the car (length)
- Luggage capacity
- Acceleration
- Horse Power

The private/company split is modelled by a binary discrete choice model.

#### **4.1.5. Conclusion**

The models that have been designed in past studies were estimated on extensive datasets carrying disaggregate sales data for a limited number of countries and in most cases also covering a limited time period.

Most models include car variables covering:

- performance: power, weight or acceleration;
- cost: purchase cost and fuel cost;
- size: dimension of the car, including luggage space.

Both nested logit and standard multinomial logit modelling frameworks have been applied. The nested logit specification seems to be more appropriate, with nests based on marketing classifications or fuels.

## **4.2. Model specification**

We decided not to implement a literature based model, considering:

- in TREMOVE we want to forecast market shares based on aggregate car data rather than disaggregate, a model estimated making use of a dataset covering aggregate sales data can overcome this problem;
- although the marketing based classification will probably allow a more realistic classification for modelling car purchase, we do not include this classification in TREMOVE mainly since it does not relate to classification in common EU emission calculation models; as such we cannot use such a classification as a base for nested logit model specification.

The specification of the car choice model proposed here does not differ fundamentally from what has been applied in Auto-Oil II. Special attention has been paid to the car sales dataset used for the estimation of the model coefficients.

We decided to include the following car parameters:

- Acceleration
- Lifetime Cost

We also included the level of income of the car buyer.

The construction of a dataset for model estimation, including values for these parameters as well as the number of cars sold is discussed beyond.

As discussed earlier (see table 1), we need two (independent) choice models: one for medium and big technologies (large), and a second for small private car technologies (small).

### **4.3. Model estimation**

The model for medium and big technologies is estimated making use of existing revealed preference data. For small technologies, this is impossible as up to 2002 only one technology (gasoline) was available in this size class. We will discuss in a next paragraph how we design a choice model for the small engine size class, as well as how we account for hybrid cars in both models.

The model for medium and big cars was estimated making use of lifetime cost and acceleration data. We also added GDP per capita as a proxy for household income.

The data used for estimation were based on statistics provided by COWI . Aggregated quarterly data were used:

- vehicle purchase cost (in €2000);
- registration taxes (in €2000);
- ownership taxes (in €2000);
- fuel efficiency (in l/km);
- fuel cost (in €2000/l);
- acceleration (in s from 0 to 100 km/h).

The cost factors (including fuel efficiency) enter the model through the lifetime cost which is calculated as described elsewhere in the documentation.

Quarterly data were available for all EU15 countries (plus Norway and Switzerland) for 1999 and 2000 (last quarter is missing for some countries and only partially covered for others).

GDP per inhabitant (in constant prices) has been used as a proxy for household income. Time series have been taken from Eurostat's Newcronos database (table q\_gdp\_k). Quarterly data were available for most countries for the entire time period. For the missing countries we filled in the data by using annual GDP-figures, or dividing overall GDP figures (quarterly) by population statistics (annually). For the UK the 2000 quarters were missing, this was solved by applying the evolution in total GDP (quarterly) to the figure for GDP per inhabitant available for the 4th quarter of 1999 (hence assuming a constant population).

The model is specified as nested logit, where diesel and gasoline are in the same nest for medium as well as big engine size classes (see figure 2).

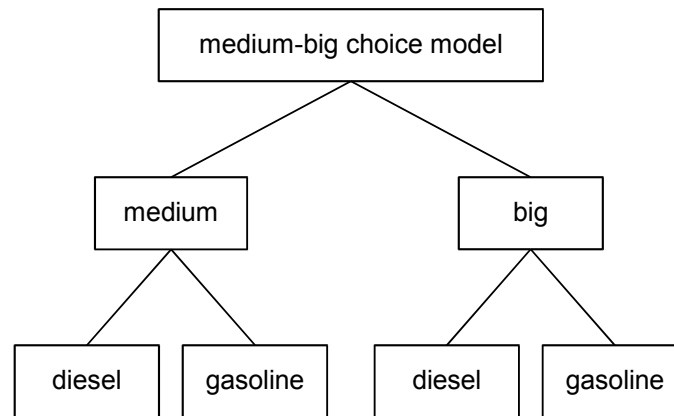


Figure 2: Structure of nested logit model used for estimation

At a first stage we estimated a model without country specific dummies. The estimation results are in table 2. The model has been estimated using actual sales numbers as frequency weight for the observations.

Table 2: Coefficients of model without dummies

parameter	unit	coefficient
lifetime cost / GDP per inhabitant	LFC in €2000/km; GDP per inhabitant in 10.000 €95	-0,671
acceleration	s from 0 to 100 km/h	-0,0272
big	dummy	-2,39
income * big	€95	0,000151
inclusive value medium		0,0832
inclusive value big		0,325

Note that the lifetime cost enters the model combined with GDP per inhabitant. This results in a more realistic model behaviour. A similar relative cost variable has been used by e.g. Brownstone and Train (1999).

When we simulate technology shares and compare them to observations, the difference for the medium-big shares are generally within 10% point. Only for Denmark and Norway we observe difference between modelled and observed shares for medium versus big of about 15% point.

The differences between observations and simulation are however larger for diesel versus gasoline. Here we find difference of more than 20 % point for more than half of the observations. This seems unacceptable.

In order to better capture differences in purchase behaviour between countries, country-specific dummies for diesel-cars are introduced in the model. The introduction of dummies is expected to result in a better fit for the diesel-gasoline shares (forecast to observation). Also the forecast of shares medium-big may further increase.

The coefficients for the model after the dummies are introduced are given in table 3 and table 4. Note that the relative lifetime cost coefficient has been estimated making use of quarterly data, therefore a factor 4 has to be added in the final model where annual GDP projections will be used. Similarly, the coefficient for income \* big has to be divided by four when annual GDP data is used.

*Table 3: Coefficients of generic parameters and inclusive value*

parameter	unit	coefficient
lifetime cost / quarterly GDP per inhabitant	LFC in €2000/km; GDP per inhabitant in 10.000 €95	-0,4585391
acceleration	s from 0 to 100 km/h	-0,045565
big	dummy	-2,510469
income * big	€95	0,0001738
inclusive value medium		0,1100573
inclusive value big		0,156294

*Table 4: Coefficients of dummies for diesel cars*

country	coefficient
Austria	0,1798926
Belgium	0,1938844
Switzerland	-0,1913287
Denmark	-0,1285975
Finland	-0,0787181
France	0,1537918
Germany	-0,0358628
Ireland	-0,0129617
Italy	0,0912006
Netherlands	0,0153049
Norway	-0,1646315
Spain	0,1423761
Sweden	-0,1749
United Kingdom	-0,0564373
Luxemburg	0,1335705
Portugal	0,0863666

Again comparing observed to simulated diesel shares, we see now that both shares are much closer to each other (as expected).

## 5. INTEGRATION OF REVEALED PREFERENCE AND STATED PREFERENCE MODEL

In the previous paragraph we described the design and estimation of a stated preference discrete choice model for conventional technologies. Annex I describes design and estimation of a choice model for alternative technologies based on stated preference data collected through a survey. In this paragraph we will discuss the integration of both models into one powerful tool that allows us to simulate the private car technology market.

### 5.1. Stated preference choice model

A nested logit choice model has been estimated based on stated preference data. We here limit the discussion to a representation of the model structure (see figure 3) and coefficients (see table 5). For an extended overview of the model design and estimation methodology we refer to annex I.



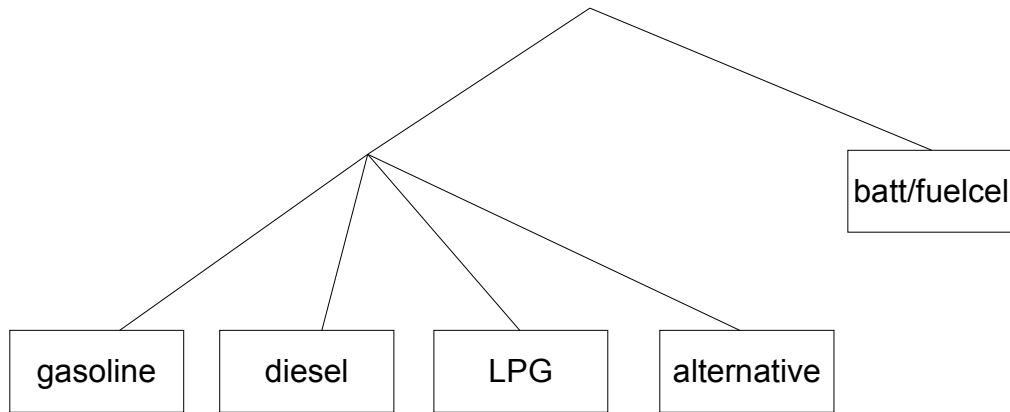


Figure 3: Stated Preference nested logit model structure

Table 5: Stated Preference nested logit model structure

Variable Description	Unit	SP nested logit	
		Coefficient	P
Lifetime cost	€/vkm	-5,399	0
Available luggage space	%	0,7443	0
Emissions	%	-0,5624	0,001
Range	100 km	0,2081	0
Diesel	dummy	0,2902	0
LPG	dummy	-0,4378	0,003
Alternative fuel	dummy	-0,1273	0,259
Fuelcell	dummy	-0,4670	0,030
Battery hybrid	dummy	-0,7206	0,001
Inclusive value ice		0,6204	0
Log likelihood		-1763,3508	

If we compare the stated preference (SP) model (table 5) and the revealed preference (RP) model (table 3 and table 4), we see that both models include the lifetime cost variable. In the RP model this variable however enters in a relative way, divided by the GDP. To allow for a comparison of both models, we rescale the lifetime cost variable in the SP model by multiplying it with the Belgian GDP at the time of the survey. We provide an overview of both the SP and the RP model (for Belgium) using the relative lifetime cost variable in table 6.

Table 6: SP and RP model coefficients

Variable Description	Unit	SP nested logit Coefficient	RP nested logit Coefficient
Lifetime cost / quarterly GDP per inhabitant	LFC in €/vkm; GDP in 1e4 €	-3,284	-0,4585391
Available luggage space	%	0,7443	
Emissions	%	-0,5624	
Range	100 km	0,2081	
Diesel	dummy	0,2902	0,1938844
LPG	dummy	-0,4378	
Alternative fuel	dummy	-0,1273	
Fuelcell	dummy	-0,4670	
Battery hybrid	dummy	-0,7206	
Acceleration 0-100 km/h	s	-0,0126	-0,045565
quarterly GDP per inhabitant * large	1e4 €		1,738
Large (+2l)	dummy		-2,510469
Inclusive value ice		0,6204	
Inclusive value medium			0,1100573
Inclusive value large			0,156294
Log likelihood		-1763,3508	

## 5.2. Comparison of SP and RP model

Table 6 provides an overview of both the RP and the SP model. When comparing both models, we should however remind the reader that the coefficients do include a scaling factor that is

related to the variance in unobserved utility of the decision maker (see 3.2). This scale factor can differ over both models. Although it is impossible to estimate the scale factor separately from the model coefficients, we can get an indication of the relative dimension of scale factors of different models.

The conditional choice between diesel and gasoline occurs in both models at the lowest level. For the SP model, the conditional choice probability is:

$$P_{diesel|N_{ice}^{SP}} = \frac{e^{\frac{\beta_e^{SP} \cdot x_{diesel}}{\lambda_{ice}^{SP}}}}{e^{I_i}} \quad (19)$$

For the RP model, the conditional choice probability in the medium nest is:

$$P_{diesel|N_{medium}^{RP}} = \frac{e^{\frac{\beta_e^{RP} \cdot x_{diesel}}{\lambda_{medium}^{RP}}}}{e^{I_i}} \quad (20)$$

To compare the variances in unobserved utility between both conditional choice models, we cannot apply formula (8) straightforwardly. We should remind here that  $\beta_e$  in the nested logit equals to the original  $\beta$  divided by the sigma associated to the upper model (marginal choice between nests):

$$\beta_e^{SP} = \frac{\beta^{SP}}{\sigma^{SP}} \quad (21)$$

With  $\lambda_{ice}^{SP} = \sigma_{ice}^{SP} / \sigma^{SP}$  (see formula (15)), this becomes:

$$\sigma_{ice}^{SP} = \frac{\beta^{SP}}{\beta_e^{SP}} \cdot \lambda_{ice}^{SP} \quad (22)$$

Similarly, for the conditional choice in the medium nest of the RP model:

$$\sigma_{medium}^{RP} = \frac{\beta^{RP}}{\beta_e^{RP}} \cdot \lambda_{medium}^{RP} \quad (23)$$

The ratio of variance in unobserved utility is then (see also (8)):

$$k = \left( \frac{\sigma_{ice}^{SP}}{\sigma_{medium}^{RP}} \right)^2 = \left( \frac{\lambda_{ice}^{SP}}{\beta_e^{SP}} \cdot \frac{\beta_e^{RP}}{\lambda_{medium}^{RP}} \right)^2 \quad (24)$$

Using the relative lifetime cost coefficient of the two models, we get:

$$k = \left( \frac{0,6204}{-3,284} \cdot \frac{-0,4585391}{0,1100573} \right)^2 = (0,787)^2 = 0,62 \quad (25)$$

This means that the variance in unobserved utility for the conditional choice between diesel and gasoline is lower in the stated preference than in the revealed preference dataset.

### 5.3. Integration of the RP and SP models

In the previous paragraph we showed how the RP and the SP estimated model differ in variance in unobserved utility. Furthermore, the nested logit structure is also different for both models. To

integrate both models, we will propose a unified nesting structure and variance in unobserved utility.

The requirements for the new nested structure are:

- consistent with utility maximisation
- when alternatives that are not present in one of both original models (SP or RP) are not available for choice in the integrated model (or their observed utility is minus infinity), the integrated model should behave identically to the original model

The first requirement comes down to all inclusive value coefficients having a value between zero and unity.

The integrated model (IG) proposed in figure 4 fullfills both requirements, as we will show next.

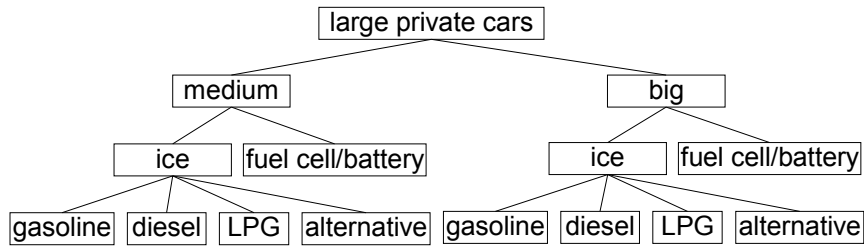


Figure 4: Structure of integrated nested logit model

The choice probability for e.g. a medium diesel car is:

$$P_{mediumdiesel} = \frac{e^{\lambda_{medium}^{IG} \cdot I_{medium}}}{e^{\lambda_{medium}^{IG} \cdot I_{medium}} + e^{\lambda_{big}^{IG} \cdot I_{big}}} \cdot \frac{e^{\lambda_{ice}^{IG} \cdot I_{icemedium}}}{e^{I_{medium}}} \cdot \frac{e^{\frac{\beta_e^{IG} \cdot x_{mediumdiesel}}{\lambda_{ice}^{IG} \cdot \lambda_{medium}^{IG}}}}{e^{I_{icemedium}}} \quad (26)$$

with:

$$I_{icemedium} = \ln \left( e^{\frac{\beta_e^{IG} \cdot x_{gasoline}}{\lambda_{ice}^{IG} \cdot \lambda_{medium}^{IG}}} + e^{\frac{\beta_e^{IG} \cdot x_{diesel}}{\lambda_{ice}^{IG} \cdot \lambda_{medium}^{IG}}} + e^{\frac{\beta_e^{IG} \cdot x_{LPG}}{\lambda_{ice}^{IG} \cdot \lambda_{medium}^{IG}}} + e^{\frac{\beta_e^{IG} \cdot x_{alternative}}{\lambda_{ice}^{IG} \cdot \lambda_{medium}^{IG}}} \right) \quad (27)$$

$$I_{icebig} = \ln \left( e^{\frac{\beta_e^{IG} \cdot x_{gasoline}}{\lambda_{ice}^{IG} \cdot \lambda_{big}^{IG}}} + e^{\frac{\beta_e^{IG} \cdot x_{diesel}}{\lambda_{ice}^{IG} \cdot \lambda_{big}^{IG}}} + e^{\frac{\beta_e^{IG} \cdot x_{LPG}}{\lambda_{ice}^{IG} \cdot \lambda_{big}^{IG}}} + e^{\frac{\beta_e^{IG} \cdot x_{alternative}}{\lambda_{ice}^{IG} \cdot \lambda_{big}^{IG}}} \right) \quad (28)$$

$$I_{medium} = \ln \left( e^{\lambda_{ice}^{IG} \cdot I_{icemedium}} + e^{\frac{\beta_e^{IG} \cdot x_{etc}}{\lambda_{medium}^{IG}}} \right) \quad (29)$$

$$I_{big} = \ln \left( e^{\lambda_{ice}^{IG} \cdot I_{icebig}} + e^{\frac{\beta_e^{IG} \cdot x_{etc}}{\lambda_{big}^{IG}}} \right) \quad (30)$$

The inclusive value coefficients are defined such that we respect the original modelling structures:

$$\lambda_{ice}^{IG} = \lambda_{ice}^{SP} = 0,62036 \quad (31)$$

$$\lambda_{medium}^{RP} = \lambda_{ice}^{IG} \cdot \lambda_{medium}^{IG} \Rightarrow \lambda_{medium}^{IG} = \frac{\lambda_{medium}^{RP}}{\lambda_{ice}^{IG}} = \frac{0,1100573}{0,62036} = 0,17741 \quad (32)$$

$$\lambda_{big}^{RP} = \lambda_{ice}^{IG} \cdot \lambda_{big}^{IG} \Rightarrow \lambda_{big}^{IG} = \frac{\lambda_{big}^{RP}}{\lambda_{ice}^{IG}} = \frac{0,156294}{0,62036} = 0,25194 \quad (33)$$

We decide to use the variance level of the RP model, as this is based on real world behaviour. For the RP model coefficients, no scaling needs to be applied to them to enter the integrated model.

The coefficients of the SP model need to be scaled with the ratio of the relative lifetime cost coefficients:

$$\frac{\beta_e^{RP}}{\beta_e^{SP}} = \frac{-0,4585391}{-3,284} = 0,1396 \quad (34)$$

The final integrated model is in table 7.

Table 7: Integrated model coefficients

Variable	Unit	integrated model
Description		Coefficient
Lifetime cost / quarterly GDP per inhabitant	LFC in €/vkm; GDP in 1e4 €	-0,4585391
Available luggage space	%	0,1039
Emissions	%	-0,07853
Range	100 km	0,02906
Diesel	dummy	0,1938844
LPG	dummy	-0,06112
Fuelcell	dummy	-0,0652013
Battery	dummy	-0,1006130
Acceleration 0-100 km/h	s	-0,045565
quarterly GDP per inhabitant * large	1e4 €	1,738
Large (+2l)	dummy	-2,510469
Inclusive value ice		0,62036
Inclusive value medium		0,17741
Inclusive value large		0,25194

## 6. EXTENSION OF THE MODEL TO INCLUDE HYBRIDS

In order to allow for the simulation of hybrid technologies' shares, we further extend the model structure. For each conventional technology (apart from LPG) we introduce an hybrid equivalent. This is done by adding a new level to the nested structure of the integrated model (see figure 5).

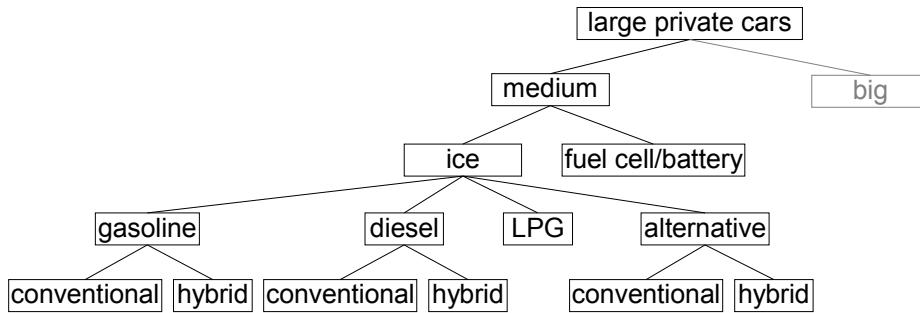


Figure 5: Structure of extended nested logit model for medium technologies

The inclusive value coefficient of the nests at the lowest level ( $\lambda_{\text{hybrid}}^{IG}$ ) has been assumed to be 0,2. This means that the probabilities of the conditional choice between hybrid or conventional make of a given technology are rather sensitive to the differences between both makes. Sensitivity analysis has shown that the value of 0,2 does lead to acceptable results.

The choice probability for a medium hybrid diesel car then becomes (see (26))

$$P_{\text{mediumdieselhybrid}} = \frac{e^{\lambda_{\text{medium}}^{IG} \cdot I_{\text{medium}}}}{e^{\lambda_{\text{medium}}^{IG} \cdot I_{\text{medium}}} + e^{\lambda_{\text{big}}^{IG} \cdot I_{\text{big}}}} \cdot \frac{e^{\lambda_{\text{ice}}^{IG} \cdot I_{\text{icemedium}}}}{e^{I_{\text{medium}}}} \cdot \frac{e^{\lambda_{\text{hybrid}}^{IG} \cdot I_{\text{dieselmedium}}}}{e^{I_{\text{icemedium}}}} \cdot \frac{e^{\lambda_{\text{hybrid}}^{IG} \cdot x_{\text{mediumdieselhybrid}}}}{e^{\lambda_{\text{hybrid}}^{IG} \cdot \lambda_{\text{ice}}^{IG} \cdot \lambda_{\text{medium}}^{IG}}} \quad (35)$$

## 7. MODEL FOR SMALL CARS

A small car model is required to allow the modelling of the choice between small cars. We apply the same coefficients and modelling structure that have been used for the medium-big model.

For the inclusive value coefficient of the size nest, we assume a value of 0,1 (which is in line with the values used for medium and big). Note that this coefficient is a general scaling factor rather than a real nesting coefficient, as this model is limited to the small size category only. This can be shown by calculating the choice probability for a small hybrid diesel car:

$$P_{smalldieselhybrid} = \frac{e^{\lambda_{small}^{IG} \cdot I_{small}} \cdot e^{\lambda_{ice}^{IG} \cdot I_{icesmall}} \cdot e^{\lambda_{hybrid}^{IG} \cdot I_{dieselsmall}} \cdot e^{\frac{\beta_e^{IG} \cdot x_{smalldieselhybrid}}{\lambda_{hybrid}^{IG} \cdot \lambda_{ice}^{IG} \cdot \lambda_{small}^{IG}}}}{e^{\lambda_{small}^{IG} \cdot I_{small}} \cdot e^{I_{small}} \cdot e^{I_{icesmall}} \cdot e^{I_{icesmall}}} \quad (36)$$

$$\Rightarrow P_{smalldieselhybrid} = \frac{e^{\lambda_{ice}^{IG} \cdot I_{icesmall}} \cdot e^{\lambda_{hybrid}^{IG} \cdot I_{dieselsmall}} \cdot e^{\frac{\beta_e^{IG} \cdot x_{smalldieselhybrid}}{\lambda_{hybrid}^{IG} \cdot \lambda_{ice}^{IG} \cdot \lambda_{small}^{IG}}}}{e^{I_{small}} \cdot e^{I_{icesmall}} \cdot e^{I_{icesmall}}} \quad (37)$$

In (37),  $\lambda_{small}^{IG}$  only enters the formula as a scale factor for  $\beta_e^{IG}$ .

For the diesel dummy, we assume a value -0,1 in the small car technologies model, in order to get realistic diesel shares compared to 2002 observation figures.

## REFERENCES

- The European Commission; Standard & Poor's DRI; KULeuven (1999) The AOPII Cost-effectiveness Study - Part II: The REMOVE Model (downloadable from [http://europa.eu.int/comm/environment/enveco/auto-oil/aopces\\_part2.pdf](http://europa.eu.int/comm/environment/enveco/auto-oil/aopces_part2.pdf))
- Ben-Akiva, M.; Lerman, S.R. (1985) Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand, London
- Train, K. (1990) Qualitative Choice Analysis, London
- Anderson, S.P.; de Palma, A.; Thisse, J.-F. (1992) Discrete Choice Theory of Product Differentiation, London
- Train, K.E. (2003) Discrete Choice Methods with Simulation, Berkeley
- Heiss, F. (2002) Specification(s) of Nested Logit Models, Discussion Paper Nr. 16-02 (Downloadable from website [http://www.mea.uni-mannheim.de/mea\\_neu/pages/files/nopage\\_pubs/dp16.pdf](http://www.mea.uni-mannheim.de/mea_neu/pages/files/nopage_pubs/dp16.pdf))
- Ramjerdi, F.; Rand, L. (1999) Demand for clean fuel car in Norway, Presented at the 2nd KFB-Research Conference, Lund, Sweden, 7-8 June
- Bunch, D.S.; Bradley, M.; Golob, T.F.; Kitamura, R. (1993) Demand for clean-fuel vehicles in California: a discrete-choice stated preference pilot project, Transportation research A, 27A, pp. 237-253
- Verboven, F. (1996) International price discrimination in the European car market, RAND Journal of Economics, Vol. 27, No. 2, pp. 240-268
- Verboven (2002) Quantitative Study to Define the Relevant Market in the Passenger Car Sector, Final Report (Downloadable from website [http://europa.eu.int/comm/competition/car\\_sector/distribution/eval\\_reg\\_1475\\_95/studies/study01.pdf](http://europa.eu.int/comm/competition/car_sector/distribution/eval_reg_1475_95/studies/study01.pdf))
- COWI (2002) Fiscal Measures to Reduce CO2 Emissions from New Passenger Cars, Final Report (Downloadable from website [http://europa.eu.int/comm/environment/co2/cowi\\_finalreport.pdf](http://europa.eu.int/comm/environment/co2/cowi_finalreport.pdf))
- De Jong, G. (1996) A disaggregate model system of vehicle holding duration, type choice and use, Transportation Research B, Vol. 30, No. 4, pp. 263-276
- Brownstone, D., Train, K. (1999) Forecasting new product penetration with flexible substitution patterns, Journal of Econometrics, 89, pp. 109-129

(Contract CP/67/431)

# **Duurzaamheidsvaluatie van technologieën en modi in de transportsector in België (SUSATRANS)**

**Annex V: Emissiemodel TEMAT 2004 voor wegverkeer - validatie**

**I. De Vlieger en L. Schrooten**

**Studie gefinancierd door Federaal Wetenschapsbeleid  
PODO II - Deel 1 – Duurzame productie en consumptiepatronen**

**2005/IMS/annex**



**VITO**

**Juli 2005**





# INHOUDSTABEL

<b>1.</b>	<b>Situering</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>Beschrijving TEMAT</b>	<b>1</b>
2.1.	<i>TEMAT 2000</i>	1
2.2.	<i>TEMAT 2004</i>	2
<b>3.</b>	<b>Tweeledige validatie</b>	<b>3</b>
3.1.	<i>Afstemming van het aantal voertuigkilometer met FOD Mobiliteit &amp; Verkeer</i>	3
3.2.	<i>Toetsing van het berekend brandstofverbruik aan nationale verkoopscijfers</i>	5
<b>4.</b>	<b>Vlootemissiefactoren 1990-2020</b>	<b>6</b>
4.1.	<i>CO<sub>2</sub> en gereglementeerde pollutanten</i>	6
4.2.	<i>Niet-gereglementeerde pollutent N<sub>2</sub>O (lachgas)</i>	6
<b>5.</b>	<b>Vergelijking emissies TEMAT 2004 met TEMAT 2000</b>	<b>9</b>
5.1.	<i>CO<sub>2</sub></i>	9
5.2.	<i>NO<sub>x</sub> en PM</i>	10
5.3.	<i>CO en VOC</i>	11
	<b>Referenties</b>	<b>12</b>



## 1. SITUERING

In het kader van het SUSATRANS-project heeft VITO haar emissiemodel voor wegverkeer, (TEMAT) geactualiseerd, uitgebreid en gevalideerd. In het eindrapport van SUSATRANS hebben we de opbouw, actualisatie en uitbreiding in het Engels beschreven.

In deze annex geven we:

- een Nederlandse beschrijving van TEMAT;
- een toelichting bij de validatie van het TEMAT 2004 model;
- een reeks vlootemissiefactoren voor de periode 1990-2020;
- een vergelijking van de emissieresultaten van TEMAT 2004 met vroegere VITO berekeningen uitgevoerd in PODO I programma [1].

## 2. BESCHRIJVING TEMAT

In deze sectie beschrijven we kort de historiek en aanpak van het emissiemodel TEMAT (Transport Emission Model to Analyse (non-) Technological measures).

### 2.1. TEMAT 2000

In 2000 ontwikkelde VITO het emissiemodel TEMAT [2, 3]. TEMAT is verwant aan de COPERT emissiemodellering [4]. De basisformule voor het bepalen van emissies door transport bestaat uit drie hoofdparameters:

$$\text{Emissie/jaar} = \text{aantal voertuigen} \times \text{emissiefactor} \times \text{activiteit/voertuig/jaar}$$

$$[\text{aantal}] \qquad \qquad \qquad [\text{g/km}] \qquad \qquad \qquad [\text{km}/(\text{voertuig}*\text{jaar})]$$

TEMAT bevat zowel historische als toekomstige voertuigenvloten. De vervanging van de voertuigenvloot gebeurt op basis van de historische vloot, overlevingscurven en jaarkilometrage per voertuigtype, en de toekomstige mobiliteitsvraag.

De combinatie van gedetailleerde gegevens over de voertuigenvloot, jaarkilometrages, verkeerssituatie en specifiek brandstofverbruik en emissiefactoren resulteren in een totale energieverbruik en emissies. De gegevens kunnen eenvoudig verwerkt worden, om te voldoen aan specifieke vragen

Snelheidsafhankelijke emissiefuncties worden angewend, zoals gerapporteerd in MEET en COPERT III [4, 5]. De uiteindelijke emissiefactoren verschillen naargelang het kalenderjaar, brandstoftype, voertuigcategorie, leeftijd van het voertuig, emissienorm, wegtype, verkeerssituatie, en cilinderinhoud, grootteklasse of tonklasse.

We onderscheiden vijf hoofdklassen van voertuigen: personenwagens (inclusief minibussen), lichte vrachtwagens (Light Duty Freight), bussen, zware vrachtwagens en gemotoriseerde tweewielers. Naast de klassieke brandstoffen (benzine, diesel en LPG (Liquefied Natural Gas)), bevat TEMAT 2000 enkele alternatieve brandstoffen i.e.: CNG (compressed natural gas), elektrische, hybride, brandstof methanol, waterstof en biodiesel.

TEMAT 2000 berekent de emissies voor CO (koolstofmonoxide), CO<sub>2</sub> (koolstofdioxide), NO<sub>x</sub> (stikstofoxides), VOC (vluchtige organische stoffen), PM (particulate matter, deeltjes), SO<sub>2</sub> (zwaveldioxide) en Pb (lood). Drie wegtypes worden onderscheiden: stedelijk, landelijk en autosnelweg. Verder is er een onderscheid tussen vloot en gestremd (druk) verkeer. Al deze parameters kunnen uitgebreid worden naargelang de noden.

TEMAT kan gebruikt worden voor het berekenen van jaarlijkse emissies door transport op regionale en nationale schaal. Het is tevens een databank die input en output gegevens op gedetailleerde of synthetische wijze kan weergeven.

## 2.2. TEMAT 2004

In het kader van het SUSATRANS –project heeft VITO haar emissiemodel voor wegtransport uitgebreid, geactualiseerd en gevalideerd. Dit resulteerde in TEMAT 2004 met een tijdshorizon tot en met 2020 [6].

Uitbreiding van de voertuigenvloot:

- kleine diesel wagens (cc < 1,4 liter);
- herverdeling van de zware vrachtwagens over de verschillende gewichtsklassen. VITO heeft dit gedaan op basis van nationale verkeerstellingen en eigen verkeerstellingen [7, 8];
- bijstellingen inzake alternatieve motorbrandstoffen en –technologieën (cfr. tabel 12 en tabel 13 in het SUSATRANS eindrapport).

Nieuwe polluenten:

- broeikasgassen: methaan (CH<sub>4</sub>) en distikstofoxide of lachgas (N<sub>2</sub>O) [9];
- PM voor niet-diesel voertuigen [10, 11, 12, 6] ;
- afzonderlijke NMVOC (niet-methaan VOC) componenten voor benzine, diesel en LPG [9].

Actualisatie van voertuigenvloot:

- historische vloot van 2000 tot en met 2003 [13];
- de mogelijkheid voor de introductie van alternatieve motorbrandstoffen (cfr. tabel 12 en tabel 13 in het SUSATRANS eindrapport).

Actualisatie van activiteitsgegevens:

- 1990-2003 gegevens inzake totale activiteit en verdeling over de verschillende voertuigcategorieën [14];
- afstemming van jaarkilometrages met de laatst beschikbare statistieken [15].

Bijstelling van emissiefuncties/factoren:

- NO<sub>x</sub> en PM klassieke brandstoffen[16];
- emissiefactoren voor alternatieve motorvoertuigen [6];
- emissies tijdens de productie van brandstoffen [6].

### **3. TWEELEDIGE VALIDATIE**

De validatie van TEMAT gebeurde in twee stappen:

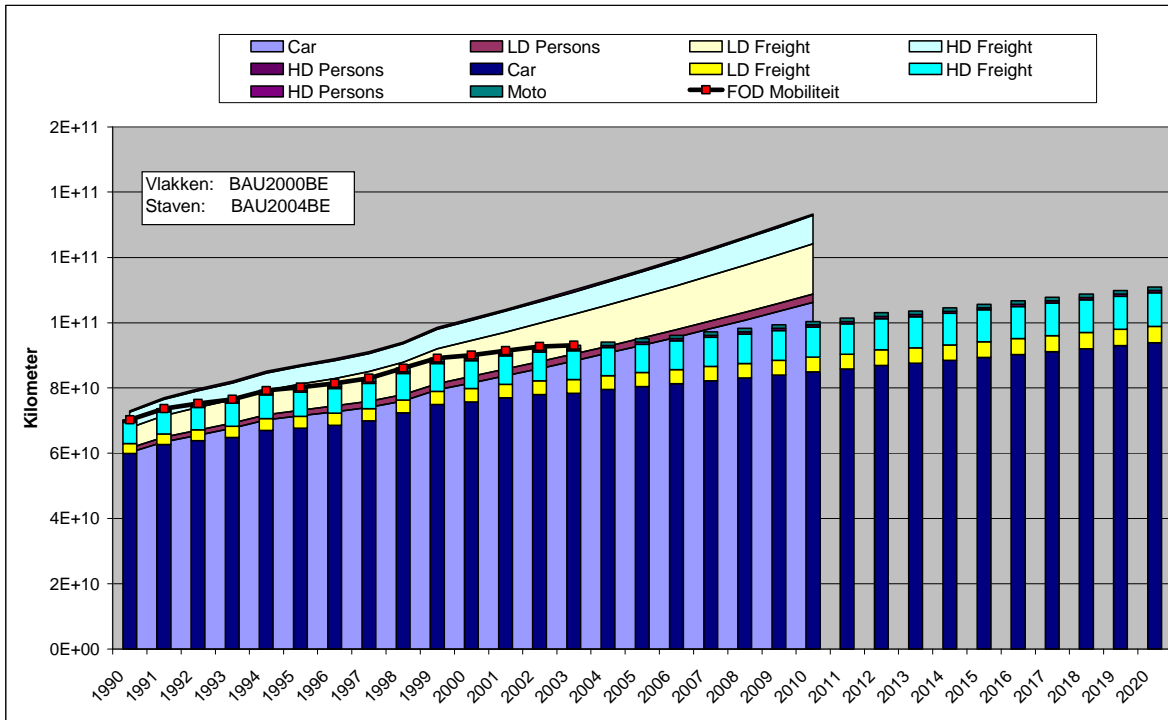
- afstemming van het aantal voertuigkilometers met de cijfers van de FOD Mobiliteit;
- toetsing van onze berekende verbruikscijfers met de nationale verkoopscijfers gerapporteerd door FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie.

Hieronder bespreken we achtereenvolgens deze beide stappen van het validatieproces.

#### **3.1. Afstemming van het aantal voertuigkilometer met FOD Mobiliteit & Verkeer**

In 2004 was er overleg eerst tussen VITO en het Vlaamse Gewest en vervolgens met de drie gewesten over de kwaliteit en de bruikbaarheid van de emissieresultaten uit TEMAT. Dit overleg resulteerde in de gemeenschappelijke beslissing om voor het aantal voertuigkilometers de cijfers van de FOD Mobiliteit over te nemen voor het TEMAT-model.

Figuur 1 toont het verloop van het totaal aantal gereden voertuigkilometer in België zoals gerapporteerd door de FOD Mobiliteit (zie lijn) voor de jaren 1990 t.e.m. 2003. Tevens worden het aantal voertuigkilometers weergegeven zoals gebruikt binnen het SUSATRANS project en aangeduid met BAU2004BE (zie “staven” in Figuur 1). De voertuigkilometers gebruikt door VITO in PODO I worden aangeduid met BAU2000BE (zie “vlakken” in Figuur 1)



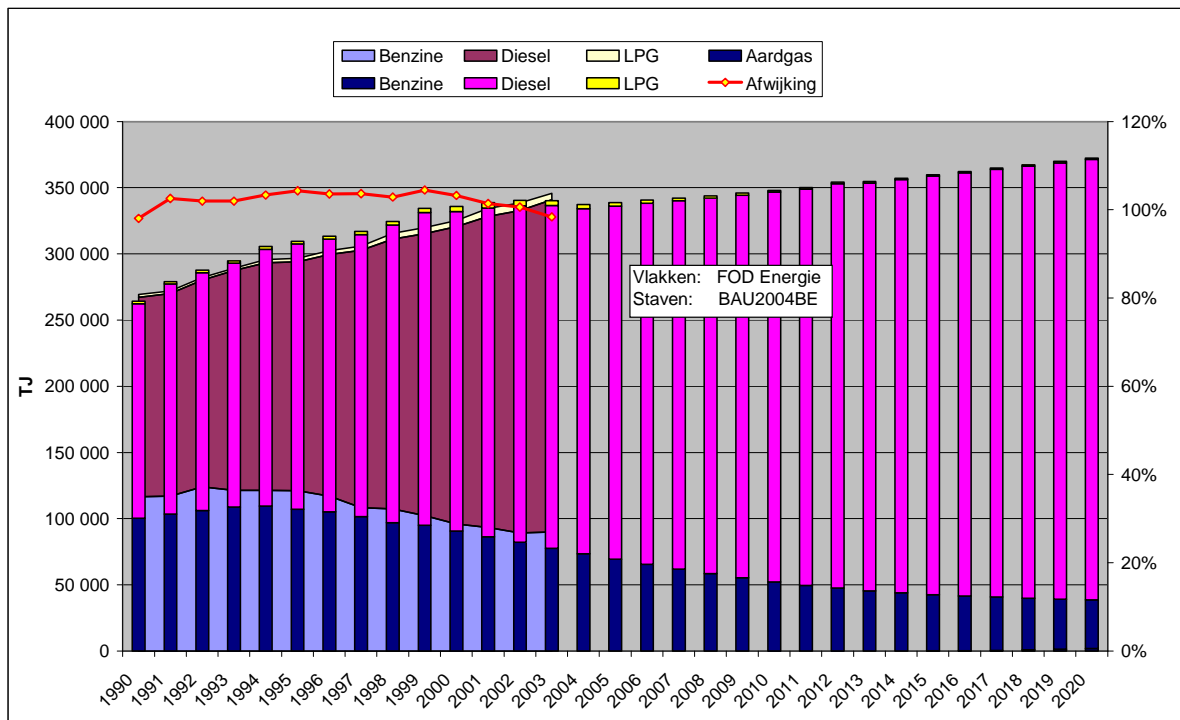
*Figuur 1: evolutie van het totaal aantal gereden voertuigkilometer in België volgens verschillende bronnen*

Figuur 1 toont dat voor de historische jaren 1990-2003 de totale voertuigkilometers in SUSATRANS (TEMAT\_BAU2004BE) overeenstemmen met de cijfers van de FOD Mobiliteit [17]. Deze cijfers liggen lager dan de voertuigkilometers gebruikt in PODO I (TEMAT\_BAU2000BE).

In PODO I vermenigvuldigde VITO het aantal voertuigen opgesplitst per voertuigcategorie met het jaarlijks aantal afgelegde kilometer. Voor personenwagens kwam het jaarkilometrage voor 1994 uit de enquête Verplaatsingsgedrag Vlaanderen en een vaste jaarlijkse groei met 0,5 %. Voor bussen van het openbaar vervoer werden cijfers van De Lijn overgenomen. Voor coaches werden jaarkilometrages zoals gerapporteerd door het Instituut voor Coaches en Bussen (ICB) gebruikt. Voor de overige voertuigcategorieën had VITO een inschatting gemaakt op basis van cijfers uit de literatuur.

### 3.2. Toetsing van het berekend brandstofverbruik aan nationale verkoopsijfers

Figuur 2 vergelijkt het berekend brandstofverbruik in SUSATRANS (TEMAT\_BAU2004BE, “staven” in Figuur 2) met de officiële verkoopsijfers van de FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie (“vlakken” in Figuur 2).



*Figuur 2: vergelijking berekend brandstofverbruik door wegverkeer met de officiële verkoopsijfers*

Figuur 2 leert dat:

- Het totale brandstofverbruik per jaar berekend in SUSATRANS (TEMAT\_BAU2004BE) ligt gemiddeld gezien 2 à 3 % hoger dan deze van FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie;
- TEMAT geeft lagere cijfers voor benzine, maar wel een min of meer constante verhouding;
- TEMAT resulteert in opmerkelijk meer dieselverbruik;
- Het verschil tussen TEMAT en FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie wordt na 1999 kleiner en dit is nog meer uitgesproken voor 2003.

Deze bevindingen hebben we overgemaakt aan Xavier Dumont (FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie). Volgens hem en VITO zijn de verschillen als volgt te verklaren:

- TEMAT meer diesel dan MEZ: tanken in Luxemburg en Nederland;
- Afzwakking van het verschil vanaf 2000: Fapetro doet controles in verband met de kwaliteit van de brandstoffen aan de pomp. Sinds 1/9/2002 is Fapetro begonnen met controles aan pompen voor privé gebruik: oa. busmaatschappijen. Fapetro gaat die controles nog uitbreiden en werkt aan een databank met deze privé gebruikers. In de toekomst zullen de cijfers van TEMAT en MEZ nog verder naar elkaar groeien;
- TEMAT minder benzine dan MEZ: voornamelijk tankers uit Noord Frankrijk en Nederland. Ook klein deel 'off road' (zoals grasmaaiers). Verder bevatten de cijfers van MEZ de verbruiken door militaire mobiele werktuigen.

## 4. VLOOTEMISSIEFACTOREN 1990-2020

In deze sectie geven we de vlootemissiefactoren weer voor de verschillende voertuigcategorieën en brandstoftypes onder het BAU-scenario gedefinieerd door VITO in het SUSATRANS project. De vlootemissiefactoren hebben we uitgedrukt in gram per gereden kilometer (g/km).

### 4.1. CO<sub>2</sub> en gereguleerde pollutanten

In Tabel 1 geven we de vlootemissiefactoren per voertuigcategorie en brandstofsoort voor CO<sub>2</sub> en de gereguleerde pollutanten CO, NO<sub>x</sub>, PM en VOC. Het zijn cijfers voor België voor de periode 1990-2020. We geven hier enkel de directe emissies, i.e. emissies op voertuigniveau. Indien in de tabel bij een bepaalde technologie en jaartal geen waarde staat, betekent dit dat de technologie nog niet is geïntroduceerd in dat jaar. Indien er een nulwaarde staat, betekent dit dat er geen emissies zijn op voertuigniveau (uitlaat en VOC-verdamping).

### 4.2. Niet-gereguleerde pollutant N<sub>2</sub>O (lachgas)

De introductie van de nabehandelingssystemen voor uitlaatgassen vanaf de jaren '90 resulteert in hogere N<sub>2</sub>O uitstoot (nevenproduct in nabehandelingssysteem). Het broeikasgaspotentieel van N<sub>2</sub>O is 296 sterker dan dat van CO<sub>2</sub>. Vandaar geven wij in Tabel 2 de vlootemissiefactoren van N<sub>2</sub>O weer. Dit zijn indicatieve cijfers, omwille van de grote onzekerheden op de N<sub>2</sub>O-emissiefactoren voor de verschillende brandstoftechnologieën. We geven enkel de directe emissies. Indien bij een bepaalde technologie en jaartal geen waarde staat, betekent dit dat de technologie nog niet is geïntroduceerd in dit jaar. Een nulwaarde staat, betekent dat er geen emissies zijn op voertuigniveau.



*Tabel 1: vlootemissiefactoren (g/km) voor wegvoertuigen onder het BAU-scenario voor de periode 1990-2020*

<b>Voertuigtype</b>	<b>Brandstof</b>	<b>Polluent</b>	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
Car	CNG	CO			0,00	1,09	1,16	1,19	1,20
Car	CNG	CO2			0	152	169	173	170
Car	CNG	NOx			0,00	0,00	0,00	0,09	0,08
Car	CNG	PM			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Car	CNG	VOS			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Car	Diesel	CO	0,79	0,72	0,58	0,43	0,35	0,31	0,31
Car	Diesel	CO2	203	199	190	180	170	162	159
Car	Diesel	NOx	0,68	0,71	0,74	0,62	0,49	0,43	0,41
Car	Diesel	PM	0,24	0,19	0,09	0,05	0,03	0,02	0,02
Car	Diesel	VOS	0,19	0,15	0,08	0,05	0,04	0,04	0,04
Car	Electric	CO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Car	Electric	CO2	0	0	0	0	0	0	0
Car	Electric	NOx	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Car	Electric	PM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Car	Electric	VOS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Car	Hybrid CNG	CO						0,89	0,89
Car	Hybrid CNG	CO2						90	90
Car	Hybrid CNG	NOx						0,03	0,03
Car	Hybrid CNG	PM						0,001	0,001
Car	Hybrid CNG	VOS						0,02	0,02
Car	Hybrid diesel	CO						0,18	0,18
Car	Hybrid diesel	CO2						126	126
Car	Hybrid diesel	NOx						0,33	0,33
Car	Hybrid diesel	PM						0,01	0,01
Car	Hybrid diesel	VOS						0,03	0,03
Car	Hybrid Petrol	CO			3,03	2,00	1,51	1,48	1,48
Car	Hybrid Petrol	CO2			150	129	122	117	117
Car	Hybrid Petrol	NOx			0,03	0,04	0,03	0,03	0,03
Car	Hybrid Petrol	PM			0,000	0,000	0,001	0,001	0,001
Car	Hybrid Petrol	VOS			0,03	0,04	0,03	0,03	0,03
Car	LPG	CO	12,70	11,70	7,41	5,33	3,39	2,08	1,67
Car	LPG	CO2	180	179	176	172	165	155	150
Car	LPG	NOx	2,24	1,95	0,88	0,42	0,15	0,04	0,03
Car	LPG	PM	0,032	0,026	0,010	0,004	0,001	0,001	0,001
Car	LPG	VOS	2,05	1,83	1,08	0,62	0,31	0,09	0,08
Car	Petrol	CO	21,56	14,55	10,92	8,94	6,96	4,49	3,34
Car	Petrol	CO2	193	203	201	193	183	173	168
Car	Petrol	NOx	2,13	1,57	0,96	0,58	0,36	0,11	0,09
Car	Petrol	PM	0,107	0,043	0,019	0,004	0,001	0,001	0,001
Car	Petrol	VOS	4,04	2,73	1,39	0,67	0,24	0,09	0,08

*Vervolg Tabel 1: vlootemissiefactoren (g/km) voor wegvoertuigen onder het BAU-scenario voor de periode 1990-2020*

<b>Voertuigtype</b>	<b>Brandstof</b>	<b>Polluent</b>	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
HD Freight	Diesel	CO	2,97	2,83	2,52	2,40	2,37	2,36	2,36
HD Freight	Diesel	CO2	884	931	908	930	965	1003	1016
HD Freight	Diesel	NOx	10,17	10,40	9,75	8,85	6,41	4,14	3,39
HD Freight	Diesel	PM	0,63	0,61	0,40	0,32	0,19	0,11	0,08
HD Freight	Diesel	VOS	1,44	1,46	1,16	0,96	1,01	1,05	1,07
HD Persons	Diesel	CO	4,13	4,06	2,88	2,73	2,64	2,62	2,62
HD Persons	Diesel	CO2	946	928	787	770	765	777	785
HD Persons	Diesel	NOx	13,69	12,86	9,98	8,44	6,19	4,23	3,15
HD Persons	Diesel	PM	0,64	0,62	0,40	0,32	0,18	0,11	0,07
HD Persons	Diesel	VOS	1,56	1,59	1,32	1,14	1,13	1,14	1,17
LD Freight	Diesel	CO	1,29	1,13	0,67	0,42	0,32	0,29	0,28
LD Freight	Diesel	CO2	293	287	260	250	242	240	239
LD Freight	Diesel	NOx	2,08	1,86	1,43	1,12	0,86	0,78	0,75
LD Freight	Diesel	PM	0,31	0,26	0,12	0,06	0,03	0,03	0,02
LD Freight	Diesel	VOS	0,27	0,24	0,12	0,08	0,06	0,05	0,05
LD Freight	LPG	CO	40,22	37,98	12,86	10,60	6,58	2,46	2,07
LD Freight	LPG	CO2	252	316	673	683	704	744	737
LD Freight	LPG	NOx	0,35	0,36	0,26	0,15	0,10	0,06	0,02
LD Freight	LPG	PM	0,04	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
LD Freight	LPG	VOS	3,12	2,65	0,79	0,57	0,34	0,06	0,03
LD Freight	Petrol	CO	23,47	21,71	14,52	9,56	5,38	2,87	2,59
LD Freight	Petrol	CO2	284	285	299	303	299	297	295
LD Freight	Petrol	NOx	2,91	2,72	1,61	0,80	0,33	0,05	0,03
LD Freight	Petrol	PM	0,04	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
LD Freight	Petrol	VOS	2,49	2,20	1,27	0,65	0,28	0,05	0,04
Moto	Petrol	CO	24,29	22,16	19,69	15,93	14,00	12,78	12,07
Moto	Petrol	CO2	73	75	81	83	84	84	85
Moto	Petrol	NOx	0,19	0,19	0,20	0,22	0,23	0,23	0,23
Moto	Petrol	PM	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
Moto	Petrol	VOS	4,47	4,72	4,18	3,28	2,81	2,50	2,32

Tabel 2:  $N_2O$ -vlootemissiefactoren (g/km) voor wegvoertuigen onder het BAU-scenario voor de periode 1990-2020

Voertuigtype	Polluent	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Car	CNG			0,00	0,03	0,03	0,03	0,03
Car	Diesel	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Car	Electric	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Car	Hybrid CNG						0,02	0,02
Car	Hybrid diesel						0,02	0,02
Car	Hybrid Petrol			0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Car	LPG	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Car	Petrol	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
HD Freight	Diesel	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
HD Persons	Diesel	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
LD Freight	Diesel	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
LD Freight	LPG	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
LD Freight	Petrol	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
Moto	Petrol	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002

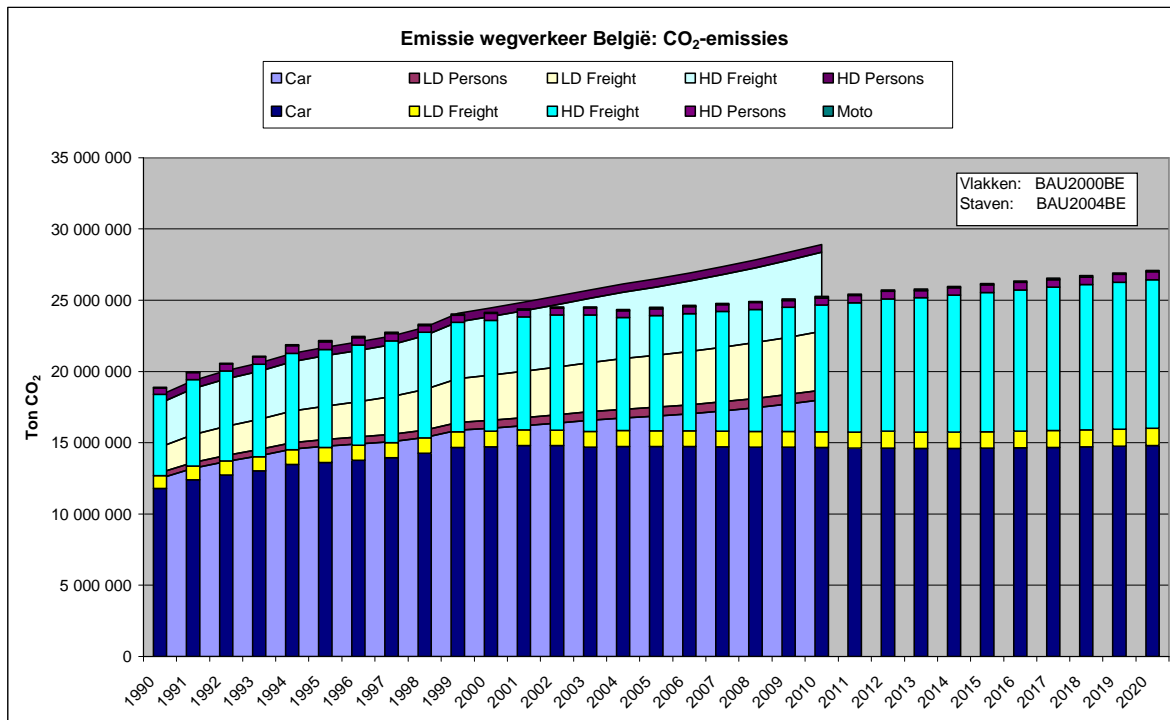
## 5. VERGELIJKING EMISSIES TEMAT 2004 MET TEMAT 2000

In deze paragraaf illustreren we voor de drie knelpuntpolluenten, zijnde  $CO_2$ ,  $NO_x$  en PM, de verschillen in emissieresultaten onder een Business-As Usual (BAU) scenario bekomen met enerzijds TEMAT 2004 (SUSATRANS) en ander zijds TEMAT 2000 (PODO I) [1]. De resultaten van beide modellen geven we respectievelijk weer als BAU 2004 BE en BAU 2000 BE.

### 5.1. $CO_2$

In Figuur 3 tonen we de  $CO_2$ -emissies uitgestoten door de verschillende wegvoertuigen in België onder een het BAU-scenario zoals we berekenden met de eerste versie van TEMAT model (TEMAT 2000, vlakken in Figuur 3) en een binnen SUSATRANS geactualiseerde versie (TEMAT 2004, staven in Figuur 3).

Tot 2000 compenseert in TEMAT 2004 de bijstelling van de verdeling van de zware vrachtwagens over de verschillende tonklassen, de minder  $CO_2$ -uitstoot door het lager aantal afgelegde kilometers dan in TEMAT 2000. Na 2000 zien we lagere emissies met TEMAT 2004 als gevolg van kleinere groeivoeten voor mobiliteit in TEMAT 2004 t.o.v. TEMAT 2000. De iets hogere emissies in de periode 1990-1996 in TEMAT 2004 kunnen we verklaren door het in rekening brengen van gemotoriseerde tweewielers, en in mindere mate ook door bijstelling van de statistische cijfers van het voertuigenpark voor de jaren 1990-1992. De  $CO_2$ -emissies door wegtransport stijgen continu in het BAU-scenario TEMAT 2004. Positief is dat we na 2000 een trendbreuk zien in het BAU-scenario TEMAT 2004, nl. een veel minder sterke groei dan in BAU TEMAT 2000.



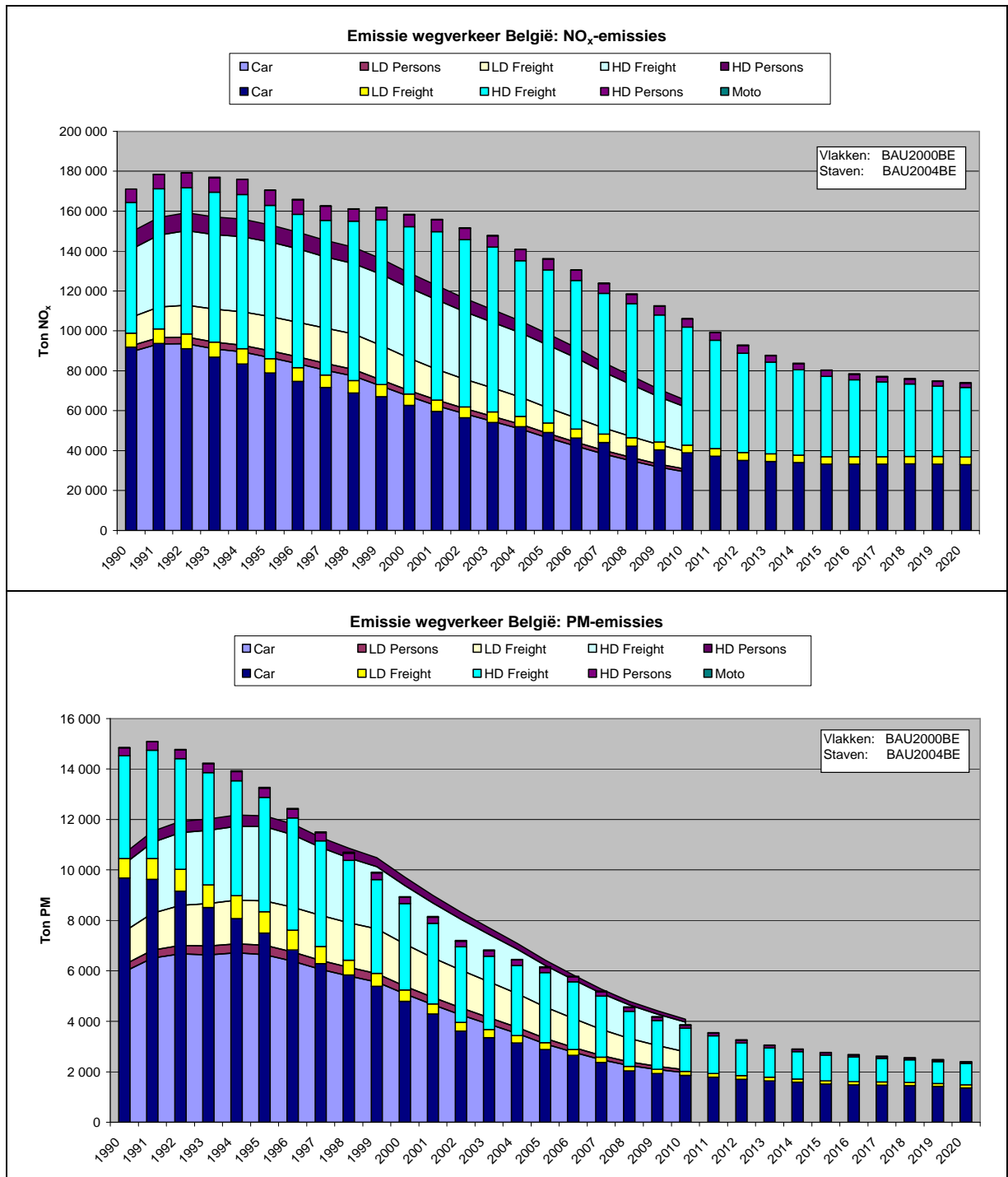
Figuur 3: vergelijking CO<sub>2</sub>-emissies door wegverkeer in België onder BAU-scenario TEMAT 2004 versus TEMAT 2000

## 5.2. NO<sub>x</sub> en PM

In Figuur 4 tonen we de NO<sub>x</sub>- en PM-emissies uitgestoten door de verschillende wegvoertuigen in België zoals we berekenden met de eerste versie van het TEMAT model (TEMAT 2000) en een binnen SUSATRANS geactualiseerde versie (TEMAT 2004).

De NO<sub>x</sub> waarden in BAU TEMAT 2004 liggen voor de ganse bestudeerde periode hoger dan in BAU TEMAT 2000. Het effect van het lager aantal afgelegde kilometers in TEMAT 2004, wordt voornamelijk gecompenseerd door het grotere aandeel vrachtwagen > 40 ton in TEMAT 2004. De verschillen in NO<sub>x</sub>-emissies in TEMAT 2000 en TEMAT 2004 worden verder versterkt door de onderschatting van de NO<sub>x</sub> emissiefactoren voor euro 3 en euro 4 zware vrachtwagens en bussen in TEMAT 2000. Verder was het aandeel diesel in het autopark vanaf 2000 onderschat in TEMAT 2000. In TEMAT 2004 hebben we statistische cijfers t.e.m. 2003 gebruikt.

Voor de PM-emissies kunnen we stellen dat de minder uitstoot door een lager aantal kilometers in TEMAT 2004 wordt gecompenseerd door het grotere aandeel 40 tonners. De hogere emissies begin de jaren '90 kunnen we verklaren door de bijstelling van het voertuigenpark.



*Figuur 4: vergelijking NO<sub>x</sub>- en PM-emissies door wegverkeer in België onder BAU scenario TEMAT 2004 versus TEMAT 2000*

### 5.3. CO en VOC

Voor CO en VOC resulteerde TEMAT 2004 in een verlaging van de emissies. Voor deze pollutanten weegt het lager aantal afgelegde kilometers t.o.v. TEMAT 2000 dus door.

## REFERENTIES

---

- 1 De Vlieger I., Berloznik R., Colles A., Cornu K., Duerinck J., Mensink C., Van Aerschot W., Van Poppel M. and Verbeiren S., (2001) Maatregelen in de transportsector voor de vermindering van CO<sub>2</sub> en troposferische ozon. Eindrapport 2001/IMS/R/139, in opdracht van Federaal Wetenschapsbeleid, in het kader van PODO I.
- 2 De Keukeleere D., Cornu K., De Vlieger I. en Van Poppel M. (2001) Evaluatie reductiepotentieel van mogelijke aanvullende maatregelen rond milieuvriendelijke motorvoertuigen en –brandstoffen, Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Gemeenschap, AMINAL, VITO-rapport 2001/ETE/R/041, mei 2001.
- 3 De Vlieger I., Berloznik R., Colles A., Cornu K., Duerinck J., Mensink C., Van Aerschot W., Van Poppel M. and Verbeiren S., (2001) Measures in transport to reduce CO<sub>2</sub> and tropospheric ozone. Final report 2001/IMS/R/139, under contract of the Belgian Science Policy.
- 4 EEA (2000) Copert III, Computer programme to calculate emission from road transport, methodology and emission factors (Version 2.1).
- 5 MEET, Methodology for calculating transport emissions and energy consumption, Transport research, Fourth Framework Programme, Strategic Research, DG VII, ISBN 92-828-6785-4, 1999.
- 6 De Vlieger et al. (2005) Sustainability assessment of technologies and modes in the transport sector in Belgium (SUSATRANS), in opdracht van Federaal Wetenschapsbeleid, Brussel.
- 7 FOD Mobiliteit (2001) Algemene verkeerstellingen 2000, Nr. 18, Ministerie van Verkeer en Infrastructuur, Brussel.
- 8 Cornelis E. and De Vlieger I. (2003) Segmentation of HDV – data from Belgium, Uncertainties, COST 346, Heidelberg, October 2003.
- 9 EEA (2000) Copert III, Computer programme to calculate emission from road transport, methodology and emission factors (Version 2.1).
- 10 Dorland C., Jansen H.M.A. (1997) ExternE Transport- the Netherlands “Dutch case studies on transport externalities”, IVM, Amsterdam December 1997.
- 11 <http://www.mep.tno.nl/emissions> (2001) CEPMEIP database particulate matter 1995, TNO-MEP, the Netherlands July 2001.
- 12 Mamakos T. (2004) EU Particulates project, Characterisation of exhaust particulate emissions from road vehicles, Results of light Duty vehicles, Presentation on the COST-Transport conference, New developments in emission estimation from transport. Workshop on the results of COST 346 and associated FP5 projects ARTEMIS and PRTICULATES, Antwerp 24th May 2004.
- 13 DIV (2004) Belgisch voertuigenpark (zonder transitplaten), Directoraat Inschrijvingen Voertuigen, Brussel.
- 14 FOD Mobiliteit (2004) Algemene verkeerstellingen, Ministerie van Verkeer en Infrastructuur, Brussel.
- 15 FOD Mobiliteit (2003) Opmeting van de jaarlijkse afgelegde kilometers 2002, Ministerie van Verkeer en Infrastructuur, Brussel.
- 16 INFRAS et al. (2004) Handbook emission factors for road transport; Version 2.1, Vienna 2004.
- 17 FOD Mobiliteit (2004) Algemene verkeerstellingen, Ministerie van Verkeer en Infrastructuur, Brussel.

(Contract 011213)

# **Duurzaamheidsvaluatie van technologieën en modi in de transportsector in België (SUSATRANS)**

**Annex VI: Technology Assessment van biobrandstoffen (Taak C)**

**S. Verbeiren, I. De Vlieger, L. Govaerts en L. Pelkmans**

**Studie gefinancierd door Federaal Wetenschapsbeleid  
PODO II – Deel 1- Duurzame Consumptie en Productie Patronen**

**2004/IMS/R/annex**



**VITO**

**September 2004**





# INHOUDSTABEL

<b>1.</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>BESTAANDE STUDIES</b>	<b>2</b>
2.1.	TA'S IN DE TRANSPORTSECTOR	2
2.2.	FORESIGHT STUDIES ROND BIOBRANDSTOFFEN	4
2.2.1.	Europa 'Biofuels foresight'	4
2.2.2.	USA 'Vision and Roadmap for Bioenergy and Biobased Products'	5
2.2.3.	Denemarken 'New and emerging bioenergy technologies'	7
2.3.	DEMONSTRATIEPROJECTEN IN BELGIË	8
<b>3.</b>	<b>CAPACITEIT VAN BIOBRANDSTOFFEN</b>	<b>9</b>
3.1.	PRIMAIRE GRONDSTOFFEN	9
3.1.1.	Wallonië	10
3.1.2.	België	10
3.2.	OLIEPRODUCTIE	11
3.3.	PRODUCTIE VAN BODIESEL	12
3.4.	PRODUCTIE VAN ETHANOL	13
<b>4.</b>	<b>GEKENDE STANDPUNTEN</b>	<b>14</b>
4.1.	BELGISCHE PETROLEUM FEDERATIE (BFP)	14
4.2.	EUROPEAN ENVIRONMENTAL BUREAU (EEB)	14
4.3.	COMMITTEE OF AGRICULTURAL ORGANISATIONS IN THE EU (COPA) AND GENERAL COMMITTEE FOR AGRICULTURAL COOPERATION IN THE EU (COGECA)	15
4.4.	EUROPEAN BIOMASS ASSOCIATION (AEBIOM)	15
4.5.	EUROPEAN OLEOCHEMICALS & ALLIED PRODUCTS GROUP (APAG)	16
4.6.	EUROPEAN BODIESEL BOARD (EBB)	16
<b>5.</b>	<b>IMPLEMENTATIE RICHTLIJNEN BIOBRANDSTOFFEN IN BELGIË</b>	<b>16</b>
5.1.	RICHTLIJNEN BIOBRANDSTOFFEN	16
5.1.1.	Richtlijn 2003/30/EG rond biobrandstoffen	17
5.1.2.	Richtlijn 2003/96/EG rond energietaksen	17
5.1.3.	Richtlijn rond kwaliteit van brandstoffen	18
5.1.4.	Biodiesel kwaliteitsstandaard	18
5.2.	BELEIDSINITIATIEVEN IN BELGIË	18
<b>6.</b>	<b>BEVRAGING STAKEHOLDERS</b>	<b>20</b>
6.1.	RONDE TAFEL VALBIOM	20
6.1.1.	De meest efficiënte strategie voor de introductie van biobrandstoffen?	21
6.1.2.	Gemengde of pure biobrandstof?	21
6.1.3.	Belangrijkste barrières voor introductie/uitvoering?	22
6.1.4.	Fiscale incentives?	22
6.2.	BEVRAGING VITO	23
6.2.1.	Stakeholders	23
6.2.2.	Haalbaarheid van de productie van biobrandstoffen	25
6.2.3.	Benodigde mechanismen en instrumenten	26
6.2.4.	Redenen voor het niet produceren van biobrandstoffen	26
6.3.	EUROPESE WORKSHOP ROND "BIOFUELS"	27
6.3.1.	Uitgangspunten	27
6.3.2.	Belangrijkste bevindingen	27
<b>7.</b>	<b>ONDERZOEKSPROJECTEN</b>	<b>31</b>
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIES</b>	<b>32</b>

**LIJST MET AFKORTINGEN**

**BIJLAGE 1: VRAGENLIJST AAN STAKEHOLDERS**

## 1. INLEIDING

Deze annex geeft meer duiding bij het hoofdstuk biobrandstoffen dat we schreven in het hoofdrapport van SUSATRANS.

Ons studiewerk over biobrandstoffen was een vervolg op de duurzaamheidsvaluatie van het wegvervoer: een technology assessment van vloeibare biobrandstoffen. We kozen voor biobrandstoffen en niet voor waterstof omwille van de volgende redenen:

- Op Europees vlak liep er een groot project rond waterstof: HYSOCIETY (5KP), waar verschillende zaken rond deze brandstof geïnventariseerd en geëvalueerd werden omtrent milieu, regelgeving, barrières en LCA;
- Binnen het 6KP was al een principiële akkoord bestaan om een vervolgproject hierop te doen: HYWAYS;
- Voor AMINAL-lucht werd een technologische studie gedaan rond waterstof, door Martine Van Poppel (afgewerkt in mei 2003) met de titel, ‘Wetenschappelijke beoordeling van het gebruik van waterstof als brandstof voor bussen, 2003/ETE/R/0053’;
- Daarenboven voeren VITO-ETE en IMS i.s.m. KUL en Ulg een project uit rond waterstof binnen de tweede oproep van PODO II.
- Verder bestaat er voor biobrandstoffen een groenboek en zou er tegen 2010 ongeveer 5,75% van de brandstoffen hernieuwbaar moeten zijn. Aangezien deze datum niet meer zo ver af is, is het nuttig om na te gaan wat werkelijk kan gedaan worden. Daarenboven is in 2003 de Europese Richtlijn 2003/30/EG goedgekeurd die de lidstaten verplicht om tegen 31 december 2005 2% van de brandstoffen in het wegvervoer te vervangen door biobrandstoffen. Er zijn dus zowel korte als lange termijn doelen geformuleerd.
- Een andere verantwoording om biobrandstoffen te nemen i.p.v. waterstof is het feit dat deze beter uit de duurzaamheidsvaluatie (taak A) kwamen dan de technologieën die op waterstof draaien voor de korte termijn (2010);
- De resultaten van deze taak hebben we ook ingepast in een project dat op Europees niveau werd uitgevoerd (OPET-transport, samen met de federale diensten van leefmilieu-brandstoffenbeleid) en resultaten van onze studie hebben we gepresenteerd op de ‘Europese Biofuels Workshop’ in Brussel op 26 mei 2004.

Het doel van de TA-studie binnen het project is het inventariseren van stakeholders en hun houdingen en visies over de rol van biobrandstoffen binnen de transportsector (§4 en §6.2). Daarenboven peilen we ook naar de haalbaarheid van de implementatie van de richtlijn. De capaciteit van de producenten werd zo goed mogelijk in kaart gebracht (§3 en §6.2).

Naast deze twee belangrijke doelstellingen wordt ook een kort overzicht gegeven van reeds bestaande foresight studies met beleidsaanbevelingen in het buitenland (§2), de bevraging van de stakeholders (§6), een overzicht van het implementatiepad van de Europese Richtlijn in België en de positie van VITO hierbinnen (§5 en tenslotte enkele lopende onderzoeksprojecten (§7) en conclusies (§8).

Deze annex is sterk onderhevig aan veranderingen omwille van de actualiteit van het onderwerp. Het is een momentopname en het kan dus zijn dat specifieke punten reeds verouderd zijn op het moment dat dit rapport uitkomt. Het geeft echter goed de situatie weer op het moment van publicatie (september 2004).

## 2. BESTAANDE STUDIES

De laatste 20 jaar werden binnen het bereik personen- en goederenverkeer verschillende studies uitgevoerd onder het begrip 'technology assessment'. Het begrip TA werd hierbij zeer breed geïnterpreteerd. Dit wil zeggen dat deze studies zich niet enkel richten op het bestuderen van nieuwe technologieën, maar ook op de impacten van reeds bestaande technologieën, reglementeringen en projecten. Daarnaast werd ook gekeken naar foresight studies rond biobrandstoffen. Deze studies bestuderen een mogelijke toekomst en de maatregelen die moeten genomen worden om daar te geraken. Naast de evaluatie van technologische aspecten worden vaak ook beleidsaanbevelingen gedaan. Deze laatste werden bestudeerd en samengevat voor de Belgische situatie.

### 2.1. TA's in de transportsector

Ruesch en Haeflerli (2000; p27) maakten een inventaris op van de TA-studies die tot 2000 uitgevoerd werden. De studies werden ingedeeld in een matrix volgens 2 assen:

- De eerste as deelt de studies in volgens fundamentele studies, technologisch geïnduceerde studies of probleem geïnduceerde studies;
- De tweede as deelt de studies in volgens een bepaalde fase: 'invention', 'innovation' of 'diffusion'.

Binnen dit project werden in totaal 56 TA studies geïdentificeerd die te maken hebben met verkeer. Niet al deze studies zijn echter relevant voor het project SUSATRANS. Volgende studies/projecten zijn in min of meerdere mate direct gerelateerd aan activiteiten binnen SUSATRANS:

- Forecasting and Assessment of New Technologies and TrAnsport Systems and their Impact on the Environment (<http://www.etsu.com/fantasie/fantasie.htm>; FANTASIE). Dit is een Europees project (4<sup>de</sup> kaderprogramma) dat kijkt naar de ontwikkelingen van transport technologieën en de impact die zij zullen hebben op het toekomstige Europese transportsysteem.
- New technologies and their potential to reduce the environmental impact of transportation, 1994, NL (Geerlings & Gwilliam);
- Biofuels, 1994, USA (IEA)
- Environmental aspects of battery and fuel cell technologies, 1992, UK (PA Consulting Group)
- Technology assessment of the electromobile, FTB, A.

Naast deze studies werden nog een aantal andere TA-studies binnen Europa en Noord-Amerika teruggevonden gerelateerd met transport, maar slechts 1 handelt over alternatieve brandstoffen. De andere focuseren zich op brandstofcellen (Oertel & Fleischer, 2000; Galley & Gatignol, 2001), waterstof productie (Dutta, 1990) of het totale transportsysteem (OTA, 1979a, b en c).

De gevonden TA-studie over alternatieve brandstoffen werd uitgevoerd voor het International Energy Agency en de OECD (Bleviss, 1990). Deze studie is reeds meer dan 10 jaar oud en waarschijnlijk al wat gedateerd. Dit kon echter niet gecheckt worden aangezien ze niet meer verkrijgbaar is.

Echte TA-studies over binnenscheepvaart of spoor werden niet gevonden. Door Stodolsky (2002) werd echter een roadmap voor treinen in de Verenigde Staten opgesteld. In deze studie worden de verschillende traditionele technologieën voorgesteld en werd gekeken naar mogelijke energiebesparingen hierin. Daarnaast werden ook kort andere aandrijfmechanismen besproken dan de normale diesellocomotief en de elektrische locomotief, zoals daar zijn brandstofcellen, gasturbines en alternatieve brandstoffen. Van elk van deze werden de technologische barrières voor de introductie van de technologie, het potentieel aan energiebesparing en onderwerpen voor toekomstig onderzoek geïdentificeerd (zie annex VII SUSATRANS).

Uit het vorige blijkt dat er niet veel TA-studies gebeurd zijn rond biobrandstoffen. Een in 1990 door de IEA en de OECD (Bleviss, 1990) en eentje in 1994 door de IEA. Beide studies dateren al van een 10-tal jaar terug en hun resultaten zullen hoogstwaarschijnlijk niet echt relevant meer zijn. Dit kon echter niet gecheckt worden omdat beide studies niet meer konden teruggevonden worden. Hier kon dus niet veel relevante informatie uit gehaald worden.

Een overzicht van de TA-studies en wanneer deze werden uitgevoerd, wordt weergegeven in Tabel 1.

*Tabel 1: onderwerpen en jaren waarin verschillende TA-studies werden uitgevoerd*

<b>ONDERWERP</b>	<b>JAAR</b>
biobrandstoffen	1990(*); 1994(*)
waterstof	1990
algemeen over transport (wegverkeer)	1979; 1994; 2001
brandstofcellen	1992; 2000; 2001
elektrische voertuigen	(onbekend*)
hybride voertuigen	2001
spoorverkeer	(2002)
binnenvaart	-

\* niet meer verkrijgbaar

BACAS (2004), de Belgian Academy Council of Applied Science, beschrijft hoe witte biotechnologie kan bijdragen aan het halen van de norm van biobrandstoffen. Deze vorm van industriële biotechnologie gebruikt biologische systemen voor de productie van

chemicaliën. Het is een van de hoofdspelers in groene chemie. Ook biodiesel en bio-ethanol kunnen via deze weg geproduceerd worden.

De ‘Alternative Fuels Contact Group’ voerde een ‘well-to-wheels’ studie uit over broeikasgasemissies, energie-efficiëntie en de kost van het gebruik van alternatieve brandstoffen. Deze studie werd uitgevoerd samen met een consortium van bedrijven uit de Europese olie industrie (CONCAWE), de Europese autoconstructeurs (EUCAR) en het Joint Research Centre van de Europese Commissie (JRC, Ispra). 75 verschillende wegen vanaf de primaire energiebron werden onderzocht. Volgende conclusie werd getrokken voor vloeibare biobrandstoffen:

*‘Vloeibare biobrandstoffen kunnen het marktaandeel van biobrandstoffen boven de 5,75 % doelstelling van de EU brengen voor 2010. Het maximale technische potentieel voor alle biomassa afgeleid brandstoffen wordt geschat op 15%. De eerste demonstraties van pilotinstallaties werden juist opgestart. Verdere ontwikkelingsprojecten kunnen ook verbeterde motortechnologieën met een betere energie-efficiënte en lager emissies ondersteunen. Waterstofproductie en productie van vloeibare biobrandstoffen kunnen ook gecombineerd worden. Co-productie van vloeibare biobrandstoffen en waterstof kunnen een kostenefficiënte manier vormen voor een groter volume aan hernieuwbare waterstofproductie.’*

## 2.2. Foresight studies rond biobrandstoffen

### 2.2.1. Europa ‘Biofuels foresight’

Binnen het ATLAS project van de Europese Commissie (4<sup>de</sup> kaderprogramma) dat uitgevoerd werd in 1996-97, werd een foresight gehouden rond “Biofuels” binnen het onderwerp Transport [3]. Er wordt een overzicht gegeven van de mogelijke toepassingen binnen een tijdshorizon tot 2010. Verder worden volgende zaken in meer detail besproken:

- Inleiding tot de technologie
- Markt positie en toekomstig potentieel
- Competitiviteit van Europese producenten
- Marktbarrières
- Status van de technische ontwikkeling
- Huidig O&O
- Toekomstige O&O noden

Zij vernoemen een aantal zaken die behandeld moeten worden vooraleer het gebruik van biobrandstoffen een feit wordt in Europa<sup>1</sup>:

- Identificatie van de primaire grondstoffen die betere brandstofkarakteristieken geven per eenheid van de grondstof;
- Ontwikkeling van technieken die de extractie van bio-ethanol uit houtcellulose materiaal optimaliseren;
- Demonstratieprojecten rond de conversie van houtcellulose;
- Introductie van lange-termijn marktstrategieën voor vloeibare biobrandstoffen en maatregelen voor de stabilisatie van de markt;

<sup>1</sup> Ondanks het feit dat deze studie reeds in 1997 beëindigd is, zijn veel van deze zaken nu (2004) nog actueel.

- Het vinden van goedkopere manieren voor het vervoer van de brandstof, inclusief onderzoek naar de langetermijn stabiliteit van deze brandstoffen;
- Het verhogen van de algemene kennis over de voordelen van vloeibare biobrandstoffen;
- Coördinatie van onderzoek rond de gezondheids- en veiligheidsaspecten van biobrandstofproductie, -conversie en -gebruik;
- Vrijstelling van taksen is nodig;
- Nood aan toelagen voor productie start-up kosten;
- Nood aan de oprichting van een onderzoeksinstelling voor brandstofkarakteristieken analyse, motor performantie en het testen van emissies;
- Nood aan ondersteuning van autoconstructeurs voor de promotie van biobrandstoffen;
- Nood aan lokale demonstraties binnen openbare transportsystemen;
- Nood aan een algemene campagne bij het publiek om hun steun te krijgen voor het gebruik van biobrandstoffen in personenwagens.

De grootste hindernis in de ontwikkeling van vloeibare biobrandstof technologie in Europa is de onzekerheid op lange termijn van de toevoer. Omwille van financiële tegemoetkomingen zullen landbouwers niet-braakland enkel gebruiken voor voedingsgewassen<sup>2</sup>. De ontwikkeling van biodiesel is verder ook beperkt door de Blairhouse overeenkomst (1993), die zegt dat er een limiet is op de oogst van industriële oliezaden. Er is verwarring over de milieuvoordelen van de biobrandstoffen. Er is veel informatie beschikbaar over het gebruik van de brandstof en zijn prestatie t.o.v. fossiele brandstoffen, maar er is weinig informatie over de voordelen van de productie van de brandstof uit hernieuwbare bronnen.

### 2.2.2. USA ‘Vision and Roadmap for Bioenergy and Biobased Products’

In de USA werd in 2002 een visie voor “bio-energie and biobased products” opgesteld. Daarin stellen zij doelen voorop die zij willen bereiken binnen een bepaalde tijd. Figuur 1 toont de objectieven die in de visie worden weergegeven. De doelstellingen die hier geformuleerd worden zijn niet zo ambitieus als deze van Europa, voor 2010 althans.

De roadmap die gevolgd moet worden om deze doelstellingen te bereiken, is weergegeven door het Biomass Research and Development Initiative (2002). Figuur 2 geeft de belangrijkste acties weer die ondernomen moeten worden om de doelstellingen van de visie te realiseren.

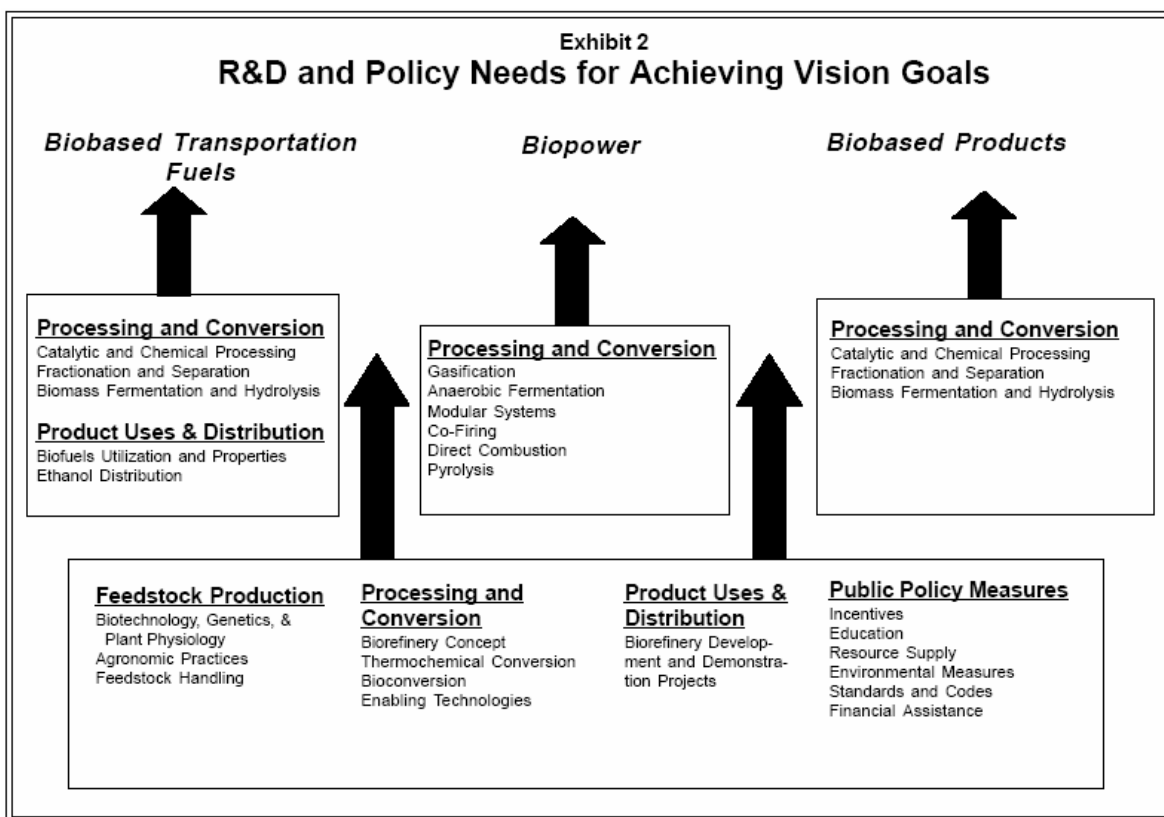
---

<sup>2</sup> Ondertussen is er een premie voor landbouwers die energiegewassen willen telen op niet-braakland, maar deze is niet heel hoog: 45/ha.

**Vision Goals for  
BioEnergy and Biobased Products**

	2010	2020	2030
<b>BioPower</b> Biomass share of electricity & heat demand in utilities & industry.	4% (3.3 quads)	5% (4.0 quads)	5% (5.0 quads)
<b>BioFuels</b> Biomass share of demand for transportation fuels.	4% (1.3 quads)	10% (4.0 quads)	20% (9.5 quads)
<b>BioProducts</b> Share of target chemicals that are biobased.	12%	18%	25%

Figuur 1: doelstellingen van de visie voor Bioenergy and Biobased Products (Bron: [4])



Figuur 2: Samenvatting van de O&O en beleidsinitiatieven die nodig zijn om de doelstellingen te bereiken (Bron: Biomass Research and Development Initiative, 2002)



### 2.2.3. Denemarken ‘New and emerging bioenergy technologies’

Tenslotte werd in Denemarken nog een foresight oefening gedaan rond de inventarisatie van nieuwe en toekomstige technologieën voor bio-energie (Larssen et al., 2003). De hoofdboodschap uit deze studie was de volgende: De belangrijkste drijvende krachten achter moderne bio-energie zijn:

- Bevoorradingszekerheid, gebaseerd op het gebruik van eigen grondstoffen;
- Lokale werkgelegenheid en competitiviteit;
- Lokale, regionale en globale milieu voordelen; en
- Landgebruik aspecten in ontwikkelings- en geïndustrialiseerde landen.

De voornaamste hinderpalen daarentegen zijn:

- De competitiviteit van de verschillende bio-energie technologieën variëren van zeer competitief tot helemaal niet;
- De competitiviteit is sterk afhankelijk van o.a. het aantal externaliteiten die meegerekend worden in de kosten;
- In het algemeen moet meer praktische ervaring over bio-energie technologieën vergaard worden;
- Grondstoffenpotentieel en verdeling;
- Kosten van bio-energie technologieën en grondstoffen;
- Het gebrek aan sociale en organisatorische structuren voor de bevoorrading van biobrandstoffen;
- Lokaal landgebruik en milieu aspecten in ontwikkelingslanden; en
- Administratieve en wettelijke knelpunten.

Deze hinderpalen kunnen gedeeltelijk overwonnen worden door gerichte interventies bij zowel publieke als private sectoreenheden, met een focus op:

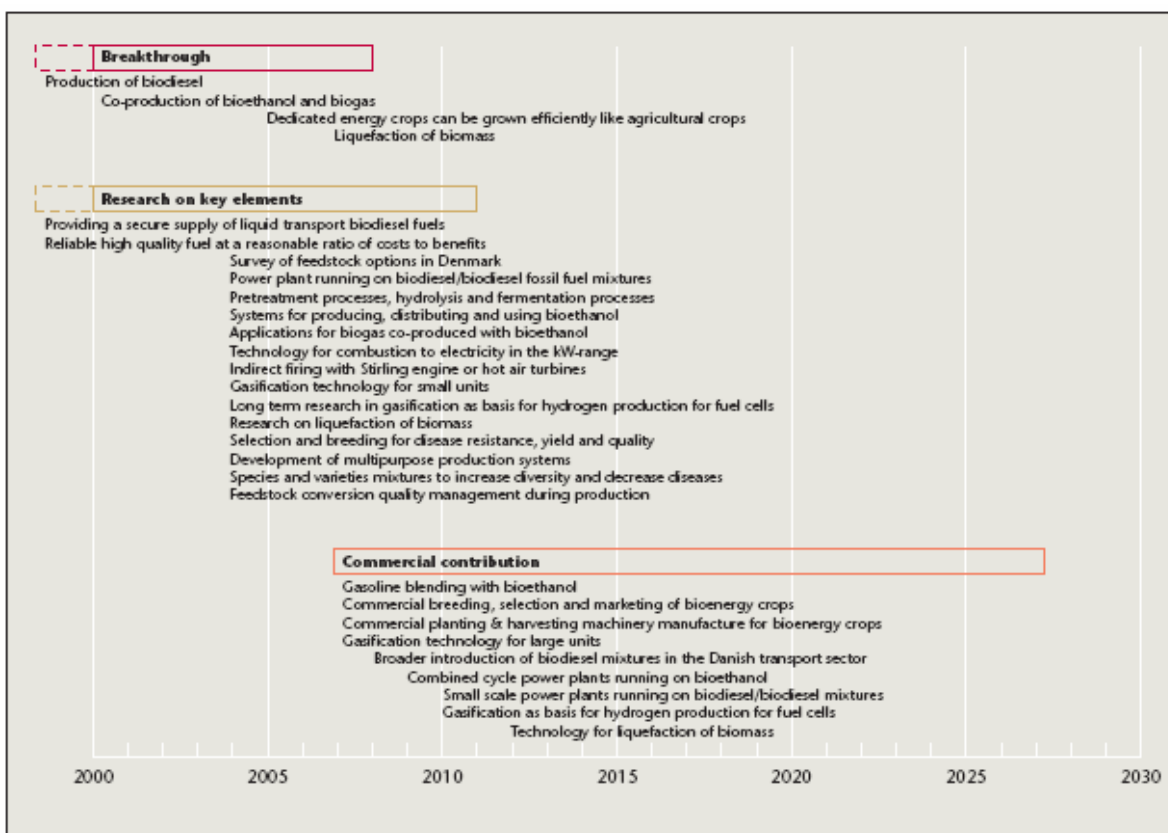
- De ontwikkeling en inzet van meer kosteneffectieve conversie technologieën, vooral deze die eindproducten - vaste of vloeibare - oogsten met een hoge energiedensiteit;
- De ontwikkeling en implementatie van verbeterde, toegewijde, bio-energie gewasproductiesystemen;
- De vestiging van bio-energiemarkten en organisatorische structuren voor het transport en de aflevering van bio-energie grondstoffen en producten; en
- De waardering van milieuvoordelen voor de maatschappij o.a. de koolstofbalans.

De conclusies die uit deze studie kunnen getrokken worden, werden als volgt samengevat:

- Het verbranden van biomassa in energiecentrales alleen, blijft een beperkte markt in geïndustrialiseerde landen;
- In ontwikkelingslanden is nog steeds ruimte voor efficiëntieverbeteringen in biomassa verbranders;
- Er is een groot potentieel in het opwaarderen van biomassa naar brandstoffen die gebruikt kunnen worden in traditionele eindgebruikstechnologieën;
- Er is een noodzaak om nieuwe oogst- en conversietechnologieën te ontwikkelen voor energiegewassen;
- De combinatie van biobrandstoffen met brandstofcellen zou de CO<sub>2</sub> emissies in de transport sector aanzienlijk kunnen doen dalen;

- Het heeft duizenden jaren geduurd eer de landbouw planten had ontwikkeld die gebruikt konden worden als voedsel. Er ligt een immens potentieel in het ontwikkelen van planten die geschikt zijn als energiebron.

Figuur 3 geeft op een tijdschaal weer wanneer de verschillende fasen in de doorbraak van bio-energie verwacht worden totdat het stadium van commerciële bijdrage wordt bereikt. Deze studie was weliswaar toegespitst op Denemarken, maar veel van de opmerkingen en resultaten gelden ook voor de Europese context. Deze figuur toont aan dat het tijd vraagt om zaken te veranderen en dat om deze verandering door te voeren beleidsinspanningen nodig zijn.



Figuur 3: Tijdschaal van de doorbraak tot commerciële bijdrage (Larsen et al, 2003)

### 2.3. Demonstratieprojecten in België

Onderzoeksinstituten zoals VITO, Valbiom, ... hebben naast theoretisch onderzoek ook verschillende demonstratie projecten gehad rond biobrandstoffen.

- Zo heeft VITO in de jaren 1994-1998 enkele demonstratieprojecten gehad rond biodiesel. In 1994 werd in samenwerking met AVEVE, een project opgezet waarbij 5 personenwagens op 100% RME (Rapeseed Methyl Ester = Koolzaad ME) reden. Een tweede demonstratieproject werd opgezet in 1996 voor de

demonstratie van UVOME (Used Vegetable Oil methyl ester) als brandstof. Dit project was in samenwerking met Van Gansewinkel en liet 2 auto's en 3 vrachtwagens op deze brandstof rondrijden (Pelkmans, 1999). VITO heeft eveneens een vergelijkende LCA gemaakt over biodiesel en fossiele diesel (Spirinckx C. en Ceuterick D., 1997).

- 15 bussen van de TEC-Hainaut rijden 8 maanden op “biodiesel 20”. Het project was gesponsord door DG TRE en in samenwerking met Fina Research (1991-92);
- In 1994 plaatste de ‘De Smet Group’ in Feschaux een pilootinstallatie voor transesterificatie. Het project was gefinancierd door de Waalse Regio en 3 bedrijven (De Smet Engineering sa, SCAM en Agrifamennes s.c.) De coördinatie gebeurde door GIDEOL.
- Ecopower, dat projecten met hernieuwbare energie en rationeel energiegebruik financiert, is ook gestart met een demonstratieproject (in 2002) van een dieselpersonenauto op plantenolie.
- Pilotproject voor de productie van plantaardige olie op de boerderij. Uitgevoerd door Valbiom (UCL) i.s.m. Manu Lange (landbouwer) en gesteund door de Waalse overheid DG Agriculture (2002-2003).

### 3. CAPACITEIT VAN BIOBRANDSTOFFEN

Op 17 mei 2002 organiseerde Valbiom een ronde tafel waarop bijna alle besluitnemers aanwezig waren.

Zoals eerder vermeld zal het in België eerder voor de hand liggen om de biodiesel optie uit te bouwen, dan de ethanol optie. Het brandstofverbruik is echter groot en de landbouw kan aan een dergelijke vraag niet voldoen. Bijvoorbeeld, om 5,75% diesel te vervangen, zal 351 miljoen liter biodiesel geproduceerd moeten worden. Om een dergelijke hoeveelheid biodiesel te hebben zouden 270 000 ha landbouwgrond met koolzaad moeten verbouwd worden (verondersteld dat de productie gemiddeld 1 300 l/ha is). Dit is vrij onrealistisch gezien het landbouwareaal in België maar 1,4 miljoen ha bedraagt, waarvan 58,4% weiden zijn. Koolzaad wordt geteeld op minder dan 10 000 ha en braakland bedraagt ongeveer 20 000 ha (Jossart, 2003a).

#### 3.1. Primaire grondstoffen

De landbouwers zijn in hoofdzaak verantwoordelijk voor de productie van de primaire grondstof. Biobrandstoffen kunnen gemaakt worden uit verschillende gewassen. Zo kan biodiesel gemaakt worden uit oliehoudende gewassen zoals lijnzaad, koolzaad, zonnebloemen, etc. Ethanol kan gemaakt worden uit suikerbieten, suikerriet, aardappelen, tarwe, etc. Biogas kan dan weer vervaardigd worden uit ligno-cellulose gewassen zoals wilgenplantages en dergelijke.

Het Steunpunt Duurzame Landbouw heeft onlangs (in 2003) een studie uitgevoerd hoeveel biobrandstoffen Vlaanderen zelf kan produceren en onder welke condities. Valbiom heeft hetzelfde gedaan voor Wallonië.

### 3.1.1. Wallonië

Indien Wallonië de Europese objectieven zou halen, zou dit overeenkomen met ongeveer 56 000, respectievelijk 166000 toe (ton olie-equivalent) aan biobrandstoffen (er werd een groei van het transport voorzien van 7,5% tussen 2000 en 2010) (Jossart, 2003b).

De productie van biodiesel zou tot op zeker hoogte, kunnen gebeuren in bestaande industriële entiteiten in België. De productie van ethanol vereist echter specifieke investeringen vooraleer deze kan plaatsvinden (Jossart, 2003b).

De teelt van de grondstoffen is echter gelimiteerd voor wat betreft plantaardige olie. Het potentieel voor de teelt van suiker en zetmeel is veel hoger. Plantaardige olie en biodiesel zouden moeten gereserveerd worden voor enkele specifieke doelen, zoals bijvoorbeeld openbaar vervoer. 11% van de totale landbouwoppervlakte in Wallonië zou volstaan om voldoende biobrandstoffen te produceren zodat het objectief van 5,75% in 2010 gehaald wordt (Jossart, 2003b).

### 3.1.2. België

Binnen het SUSATRANS-project heeft VITO de energievraag van wegtransport ingeschat onder een conservatief Business-As-Usual (BAU) scenario. Meer achtergrond bij het BAU-scenario vindt u in het eindrapport onder de paragrafen 2.4.1 en 4.3 en in annex V. Tabel 2 toont de energievraag voor wegtransport voor de periode 2006-2020 in terrajoule (TJ). We hebben de jaren 2006 en 2011 genomen, omdat de korte termijn doelstellingen (2003/30/EG) ingaan op respectievelijk 31/12/2005 en 31/12/2010. We hebben tevens de Europese strategie inzake biobrandstoffen die momenteel wordt besproken in “Alternative Motor Fuel” contactgroep geëvalueerd. Niveaus tot 15 % biobrandstoffen zouden haalbaar zijn, afhankelijk van de technologische vooruitgang en politieke prioriteiten (Howes, 2004).

*Tabel 2: energievraag voor wegtransport in België onder het BAU-scenario (2006-2020)*

TJ	2006	2011	2016	2020
Benzine	65 595	49 583	41 314	36 719
Diesel	272 572	299 267	319 725	332 852

Om het nodige areaal voor landbouwgewassen in te schatten om tot de vooropgestelde doelstellingen te komen bij de energievraag in Tabel 2, hebben we met de brandstofsificaties en landbouwopbrengsten gewerkt zoals vermeld in Tabel 3.

*Tabel 3: brandstofsificaties en opbrengsten voor biodiesel en bio-ethanol*

Brandstofsificaties					
	Eenheid	Diesel	Biodiesel	Benzine	Bio-ethanol
Verbrandingswaarde	MJ/kg	43,27	37,70	42,72	26,8
Dichtheid	kg/l	0,85	0,88	0,755	0,79
Opbrengst van biodiesel uit koolzaad en bio-ethanol uit suikerbieten (García Ciudad et al., 2003)					
	ton/ha	-	1,281	-	4,844
	l/ha	-	1 456	-	6 132

In 2003 was areaal gebruikt voor landbouwgewassen in België 17 511 km<sup>2</sup> of 1 751 100 ha (NIS, 2004). We hebben deze oppervlakte gebruikt om het nodige aandeel landbouwgrond te schatten om in België zelf te voorzien in de Europese doelstellingen inzake biobrandstoffen. In deze oefening veronderstelden we dat bio-ethanol gesubstitueerd wordt in benzine en biodiesel in diesel voor een aandeel van respectievelijk 2, 5,75 en 15 % op basis van de energie-inhoud.

Ongeveer 7 tot 8 % van de beschikbare landbouwgrond moet ingezet worden om zelf in te staan in de biofuel doelstelling. Meer dan 20 % van de Belgische landbouwgrond zou moeten ingezet worden voor de 5,75 % doelstelling en zelfs 60 % voor de mogelijk toekomstige Europese biobrandstoffenstrategie. Voor België lijkt het niet haalbaar om zelf te voorzien in zijn biobrandstoffen eens het aandeel biobrandstoffen boven 2 % van de totale energievraag komt.

*Tabel 4: Aandeel landbouwgrond in België nodig om zelf te voorzien in de biofuel doelstellingen 2006-2020, in %*

doelstelling/ strategie	Aandeel landbouwgrond nodig voor biofuel additieven, %			
	2006	2011	2016	2020
2,00 %	7,0	7,5	7,9	8,2
5,75 %	-	22	23	24
*15,00 %	-	-	59	61

\* Mogelijke Europese strategie onder discussie binnen de "Alternative Motor Fuel Contact Group"

De bovenvermelde analyse houdt geen rekening met de toename in efficiëntie van de conversietechnologieën voor biomassa en verbetering in opbrengst per hectare (bv. door genetisch gemanipuleerde gewassen).

### 3.2. Olieproductie

Koolzaadolie is in België het enige niet voedselgewas dat geteeld wordt op grote schaal op braakland (Tabel 5). Vroeger werd ook lijnzaad verbouwd (742ha in 1994), maar deze teelt bedraagt nu slechts nog maar enkele hectaren. Elk jaar verkoopt Synagra (de organisatie van verdelers) de non food productie op de markt.

Tabel 5: Koolzaad op braakland (Bron: Jossart, 2003a)

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002 (*)
Set aside percentage	15%	15%	12%	10%	5%	5%	10%	10%	10%	10%
Winter rape area (ha)	2589	8348	6261	3430	1275	1565	3948	3922	3270	3182
Spring rape area (ha)	261	1087	706	191	46	32	104	64	74	
Total non food rape (ha)	2850	9435	6967	3621	1321	1597	4052	3986	3344	
Quantity harvested (t)	7659	25824	20723	12355	4852	5127	14744	10775	11271	
Mean yield (kg/ha)	2688	2737	2974	3412	3547	3210	3639	2703	3370	
Selling price (EUR/100kg)	16,86	12,39	13,14	14,63	19,46	19,83	13,63	15,12	18,47	
Crushing company	Vamo Mills	Vamo Mills	Vamo Mills	Cargill.	Vamo Mills	Vamo mills	Cargill	Oelmuhle Hamburg AG	Cargill	
Processing company for oil	Pantochim Fina Chemicals	Pantochim Fina Chemicals	Fina Chemicals	German and French companies Fina Chemicals	Diester (French Company) Fina Chemicals	FINA chemicals Pantochim Trenal Sigma Mosselman	FINA chemicals French and Holland comp.	Oelmuhle Hamburg AG	Cargill Germany (equivalent principle)	

\* not completed yet

Koolzaad kan verwerkt worden tot olie in Antwerpen door Cargill. De olie kan dan verder geraffineerd worden in Antwerpen, Staden of Izegem. Er werd een joint venture gemaakt, Associated Oil Packers, samen met Vandemoortele. Koolzaad kan ook vermalen worden door Duitse bedrijven (Jossart, 2003a).

Een andere mogelijke ontwikkeling ligt in de korte ketens. Dit betekent dat landbouwers koolzaad zouden telen, olie zouden extraheren en filteren in kleine verwerkingsinstallaties en de olie zouden gebruiken voor hun eigen tractoren en andere voertuigen (Jossart, 2003a).

### 3.3. Productie van biodiesel

De plantaardige olie kan gebruikt worden voor voedingsdoeleinden of als brandstof of verder verwerkt worden tot biodiesel in de raffinaderij. In België zijn er 4 grote raffinaderijen: ExxonMobil refinery, TotalFinaElf, Belgian Refining Company nv en Petroplus international NV. In 2002 werden volgende hoeveelheden motorbrandstoffen verbruikt: zie Tabel 6.

Tabel 6: Verbruik van voornaamste motorbrandstoffen (in duizend ton; [www.petrolfed.be](http://www.petrolfed.be))

	2002
Loodvrije Super 98 oct	629
Super 98 oct met loodvervanger	70
Loodvrije Super 95	1387
Diesel	5632

In 1998 werd ongeveer 5% van de Europese productie van biodiesel, in België gemaakt door Pantochim (19 000 ton van de totale productie van 39000 ton). In juli 2001 werd het bedrijf pantochim/Eurodiol (de Italiaanse groep Sisas) overgenomen door BASF. Deze runt de site in Feluy, die een biodiesel productiecapaciteit heeft van 30 000 tot 60 000 ton per jaar. BASF heeft tot op heden zonder succes getracht biodiesel te verkopen. Dit kan verklaard worden door de stijgende prijs van koolzaad en de dalende prijs voor biodiesel. Recent heeft BASF dan besloten om de biodiesel productie op te geven.

Oleon is een tweede actieve speler op de Belgische markt. Het is een groot Europees bedrijf in oleochemicaliën. Ze kocht de esterificatie eenheden in Oelegem (50-60 000 ton/jaar) en Ertvelde (30-40 000 ton/jaar). Deze behoorden eerder toe aan Atofina/Petrofina. De capaciteit in Oelegem zal zeer waarschijnlijk verhoogd worden tot 100000 ton/jaar in de volgende 2-3 jaar. Tot nu toe produceren zij geen biodiesel, maar een productie van enkele tienduizend ton/jaar zou kunnen plaatsvinden zonder veel investeringen.

De oleochemische industrie is echter ongerust over de impact van biodiesel op de glycerine prijs, die de winst op andere afzetmarkten voor plantaardige olie zou kunnen beïnvloeden.

In 2003 was de enige gebruiker van biodiesel Xylowatt SA, een bedrijf dat werkt rond hernieuwbare energie, en dat voor ethische redenen een VW Polo erop laat rijden (Jossart, 2003a).

Er bestaan echter nog andere bronnen om biobrandstoffen uit te maken. Zo kunnen gebruikte oliën in principe ook als basis gebruikt worden. De ophalers van dergelijke oliën kunnen dus in zekere zin als producent van deze primaire grondstof aanzien worden. Zo is er een firma in Brugge die het doel heeft om uit gebruikte frituurolie biodiesel te maken (ANVAS bvba).

### **3.4. Productie van Ethanol**

Ethanol wordt in Ruisbroek geproduceerd, maar enkel voor voedseltoepassingen (40 000hl/jaar). Er is geen capaciteit aanwezig voor de productie van ethanol als biobrandstof in België (Jossart, 2003).

Omwille van mogelijke problemen met de opslag en distributie van bio-ethanol, verkiezen de oliemaatschappijen en automobielconstructeurs het van ethanol afgeleide product: Ethyl Tertiair Butyl Ether (ETBE; De Vlieger, 1994).

In België kan ten hoogste 3% van het totale benzineverbruik vervangen worden door bio-ethanol. De reacties van de bestuurders van ethanolvoertuigen zijn positief zowel qua rijprestaties, rijcomfort als betrouwbaarheid (De Vlieger, 1994).

## 4. GEKENDE STANDPUNTEN

### 4.1. Belgische Petroleum Federatie (BFP)

De BPF verwerkt reeds ETBE in benzine en vetzuurmethylesters in diesel. Zij wil echter GEEN verplichting van het gebruik van biobrandstoffen in motorbrandstoffen (hierin volgt zij EUROPIA (European Petroleum Industry Association<sup>3</sup>))owv

- technische problemen die nog moeten worden opgelost;
- er moet nog bewezen worden dat biobrandstoffen een positieve ecologische balans hebben;
- ze moeten het zien te redden zonder fiscale steun (op dit moment niet competitief genoeg);
- het moet verenigbaar blijven met de doelstellingen inzake verbetering van de luchtkwaliteit door de richtlijnen "auto-oil" 1 en 2 die door alle actoren in het wegvervoer zijn goedgekeurd.

De verplichting tot het gebruik van biobrandstoffen kan niet worden overwogen vooraleer een oplossing is gevonden voor de economische, ecologische, technische en logistieke problemen, die zij doen rijzen.

(Bron: <http://www.petrolfed.be/nl/dossiers/biobrandstoffen.html>)

### 4.2. European Environmental Bureau (EEB)

Het EEB vindt dat 'biofuels' niet de oplossing zijn om broeikasgassen te reduceren in de transportsector owv de volgende redenen:

- Biobrandstoffen zijn niet echt een kostenefficiënte maatregel voor CO2 besparing (hoge kost);
- Biobrandstoffen plantages eisen
  - een zeer intensieve landbouw (veel meststoffen en dergelijke);
  - een groot areaal land;
  - houden risico's in voor bodem- en grondwater;
  - zullen de biodiversiteit doen dalen.
- De voordelen zijn onzeker.

Het is beter om veelbelovende en innovatieve technologieën te promoten die organisch afval van landbouw en bosbouw omzetten in biobrandstoffen, dan biobrandstoffen te maken uit 'dedicated crops'. Daarenboven bestaat er maar een klein potentieel om fossiele brandstoffen te vervangen.

(Bron: <http://www.eeb.org/publication/EEB-POSITION-PAPER-ON-BIOFUELS-FINAL-21-May.pdf>)

---

<sup>3</sup> "EUROPIA's position is that biofuels are not a cost competitive solution to energy and environmental objectives, and hence that their application should not be mandated."p11 Citaat uit het jaarrapport 2002 van EUROPIA ([http://www.europia.com/Europia\\_Activity\\_report\\_2002.pdf](http://www.europia.com/Europia_Activity_report_2002.pdf)).



### **4.3. Committee of Agricultural Organisations in the EU (COPA) and General Committee for Agricultural Cooperation in the EU (COGECA)**

De twee organisaties staan volledig achter de invoering van de EG-richtlijn 2003/30 en 2003/96, en vinden dat deze zo snel mogelijk ingevoerd zou moeten worden. Daarenboven zeggen zij dat biobrandstoffen nodig zijn om aan de Kyoto-doelstellingen te voldoen en minder afhankelijk te worden van fossiele energie. Het voordeel dat zij zien boven ander brandstoffen is dat biobrandstoffen reeds kunnen gebruikt worden in bestaande voertuigen. Zij vinden het vervolgens ook een goede zaak voor de landbouw omwille van de volgende redenen:

- Diversifiëring van het landschap;
- Behoud van tewerkstelling en creatie van nieuwe gebieden van activiteiten en dus ook nieuwe jobs;
- Verbetering van de plantaardige proteïne voorraad van de EU (op dit moment wordt 70% ingevoerd);
- Aanbieden van nieuwe mogelijkheden voor toetredende landen. Deze hebben in het algemeen meer landbouwland en productie van biobrandstoffen zal de integratie vergemakkelijken van de landbouwsector in het Gemeenschappelijke Landbouwbeleid (GLP).

Zij verklaren dat Europa nu al in staat is om biobrandstoffen te produceren op grote schaal. (Bron: COPA & COGECA, 2002)

### **4.4. European Biomass Association (AEBIOM)**

AEBIOM is zeer positief tov de nieuwe richtlijn. Zij verwachten echter een meer algemeen en positief concept rond de definitie van taks vrijstelling, vooral omdat de productie van biobrandstoffen duurder is dan deze uit ruwe olie.

Een snelle ontwikkeling van biobrandstoffen zal dus maar plaatsvinden indien er sterke economische drijfveren gecreëerd worden voor de industrie om in deze nieuwe tak te investeren. Een taks vrijstelling die echter te nauw wordt opgevat kan een hindernis betekenen voor de ontwikkeling van de biobrandstoffenindustrie. Daarom stelt AEBIOM voor om :

- De periode van taks vrijstelling op te trekken van 2010 tot 2020;
- De taks vrijstelling zou moeten toegestaan worden voor brandstoffen met meer dan 50% biobrandstoffen tot het jaar 2020.

Uiteindelijk vragen zij nog dat de minimale taksen die geheven worden op fossiele brandstoffen omhoog zouden gaan, opdat de prijzen van fossiele brandstoffen beter geharmoniseerd zouden worden en zodat biobrandstoffen competitiever zouden worden.

(Bron: <http://www.ecop.ucl.ac.be/aebiom/publications/Paper%20Liquid%20biofuels.htm>)

#### 4.5. European Oleochemicals & Allied Products Group (APAG)

APAG heeft zo zijn bedenkingen bij de gevolgen van grootschalige biodiesel productie, op de vrije markt van de oleochemische industrie. Glycerine is namelijk een bijproduct van de biodiesel productie. De gesubsidieerde productie van methylesters van olie en vetten voor gebruik als biodiesel genereert grote hoeveelheden glycerine die anders niet op de markt zouden komen zonder de subsidies. APAG vreest dat deze hoeveelheden van glycerine niet alleen de gewone productie van glycerine zal vervangen, maar ook in competitie zal treden met andere producten. De prijs van de glycerine zal zo sterk dalen dat deze producten niet meer in een competitieve situatie zitten.

Zij zijn vooral bezorgd over de vrijstelling van accijnzen bij de productie van biodiesel. Dat hierdoor hogere olie en vetten prijzen zullen worden gecreëerd en dat de voedingsindustrie, de veevoederindustrie en de oleochemische industrie nu zullen moeten gaan concurreren met een gesubsidieerde industrie.

(Bron: <http://www.apag.org/issues/Biofuels%20May%202002.pdf>)

#### 4.6. European Biodiesel Board (EBB)

EBB is de Europese Federatie van biodieselproducenten. Zij hebben 20 leden, die in totaal instaan voor ongeveer 90% van de biodieselproductie in Europa.

De EBB is voorstander van een verplichte bijmenging door de olie-industrie. Het aanbieden van verschillen de brandstoffen aan de pomp (bv 0% en 2% biodiesel) verhoogt de distributiekosten voor de petroleum maatschappijen en is ook niet gewenst. Eén brandstofkwaliteit met een vaste verhouding biodiesel ( 5% voldoet aan de dieselnormering) is optimaal (mond. comm.).

### 5. IMPLEMENTATIE RICHTLIJNEN BIOBRANDSTOFFEN IN BELGIË

#### 5.1. Richtlijnen biobrandstoffen

In 2003 werden twee Europese richtlijnen goedgekeurd die een directe link hebben met biobrandstoffen. Zo is er *richtlijn 2003/30/EG* ter bevordering van het gebruik van biobrandstoffen of andere hernieuwbare brandstoffen in het vervoer (§1.1) en *richtlijn 2003/96/EG* tot herstructurering van de communautaire regeling voor de belasting van energieproducten en elektriciteit (§1.2).

Tevens werd in 2003 een richtlijn goedgekeurd die betrekking heeft op de kwaliteit van de diesel/benzine. *Richtlijn 2003/17/EG* (§1.3) geeft aangepaste specificaties voor benzine en diesel, waarbij de brandstof na bijmenging met biobrandstoffen nog steeds moet voldoen aan de specificaties voor benzine (norm EN228) of dieselbrandstof (norm EN590). Tenslotte werd in 2003 ook een standaard voor biodiesel (FAME; Europese standaard EN 14214:2003) opgesteld (§1.4). Onderstaande paragrafen geven een meer gedetailleerde uitleg over de voorgestelde richtlijnen.

### 5.1.1. Richtlijn 2003/30/EG rond biobrandstoffen

De richtlijn rond biobrandstoffen legt de lidstaten op dat zij een minimaal aandeel van biobrandstoffen en andere hernieuwbare brandstoffen op hun markten moeten aanbieden en leggen daarvoor nationale indicatieve streefcijfers op. In de 1<sup>e</sup> fase bedraagt de referentiewaarde voor deze streefcijfers 2%, berekend op basis van de energie-inhoud van de totale hoeveelheid benzine en dieselolie die eind december 2005 voor vervoersdoeleinden op hun markten aangeboden wordt. In de 2<sup>e</sup> fase bedraagt de referentiewaarde voor de streefcijfers 5,75% van de energie-inhoud van de totale hoeveelheid benzine en dieselolie die eind december 2010 voor vervoersdoeleinden op hun markten aangeboden wordt.

De lidstaten dienen jaarlijks vóór 1 juli te rapporteren aan de Europese Commissie over de genomen maatregelen voor de bevordering van biobrandstoffen, aangewende middelen en de afzet van biobrandstoffen op de markt in het voorafgaande jaar. In juli 2004 moeten de lidstaten hun nationale indicatieve streefcijfers aangeven voor fase 1 (dec. 2005); in juli 2006 voor fase 2 (dec. 2010).

Er kan afgeweken worden van de door de EC vermelde streefcijfers mits voldoende rechtvaardiging op basis van objectieve factoren, zoals een beperkt nationaal productiepotentieel of inzet van middelen voor productie van biomassa voor energiegebruik of voor productie van andere transportbrandstoffen op basis van hernieuwbare energie (bv waterstof).

Eind 2006 zal de Europese Commissie een evaluatieverslag opmaken over de vooruitgang in de lidstaten. Op grond van dat verslag kunnen de streefcijfers worden aangepast, of in het geval dat afwijkingen niet voldoende gerechtvaardigd zijn, kunnen eventueel bindende streefcijfers voorgesteld worden.

### 5.1.2. Richtlijn 2003/96/EG rond energietaksen

Deze richtlijn stelt de lidstaten in staat om, onder fiscaal toezicht, belastingsvrijstelling te verlenen of een verlaagd belastingsniveau te hanteren voor biobrandstoffen.

Het is echter belangrijk om in het achterhoofd te houden dat de richtlijn de lidstaten de *mogelijkheid* geeft tot belastingsreductie voor biobrandstoffen en dat het zeker geen verplichting is. Ook blijven biobrandstoffen onder fiscaal toezicht. Dit houdt in dat de biobrandstoffen die als transportbrandstof ingezet worden, officieel geregistreerd dienen te worden; ook de producent van de brandstof moet als dusdanig erkend worden.

De belastingsreductie is beperkt tot het gedeelte biobrandstof in de brandstof (bv indien het bio-gedeelte 10% bedraagt, kan de belastingsreductie ook maar maximaal 10% bedragen). Om overcompensatie te vermijden zal de belastingsreductie worden aangepast naargelang de grondstofprijzen. Het is m.a.w. enkel de bedoeling de hogere productiekost van biobrandstoffen te compenseren.

Deze richtlijn is gelimiteerd in tijd, met name tot 6 jaar, met een mogelijkheid tot verlenging. Verder dienen de lidstaten op het eind van elk jaar (te beginnen in 2004) aan de Europese Commissie een lijst voor te leggen van de toegepaste belastingsvrijstellingen of –verlagingen.

### 5.1.3. Richtlijn rond kwaliteit van brandstoffen

Brandstoffen kunnen vermengd worden met biobrandstoffen, maar dienen dan nog steeds te voldoen aan de richtlijn rond brandstofkwaliteit voor benzine (norm EN228) of dieselbrandstof (norm EN590). In de praktijk beperken de brandstofspecificaties in deze normen de bijmenging van biobrandstoffen tot een maximum percentage. Voor hogere percentages of gebruik van 100% biobrandstof dienen voertuigen speciaal aangepast te zijn.

Tegen december 2005 zal de Europese Commissie de brandstofspecificaties evalueren en eventuele wijzigingen voorstellen. De Commissie houdt daarbij onder meer rekening met de noodzaak van de bevordering van de invoering van alternatieve brandstoffen, onder meer biobrandstoffen, alsmede de noodzaak om wijzigingen aan te brengen in andere parameters in de brandstofspecificaties. Deze wijzigingen gelden dan zowel voor conventionele als voor alternatieve brandstoffen. Onder de mogelijke wijzigingen vallen de maximumvoorwaarden voor de vluchtigheid van benzine voor de toepassing daarvan op mengsels van bio-ethanol met benzine.

### 5.1.4. Biodiesel kwaliteitsstandaard

In 2003 werd de Europese standaard EN 14214:2003 voor vetzuurmethylesters (Fatty Acid Methyl Esters – FAME), meestal biodiesel genoemd, goedgekeurd. Deze standaard is reeds omgezet in een Belgische NBN standaard. Deze standaard specificiert de eisen en testmethoden voor commerciële en geleverde biodiesel die gebruikt wordt als brandstof voor wegvoertuigen, hetzij in een concentratie van 100%, hetzij als bijmenging bij dieselbrandstof, die dan aan de eisen van de norm EN 590 moet voldoen. In een concentratie van 100% kan de brandstof aangewend worden in dieselvoertuigen die omgebouwd werden of ontworpen zijn om te rijden op FAME.

## 5.2. Beleidsinitiatieven in België

De eerste signalen vanwege de Belgische overheid werden gegeven na de federale ministerraad van Petit-Leez (16 en 17 januari 2004).

Dit signaal werd bevestigd op een symposium “Clean Technologies” georganiseerd door het Kabinet Moerman op 2 februari 2004 rond gerelateerde thema's voor milieuvriendelijk transport, evenals op de Valbiom Ronde Tafel rond biobrandstoffen op 3 februari 2004. Daar werd verklaard dat België tegen eind 2005 2% biodiesel zal bijmengen in de dieselvoorraad en zo de Europese Richtlijn zal halen. Dit zegt nog niet hoe dit juist zal worden gedaan in de praktijk. Hier moet dus nog steeds een antwoord op worden gezocht.

Citaat uit persartikel “**Verhofstadt lanceert goedkopere biodiesel**”, 16/01/2004:

*“In 2005 zal men 2 procent biodiesel uit bijvoorbeeld koolzaad toevoegen aan klassieke diesel. Dat loopt op tot 6 procent in 2010. Klassieke dieselmotoren kunnen deze percentages biodiesel zonder problemen aan. Het is nog niet duidelijk hoeveel goedkoper de diesel aan de pomp precies zal worden. Net voor de start van de speciale ministerraad kondigt premier Verhofstadt een maatregel aan die niet meteen veel jobs zal opleveren maar wel goed zal zijn voor het leefmilieu én voor uw portefeuille. In feite wordt de premier voor een goed stuk hiertoe verplicht door een Europese richtlijn. Die wil Verhofstadt nu in Belgische wetgeving laten omzetten. De richtlijn maakt het ook mogelijk om géén accijns te heffen op biodiesel en dat is wat de premier ook wil doen, waardoor biodiesel goedkoper wordt dan gewone diesel. En de chauffeur moet niets doen want alle dieselmotoren werken perfect op biodiesel.”*

Ter informatie wordt in Tabel 7 de stand van zaken in maart 2004 weergegeven van de implementatie van de Richtlijn 2003/96.

De Europese standaard EN 14214:2003 voor vetzuurmethylesters (Fatty Acid Methyl Esters – FAME), meestal biodiesel genoemd, werd reeds omgezet in een Belgische NBN standaard.

*Tabel 7: Overzicht situatie accijnsvrijstellingen biodiesel in de EU-landen, maart 2004  
(Bron: <http://www.mvo.nl/biobrandstoffen/>)*

<b>Land</b>	<b>%</b>	<b>EUR/m<sup>3</sup></b>	<b>Opmerkingen</b>
België	0	0	Premier Verhofstadt heeft toegezegd het doel voor 2005 (2 % biobrandstoffen) te zullen halen en accijnsvrijstelling in overweging te nemen
Duitsland	100	470	Vrijstelling geldt voor pure biodiesel en voor mengsels; grootste productiecapaciteit van de EU
Frankrijk	80	330	Vrijstelling geldt voor mengsels met 5 % (particulieren) en 30% (voertuigparken) biodiesel; maximaal productiequotum 387.500 ton
Italië	100	403	Vrijstelling geldt voor mengsels met 5 % (particulieren) en 25 - 30% (voertuigparken) biodiesel; quotum van 300.000 ton voor biodiesel als transportbrandstof, volledige vrijstelling bij inzet als stookolie
Oostenrijk	100	290	Vrijstelling geldt voor pure biodiesel en voor mengsels met minimaal 2 procent biodiesel
Polen	100	onb	Vrijstelling gaat vergezeld van verplichting tot marktpenetratie; geen productiecapaciteit
Spanje	100	294	Vrijstelling geldt voor alle biodiesel, maar deze moet wel gemaakt zijn van soja- of zonnebloemolie
Ver Koninkrijk	vast bedrag van 20 pence per liter	300	Vrijstelling maakt productie biodiesel uit gebruikt frituurvet economisch aantrekkelijk, productie uit plantaardige olie niet
Zweden	onb.	344	Vrijstelling stimuleert biodiesel nog niet omdat de nadruk in productie en beleid op andere biobrandstoffen (bio-ethanol) ligt

## 6. BEVRAGING STAKEHOLDERS

### 6.1. Ronde tafel Valbiom

Initieel was het onze bedoeling om een ronde tafel te organiseren met alle belangrijke stakeholders in het domein van biobrandstoffen. Valbiom asbl [5] had echter een analoge idee in de pijplijn. . . Onze ronde tafel zou dus niet veel toegevoegde waarde meer hebben, aangezien quasi dezelfde stakeholders uitgenodigd zouden worden – ware het niet dat de onze ook Vlaamse en Federale actoren zou bevatten. Er werd dan besloten deel te nemen aan deze ronde tafel (03/02/2004). In de voormiddag werden verschillende lezingen gehouden over de huidige stand van zaken. In de namiddag was er een discussie voorzien met de belangrijkste stakeholders. Voor deze discussie werden een aantal vragen voorbereid en opgestuurd naar de organisatie. Ze werden voor het grootste deel beantwoord tijdens deze discussie. Hieronder (Box 1) vind je de vragen terug waarop wij een antwoord zochten.

#### **Box 1: Vragen voor de ronde tafel op 03/02/2004 bij Valbiom [5] in Luik.**

1. La réalisation de la directive européenne peut être accomplie en différentes manières:
  - a. produire nous-mêmes les matières premières et les convertir en biocarburants,
  - b. importer les matières premières et les convertir nous-mêmes,
  - c. utiliser des déchets organiques comme matières premières,
  - d. ou importer les biocarburants tout court.
 Quelle stratégie sera la plus efficace en fonction des coûts et faisabilité, et pourquoi?
2. L'utilisation des biocarburants : est-ce qu'on produit un carburant « blended » ou pur ? Ceci peut aussi se traduire dans la question suivante : est-ce qu' on introduit les biocarburants chez le public général ou seulement dans des parc de véhicules, comme des compagnies de bus ou des entreprises ?
3. Quelles sont les barrières les plus importantes qui empêchent d'introduire/ l'utilisation des biocarburants ? Ceci ne concerne pas seulement le volet économique, mais aussi sociétal . Est-ce que le public acceptera de rouler avec des biocarburants ?
4. Primes fiscales : est-ce qu'il existe des plans en Belgique (ou Régions) de baisser ou supprimer les accises pour les biocarburants ?

De antwoorden op de vragen in Box 1, kunnen een aanzet zijn tot een mogelijke implementatiepad. Zij worden in de volgende paragrafen weergegeven.

### 6.1.1. De meest efficiënte strategie voor de introductie van biobrandstoffen?

De distributie van biobrandstoffen in het totale brandstofsysteem (via bijmenging met fossiele brandstoffen) zal volledig aan de petroleumsector overgelaten worden. Zij zullen de biobrandstoffen in eerste instantie moeten aankopen (waarbij zij op zoek zullen gaan naar de goedkoopste basisproducten). De taak van de overheid is het kader te creëren waarin dit mogelijk is (accijnsverlaging, productnorm, eventueel verplichte bijmenging van x %).

Het lijkt zeer moeilijk voor België om zelf voldoende biobrandstoffen te genereren om te voldoen aan de doelstellingen van de richtlijn. Indien in eigen land niet voldoende biobrandstoffen kunnen geproduceerd worden, is er nog de optie import van biobrandstoffen. Het is geweten dat Brazilië een grote ethanolproducent is. Deze productie wordt gesubsidieerd door de lokale overheid en is op dit moment een stuk goedkoper dan wat in Europa haalbaar is voor ethanolproductie. Het is echter de vraag of de Braziliaanse regering deze subsidie zal blijven toekennen indien het grootste deel van deze productie bestemd is voor de export. We moeten er ook voor oppassen dat er geen economische problemen gecreëerd worden in de landen waar de biobrandstof uit geïmporteerd wordt.

Import van biodiesel uit Frankrijk of Duitsland is ook niet evident. Cijfers lijken er op te wijzen dat zelfs deze landen moeilijk de doelstellingen kunnen halen, wat zouden wij dan biodiesel gaan importeren uit deze landen. In Nederland is er een nieuwe fabriek in oprichting voor de productie van biodiesel, ATEP Nederland bv met een toekomstige productie van 100.000 ton/jaar [6].

Volgens Palmers et al. (2004) zal België vanaf 2010 op grote schaal biomassa invoeren vanuit andere Europese landen.

### 6.1.2. Gemengde of pure biobrandstof?

Voor biobrandstoffen wordt voorlopig uitgegaan van 2 categorieën:

- Biodiesel = methyl ester, die voldoet aan de norm EN 14214, (pure plantaardige olie wordt voorlopig niet meegenomen voor de Belgische situatie). Indien bijgemengd bij diesel dient het totale product te voldoen aan de norm voor diesel (EN 590).
- Bio-benzine = bio-ethanol, bio-ETBE, bio-methanol, bio-MTBE. Indien bijgemengd bij benzine dient het totale product te voldoen aan de norm voor benzine (EN 228).

Op dit moment wordt de optie 100% biobrandstof voor publieke markt niet meegenomen wegens de onduidelijkheid aangaande de garantie van de voertuigconstructeurs en de certificatie voor de ombouwkits. De consumenten moeten echter steeds de keuze krijgen: biodiesel of niet.

Voor voertuigvloten is het echter wel mogelijk om met pure biobrandstof te werken. De vloot zal dan omgebouwd moeten worden en het bedrijf zal zelf een brandstofopslagcapaciteit moeten voorzien aangezien publieke tankstations niet uitgerust zullen zijn met pompen op B100<sup>4</sup>. Dit vereist een vrij grote investering en het is dan ook de vraag of privé-bedrijven deze investering zullen doen zonder fiscale tegemoetkoming van de overheid. Voor openbare voertuigvloten zoals De Lijn, de TEC, MIVB of de Post ligt dit

---

<sup>4</sup> BX : X stelt het percentage biodiesel voor dat bijgemengd wordt. Hier is het B100, nl. 100% biodiesel.

anders. De overheid heeft hier een duidelijke inspraak, evenals in hun eigen vloten: OVAM, wagens van Ministeries en administraties, etc.

### 6.1.3. **Belangrijkste barrières voor introductie/uitvoering?**

De *subsidie die aan de landbouwers* wordt gegeven voor de teelt van energiegewassen op gewone landbouwgrond is betrekkelijk laag: 45€/ha. Hier zullen weinig boeren in België op ingaan. De premie voor braakgronden daarentegen bedraagt gemiddeld 250€/ha, afhankelijk van de regio. Er is echter een limiet gezet op de oogst van gewassen voor industrieel oliën (Blairhouse agreement), zodat niet alle braakgrond hieraan kan gewijd worden.

*Brandstofsificaties* zijn enorm belangrijk. Indien deze niet gehaald worden of er voor een brandstof geen specificaties bestaan, staan autoconstructeurs zeer afkerig tegenover biobrandstoffen. De overheden kunnen eigenlijk enkel werken vanuit Europees goedgekeurde specificaties. Het goedkeuren van de Europese norm voor biodiesel in 2003 is dan ook een zeer belangrijk feit.

*Bijmenging* van biodiesel bij diesel (tot 5%) en ETBE bij benzine (tot 15%) vormt geen enkel probleem wat betreft de specificaties. Ethanol ligt al moeilijker omdat dit de vluchtigheid van de brandstof verhoogt.

*Medewerking van oliemaatschappijen* is aangewezen, omdat die gespecialiseerd zijn in de distributie van de brandstof. Compatibiliteit met de huidige brandstofinfrastructuur en met de huidige voertuigen maakt de zaak ook veel eenvoudiger.

### 6.1.4. **Fiscale incentives?**

De Belgische overheid is bereid een accijnsverlaging toe te passen voor biodiesel, maar hun initiatief voor defiscalisatie mag geen budgettaire consequenties hebben. De totale inkomsten uit accijnzen mogen niet verlagen. In de praktijk zullen de accijnzen op de fossiele diesel vermoedelijk licht verhoogd worden om het accijnsverlies op het biodieselgedeelte te compenseren. De totale kostprijs van de brandstof aan de pomp zal dan ook iets verhogen (met 1 à 2 Eurocent per liter, indien tot 5% wordt bijgemengd).

De overheid voorziet een globale bijmenging van enkele % biobrandstof (die ze aan dezelfde prijs, of indien mogelijk goedkoper willen maken dan volledig fossiele brandstof). Of pure biobrandstoffen op de markt komen, is nog onduidelijk. Het is namelijk niet gegarandeerd dat deze een volledige accijnsvrijstelling krijgen.

Biobrandstoffen zullen altijd onder het fiscale regime vallen. Zelfs bij accijnsvrijstelling moet elke productie-eenheid van biobrandstof een administratieve controle ondergaan. Dit zou zeker een rem kunnen betekenen op de zogenaamde “korte keten” (uitgebreide administratieve rompslomp).



## 6.2. Bevraging VITO

Om een duidelijk beeld te krijgen hoe het best biobrandstoffen kunnen ingevoerd worden in het huidige transportsysteem in België, hebben wij een aantal belangrijke spelers in dit veld bevraagd.

Het doel van deze bevraging was om een antwoord te bekomen op de volgende vragen:

- Wat is de huidige en toekomstige (theoretische) capaciteit van de producten die zij produceren (die rechtstreeks te maken hebben met vloeibare biobrandstoffen)? Ze hoeven het op dit moment niet speciaal te produceren.
- Welke zijn de zaken die verhinderen dat de productie de dag van vandaag niet gericht is op biobrandstoffen?
- Welke tegemoetkomingen van de overheid moeten er komen opdat er wel een productie van vloeibare biobrandstoffen zou komen?

De vragenlijst is terug te vinden in Bijlage 1.

### 6.2.1. Stakeholders

We hebben een 20-tal spelers aangeschreven, zie onderstaande tabel.

<p><b>Belgische Petroleum Federatie</b> De heer Luk Deurinck Kunstlaan 39 bus 2 1040 BRUSSEL</p>	<p><b>Valbiom asbl</b> De heer Jean Marc Jossart Université catholique de Louvain Laboratoire ECOP Grandes Cultures Croix du Sud 2 bte 11 1348 Louvain-la-Neuve (<a href="mailto:jossart@valbiom.be">jossart@valbiom.be</a>)</p>
<p><b>Tiense Suikerraffinaderij NV</b> Studiedienst <a href="#">Vanheelen</a> Johan Proj. Ir. Energie Aandorenstraat 1 3300 Tienen Tel: 016/801262 Fax: 016/820317 (<a href="mailto:johan_vanheelen@tnn.raftir.be">johan_vanheelen@tnn.raftir.be</a>)</p>	<p><b>Esso Belgium</b> <b>divisie van ExxonMobil Petroleum &amp; Chemical B.V.B.A.</b> <b>Raffinaderij Antwerpen</b> De heer Jan Vissers Polderdijkweg, 2030 Antwerpen Haven 447, België Tel: +32 (0)3/543.31.11 Fax: +32 (0)3/543.34.95</p>
<p><b>Petroplus Refining Antwerp N.V.</b> De heer Jan Broos Haven 279 Beliweg 20 2030 Antwerpen (<a href="mailto:jbroos@petroplus.be">jbroos@petroplus.be</a>)</p>	<p><b>Belgian Refining Corporation nv</b> De heer Luk Van Berendonck Scheldelaan 490 2040 Antwerpen (<a href="mailto:brc@brc.be">brc@brc.be</a>)</p>

<b>Amylum</b> De heer Hendrik Lemahieu 10 Burchtstraat B - 9300 Aalst ( <a href="mailto:lemahieuh@amyllum.com">lemahieuh@amyllum.com</a> ) T. 00 32 53 73 33 33 F. 00 32 53 73 30 33	<b>Total Raffinaderij Antwerpen N.V.</b> T.a.v. dhr. Jan Mares Milieucoördinator Scheldelaan 16 B- 2030 Antwerpen ( <a href="mailto:jan.mares@total.com">jan.mares@total.com</a> )
<b>Fina Antwerp Olefins n.v.</b> Haven 447 Scheldelaan 10 2030 Antwerpen	<b>Oleon NV</b> De heer Dirk Packet Assenedestraat 2 9940 Ertvelde ( <a href="mailto:dirk.packet@oleon.com">dirk.packet@oleon.com</a> )
<b>Boerenbond</b> De heer Jacques Van Outryve Minderbroedersstraat 8 3000 Leuven tel: 016/24.47.04 ( <a href="mailto:jacques_van_outryvre@boerenbond.be">jacques_van_outryvre@boerenbond.be</a> )	<b>NV CARGILL<sup>5</sup></b> Haven 506 Muisbroeklaan 43, B-2030 Antwerpen Telefoon 03-540 18 11, Fax 03-540 18 60
<b>ANVAS bvba ALL VET Biodiesel Producer</b> Winy De Schryver Dirk Martensstraat 12 B-8000 BRUGGE Tel +32 50 31 55 12 Fax +32 50 31 55 13 ( <a href="mailto:anvas.wds@edpnet.be">anvas.wds@edpnet.be</a> )	<b>Hoofdkantoor Lipids &amp; Dough Division Vandemoortele Izegem</b> Prins Albertlaan 12 8870 Izegem Tel.:+32 (0) 51.33.22.11 Fax: +32 (0) 51.33.23.10
<b>BVBA associated Oil Packers (Joint Venture)<sup>6</sup></b> St. Jansstraat 122, B-8840 Staden Telefoon 051-70 92 51, Fax 051-70 07 02	<b>Prayon s.a. - Production site Puurs</b> Gansbroekstraat 31 B-2870 Ruisbroek Albert Bos <a href="mailto:abos@prayon.be">abos@prayon.be</a>
<b>PUBLICIST</b> De Heer Ward Janssen <b>ward.janssen@freebel.net</b>	<b>APIS Consulting</b> De heer Lode Speleers Carolinalei 6 2930 Brasschaat

<sup>5</sup> productie van ruwe en geraffineerde olie uit vnl. raapzaad en sojabonen voor o.a. de levensmiddelenindustrie en van bijproducten voor de mengvoederindustrie – er is ook een afdeling in Izegem NV CARGILL Prins Albertlaan 12, B-8870 Izegem, telefoon 051-33 22 11, Fax 051-33 22 61 (zie ook Vandemoortele)

<sup>6</sup> afvullen, verpakken, commercialiseren en distribueren van plantaardige oliën – er is ook een afdeling in Izegem BVBA associated Oil Packers (Joint Venture) Prins Albertlaan 12, B 8870 Izegem Telefoon 051-33 26 11, Fax 051-33 25 17 (zie ook Vandemoortele)

## 6.2.2. Haalbaarheid van de productie van biobrandstoffen

Verschillende respondenten menen dat België over een voldoende potentieel beschikt om aan de Europese richtlijn te voldoen. Dit geldt zowel voor biodiesel als bio-ethanol. Er bestaan echter niet alleen politieke hindernissen. Ook de termijn waarin deze productie verwacht wordt, speelt een grote rol. Tabel 8 geeft de productie weer voor biobrandstoffen<sup>7</sup> waarvan wij gegevens hebben binnengekregen via de enquête. Dit is zeker niet de gehele potentiële productie in België, aangezien VITO niet op de hoogte is van alle initiatieven en er tevens een onzekerheid is kan zitten op de prognoses.

Tabel 8: Indicatieve productiecijfers volgens de geënquêteerde bedrijven (in ton)

Product	2003	2006	2011
Methyl esters*	45000	50000	60000
MTBE fossiel	230000	230000	
ETBE **			230000
Plantaardige olie ***	NA	NA	NA
FAME biodiesel	2500	60000	200000

\* gebruikt voor oleochemische toepassingen

\*\* MTBE productie kan geconverteerd worden naar ETBE

\*\*\* productiepotentieel van de plantaardige olie sector is groot (geen cijfers verkregen), maar geplande toepassingen als biobrandstof zijn eerder op kleine schaal

Op *korte termijn* (2005) is het moeilijk om de Europese normen te halen door middel van eigen productie. Zeker voor bio-ethanol of –ETBE zal dit niet gaan, omdat er op dit moment geen productie-entiteiten zijn in België. Import is dan de enige oplossing. Bijmenging van 5% biodiesel is, theoretisch gezien, haalbaar. Het toelaten van productie van biodiesel uit andere grondstoffen dan landbouwteelten, bijvoorbeeld organisch afval of opgehaalde frituurolie, zal het halen van de richtlijn vergemakkelijken. Dit is echter enkel mogelijk indien er een accijnsvrijstelling of –vermindering wordt doorgevoerd zodat biobrandstoffen goedkoper worden dan fossiele brandstoffen.

Op *langere termijn* zou België de productie hoogstwaarschijnlijk aankunnen, indien de overheid voor de juiste stimulansen zorgt. Om de norm van 5,75% te halen in 2011, zullen investeringen nodig zijn in nieuwe productie-entiteiten zowel voor biodiesel als bio-ethanol. Een *absolute noodzakelijkheid* is hier echter de defiscalisatie van biobrandstoffen en een tussenkomst in de investeringen voor nieuwe entiteiten van de overheid, zoals dit in Duitsland gebeurt bij Sudzucker. Het benadrukken van het lange termijn aspect kan een positieve stimulans zijn voor de productie van biobrandstoffen.

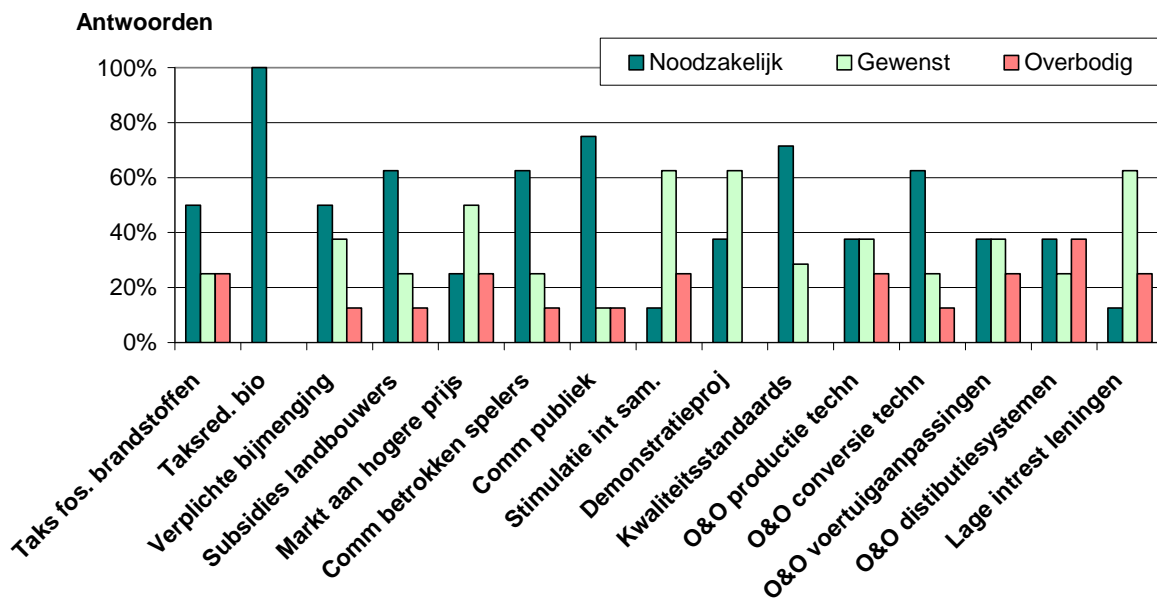
<sup>7</sup> De cijfers in deze tabel geven de potentiële productiecapaciteit weer in België voor biobrandstoffen. Dit betekent niet dat al deze productie als eindbestemming biobrandstoffen heeft op dit moment.

### 6.2.3. Benodigde mechanismen en instrumenten

Een tweede vraag in deze enquête betrof de mening van de respondenten over de invoering van mogelijke mechanismen en instrumenten die de overheid ter beschikking heeft om de invoering van biobrandstoffen te bevorderen (Figuur 4).

Ieder van de bevroegden was van mening dat er een taksreductie moet komen op biobrandstoffen. Daarnaast achten zij de communicatie naar het publiek, subsidies voor landbouwers, kwaliteitsstandaarden voor de brandstof, onderzoek en ontwikkeling van conversietechnologieën en goede demonstratieprojecten van cruciaal belang.

Andere gesuggereerde instrumenten zijn: ondersteunend labo-onderzoek voor landbouwers aan universiteiten, 100% vrijgave van auto's voor biobrandstoffen, biodiesel vervangen door plantaardige olie, ... .



Figuur 4: Benodigde mechanismen en instrumenten voor de invoering van biobrandstoffen

### 6.2.4. Redenen voor het niet produceren van biobrandstoffen

De meest aangehaalde reden voor het niet produceren van biobrandstoffen is dat er geen, al dan niet volledige, defiscalisatie is van biobrandstoffen. Hierdoor kunnen de producenten van deze biobrandstoffen niet concurreren met de prijzen van importproducten. De producenten zijn bezorgd om de economische rentabiliteit van hun bedrijf in de huidige omstandigheden.

Naast de nodige financiële redenen werden ook kwaliteitsaspecten en beschikbaarheid van biobrandstoffen in vraag gesteld. Het is namelijk belangrijk om vooraf een duidelijk wettelijk, fiscaal en normatief kader op te stellen.

De bevindingen geven aan dat de aanbevelingen gemaakt door Palmers et al. (2004) ook gelden voor biobrandstoffen voor transport (zie voetnoot7).

### 6.3. Europese workshop rond “Biofuels”

In deze sectie worden de resultaten van de workshop in het kader van CO-OPET op 26/5/04 verwerkt.

Op 26 mei 2004 had in Brussel een internationale workshop rond biobrandstoffen plaats in het kader van het Europese Co-Opet project. Op deze workshop werd gekeken naar strategieën om de Europese Richtlijn rond biobrandstoffen in te voeren. De onderwerpen die behandeld werden, omvatten onder andere de Europese strategie, technische en niet-technische barrières en de invloed van biobrandstoffen op de samenleving.

De presentaties gaven een overzicht van de huidige situatie rond biobrandstoffen in de EU. Er was een actieve deelname vanwege het publiek en uit de feedback bleek dat de workshop kwalitatief hoog werd ingeschat.

#### 6.3.1. Uitgangspunten

De recente Europese richtlijnen rond biobrandstoffen (zie vroeger) zijn een belangrijke stap naar de introductie van biobrandstoffen voor transporttoepassingen. De introductie van biobrandstoffen wordt gezien in het kader van

- reductie van milieu-impact van voertuigbrandstoffen, en dan in het bijzonder voor broeikasgassen (zie Kyoto protocol),
- vermindering van energieafhankelijkheid (security of supply),
- nieuwe opportuniteiten voor economische ontwikkelingen, vooral in landelijke gebieden.

De korte termijn doelstellingen van de EU (2005, 2010) zullen mogelijk gehaald worden met ‘conventionele biobrandstoffen’ als biodiesel en bio-ethanol. Op langere termijn (na 2010) wordt er verwacht dat synthetische brandstoffen op basis van biomassa (BTL) of ethanol uit cellulose de belangrijkste biobrandstoffen zullen zijn.

#### 6.3.2. Belangrijkste bevindingen

De Europese strategie (presentatie Tom Howes, EC DG-TREN) wordt hoofdzakelijk bepaald door de richtlijnen i.v.m. biobrandstoffen. Er moet echter nog veel onderzocht worden, met name:

- Hoe is het gesteld met de voorraden: Wat is de werkelijke productie in de EU en wat zijn de importcijfers? Hoeveel land is er beschikbaar voor het telen van biobrandstoffen?
- Er moeten kwaliteitsstandaarden opgesteld worden voor een hogere bijmenging dan 5% of bijmenging van bio-ethanol in diesel;
- Technologische ontwikkelingen voor het gebruik van hout, stro en afval en het gebruik van enzymen of vergassing voor biobrandstoffen productie moeten onderzocht worden;
- Wat zijn de doelstellingen na 2010? Is dit 15% of zal het afhankelijk zijn van de vooruitgang en de relevante beleidsprioriteiten op dat moment?

Om deze vragen te beantwoorden is er nood aan verder onderzoek en demonstratieprojecten, zowel rond voertuigen als productie, opslag en distributie op grote schaal. Een oproep voor dergelijke projecten “Biofuel cities”, komt uit in de periode juni-december 2004.

De heer Marc Timmer (EUFORES) verwees bij zijn conclusies naar de rapporten opgesteld voor de verschillende EU landen (MITRE studie op website)<sup>8</sup>. Deze studie gebruikt output van het PRIMES model (2003) voor wat betreft de energievraag. Er wordt verondersteld dat 25% van de biobrandstoffen worden geproduceerd uit biomassa-residu of organisch afval. Ook wordt gerekend met een constante opbrengst voor de energiegewassen (ref. 2000) en wordt de motorefficiëntie van voertuigen constant gehouden. Algemene conclusies uit deze studie waren dat :

- er inspanningen nodig zijn om de doelstellingen van het Witboek, de “RES-E” richtlijn en de biobrandstoffen richtlijn te halen, evenals voor het creëren van tewerkstelling;
- meer bepaald moet de Bio-energie sector gepromoot worden, zij zorgt namelijk voor lokale tewerkstelling.

Voor België komen deze conclusies neer op het volgende:

- De doelstellingen inzake biobrandstoffen voor verkeer zijn haalbaar, maar niet binnen de vooropgestelde termijnen. Onder het ‘Current Policies’ scenario zou pas in 2023 de 5,75% biobrandstoffen gehaald worden. Onder het ‘Advanced Renewable Strategy’ scenario is dat in 2015. Tegen 2010 zijn respectievelijk 2,05% en 3,92% haalbaar.
- Het potentieel voor tewerkstelling in de hernieuwbare energiesector in België is beperkt. De netto stijging van de totale tewerkstelling in 2010 zal lager zijn dan in andere lidstaten. Naargelang het scenario zal in 2010 de hernieuwbare energiesector slechts instaan voor 0,28% of 0,35% van het aantal werkplaatsen.

Etienne Poitrat (ADEME) gaf een overzicht van de belangrijkste niet-technische aspecten bij de introductie van (conventionele) biobrandstoffen. Eerste vraag is welke grondstoffen gebruikt kunnen worden, zowel speciaal ervoor geteelde gewassen als bepaalde afvalproducten. Er dient gekeken te worden naar het productiepotentieel van deze grondstoffen, rekening houdende met rotatie van gewassen, competitie met voedingsgewassen, ....

De effectief gerealiseerde productie zal voor een groot stuk bepaald worden door politieke beslissingen. Op gebied van grondstoffen zijn vooral de braakleggingspolitiek (CAP) en eventuele steun voor de teelt van energiegewassen belangrijk. Voor de productie en het gebruik van biobrandstoffen zelf zijn het takssysteem, budgettaire limieten voor taksreducties, de gegarandeerde duur van deze taksreductie, afspraken van invoerquota van belang.

Biobrandstoffen zijn globaal duurder dan fossiele brandstoffen. Schaalvergroting en valorisatie van de bijproducten (bioraffinaderijen) kan de kostprijs van biobrandstoffen helpen dalen. Er zijn voor de overheden verschillende mogelijkheden om dit op te vangen: ofwel door een taksreductie (wat minder opbrengsten impliceert voor de overheid), ofwel kan de meerkost uitgespreid worden over alle gebruikers (door een taksverhoging op fossiele brandstoffen en een taksreductie op biobrandstoffen), ofwel kan een verplichte bijmenging opgelegd worden aan de brandstofleveranciers.

---

<sup>8</sup> <http://mitre.energyprojects.net>

Het incalculeren van externe kosten is een mogelijke argumentatie om een verschillend taksniveau toe te passen.

Een belangrijke vraag die bij verschillende presentaties ter sprake kwam, is of de invoer van biobrandstoffen van buiten Europa gewenst is, zowel op gebied van economie als milieu en energie. Bio-ethanol uit Brazilië is bijvoorbeeld een stuk goedkoper dan Europese ethanol. Dit heeft te maken met verschillende factoren: er is een grote financiële steun geweest aan de ethanolsector vanwege de Braziliaanse overheid, waardoor de sector zich heeft kunnen uitbouwen. Daarbij is arbeid veel goedkoper dan in Europa en de opbrengsten van ethanol uit suikerriet zijn een stuk hoger dan uit landbouwgewassen hier. De Europese Commissie overweegt om een invoerquotum voor ethanol toe te staan aan Brazilië. Dit zou echter de positie van de Europese ethanolindustrie danig verzwakken (presentatie Tom Gameson, Abengoa). Ook zouden dan de economische voordelen van de introductie van biobrandstoffen (groeien werkgelegenheid in landelijke gebieden) verlegd worden van Europa naar het land van herkomst van de biobrandstof.

Heel belangrijk is dat er een samenwerking is met de olie-industrie en de motor-/voertuigconstructeurs rond:

- strategie van technologieontwikkeling: compatibiliteit tussen brandstof en motor en introductie van nieuwe systemen (bv flexible fuel vehicles);
- strategie van distributie: als brandstof of als additief;
- aanpassing van brandstofs specificaties en -standaarden (bv dampspanning van benzine).

Lew Fulton (IEA) gaf een presentatie van de belangrijkste bevindingen van de IEA studie "Biofuels for transport: an international perspective". Hij zag op globaal gebied vooral voordelen in de samenwerking met minder ontwikkelde landen voor productie van biobrandstoffen, al zal in eerste instantie wel de nadruk liggen op binnenlandse (of Europese) productie. In de meeste landen zouden conventionele biobrandstoffen tot 5% van de benzine- en dieselmkt kunnen innemen, zonder noemenswaardige invloed op de productie van andere gewassen, marktprijzen, ... Boven 5% zou er een sterke competitie kunnen komen tussen gebruik van landbouwgrond voor voedingsdoeleinden, of voor energietoepassingen.

Binnen de biobrandstoffen wordt onderscheid gemaakt tussen conventionele biobrandstoffen (biodiesel uit oliehoudende planten, bio-ethanol uit tarwe, maïs, suikerbiet of suikerriet) en meer geavanceerde biobrandstoffen zoals ethanol uit cellulose, synthetische diesel uit vergaste biomassa (BTL).

Deze geavanceerde biobrandstoffen hebben het voordeel:

- dat ze minder broeikasgasemissies hebben, bekeken op de hele levenscyclus;
- dat ze een veel groter grondstofpotentieel hebben;
- dat hun kost lager ligt, zeker bekeken naar de kost per gereduceerde CO<sub>2</sub> emissie.

Vooralsynthetische brandstoffen uit biomassa worden sterk ondersteund vanwege de voertuigconstructeurs (o.a. VW, Daimler Chrysler) vanwege hun hoge kwaliteit (cetaangetal, zuiverheid, ...). Rond productiemethoden van deze brandstof is nog verder onderzoek noodzakelijk, maar op langere termijn zijn de verwachtingen hier rond wel groot (zie presentatie René van Ree, ECN).

Andere presentaties:

Raffaello Garofalo (European Biodiesel Board) gaf een overzicht van de biodieselindustrie in Europa. Europa is duidelijk de koploper op gebied van biodiesel. Dit heeft ook te maken met de specifieke verdeling diesel-benzine in Europa (uitvoer benzine, invoer diesel), waardoor vooral alternatieven voor diesel interessant zijn. De omzetting van de Europese richtlijn naar nationale wetgevingen en nationale strategieën verloopt nog zeer stroef.

Joosten Connemann (Ölmühle Leer) presenteerde zijn firma (biodieselproducent in Duitsland), met algemene beschouwingen rond biodiesel (o.a. toepasbaarheid van verschillende grondstoffen).

Eric van den Heuvel (SenterNovem), coördinator van het Europese VIEWLS project (clear views on clean fuels) presenteerde de aanpak binnen VIEWLS, waarin een uitgebreid overzicht gemaakt wordt van bestaande well-to-wheel studies over biobrandstoffen. De eerste resultaten zullen in het najaar van 2004 gepresenteerd worden.

Martin Mittelbach (Univ. Graz) sprak over de ervaringen met biodiesel uit gerecycleerde frituurolie in Oostenrijk. Dit kan ook een belangrijke grondstof vormen voor biodiesel in België.

Klaus Elsbett (Elsbett AG) presenteerde zijn bedrijf dat gespecialiseerd is in de ombouw van dieselmotoren om te draaien op zuivere plantaardige olie. Het is duidelijk dat de nodige technische maatregelen nodig zijn om motoren te converteren (een stuk ingrijpender als voor biodiesel). Minder duidelijk is of hun ombouwssystemen ook bruikbaar zijn voor moderne dieselinjectiesystemen.

Tot slot werd de situatie in verschillende Europese landen rond de implementatie van de biobrandstof richtlijn toegelicht door Leen Govaerts (VITO). Ina De Vlieger (VITO) presenteerde de Belgische situatie op basis van de SUSATRANS enquête.



## 7. ONDERZOEKSPROJECTEN

Deze annex werd opgesteld binnen het project SUSATRANS, acroniem voor “Sustainability assessment of technologies and modes in the transport sector in Belgium”. Doel van de studie is een geïntegreerde evaluatie van beleidsmaatregelen met het oog op een succesvolle introductie van nieuwe technologieën in de transportsector enerzijds, en een verschuiving tussen modi anderzijds. De studie wordt uitgevoerd in het opdracht van Federaal Wetenschapsbeleid binnen PODO II, Deel 1 duurzame productie- en consumptiepatronen. Eindrapport wordt beschikbaar in maart 2005. Daar biobrandstoffen voor transport een zeer actueel thema zijn, en dat de komende jaren ook zullen blijven, werd onderhavige annex opgesteld.

Binnen de tweede oproep in het kader van PODO II startte recent het project ‘Liquid Biofuels in Belgium in a global bio-energy context’ (acroniem: LIBIOFUELS<sup>9</sup>). Het doel is het onderzoeken van de ecologische, micro-economische en socio-economisch duurzaamheid van biomassamogelijkheden in België. Hierbij zal o.a.:

- een volledige analyse gebeuren van de korte- en middellange-termijn mogelijkheden van biobrandstoffen voor transport;
- een vergelijking van het potentieel en de ketens in België t.o.v. geïmporteerde biomassa, vloeibare biobrandstoffen en tussenproducten.

In juni 2004 werd het Europese onderzoeksproject PREMIA (R&D, demonstration and incentive programmes effectiveness to facilitate and secure market introduction of alternative motor fuels) opgestart onder de coördinatie van VITO binnen het 6<sup>de</sup> Kaderprogramma. Binnen dit project wordt de effectiviteit van beleidsmaatregelen ter ondersteuning van alternatieve motorbrandstoffen onderzocht gelinkt aan de marktrijpheid van de brandstof vanuit een internationaal perspectief. Voor biobrandstoffen zal een analyse gemaakt worden van de effectiviteit van incentieven zoals subsidiëring en accijnsverlagingen om op korte termijn een substantiële markintroductie van biobrandstoffen te bewerkstelligen. PREMIA zal afgerond worden in 2007 maar tussentijdse resultaten zullen eveneens bekend gemaakt worden.

---

<sup>9</sup> Partners zijn: VUB, ULC en 3E

## 8. CONCLUSIES

In 2003 heeft Europa een aantal regelgevingen uitgewerkt, waardoor het gebruik van biobrandstoffen in het verkeer wordt gestimuleerd. De belangrijkste richtlijn 2003/30/EG stelt een doelstelling voorop van 2% biobrandstoffen tegen eind 2005 en 5,75% biobrandstoffen tegen eind 2010, gerekend op basis van de energie-inhoud van de verbruikte transportbrandstoffen. De doelstellingen en het al dan niet bindende karakter van de richtlijn kunnen in 2007 evenwel worden bijgesteld. Positief is dat er een monitoring systeem is voorzien, waardoor per lidstaat de penetratie van biobrandstoffen kan worden opgevolgd en waar nodig bijgestuurd.

De eerste helft van 2004 zijn er verschillende evenementen geweest rond de haalbaarheid van de Europese doelstellingen. Ook was er een bevraging door VITO aan de voornaamste spelers in de biobrandstoffenindustrie in België.

De teneur is dat de doelstellingen moeilijk haalbaar zijn binnen de vooropgestelde termijnen. Er is nochtans potentieel voor productie van biobrandstoffen in België, wel zijn de juiste stimulansen nodig vanuit het beleid. Dit werd bevestigd binnen de Europese studie MITRE, waarin gesteld wordt dat een grote inspanning nodig zal zijn van het Belgische beleid om de Europese doelstellingen zelfs met enige vertraging te bereiken.

Van de bevroagden binnen de enquête was iedereen van mening dat biobrandstoffen weinig kans maken zonder taksreductie. Ook is een tussenkomst vanwege de overheid in de investeringskost van nieuwe productie-eenheden aangewezen. Daarnaast achten zij de communicatie naar het publiek, subsidies voor landbouwers, kwaliteitsstandaarden voor de brandstof, onderzoek en verdere ontwikkeling van conversietechnologieën en goede demonstratieprojecten van cruciaal belang. De sector vindt het ook zeer belangrijk dat vanwege de overheid vooraf een duidelijk wettelijk, fiscaal en normatief kader opgesteld wordt, zodat de bedrijven een lange-termijn perspectief gegeven wordt. Het benadrukken van het lange termijn aspect kan een positieve stimulans zijn voor de productie van biobrandstoffen.

Veel wordt verwacht van de volgende generatie biobrandstoffen (ethanol uit cellulose, synthetische diesel uit vergaste biomassa) die over de ganse levenscyclus bekeken een lagere broeikasgasuitstoot geven, een veel groter grondstofpotentieel hebben en een lagere kost, zeker indien bekeken per ton gereduceerde CO<sub>2</sub>. Er rest evenwel nog veel ontwikkelingswerk voor deze nieuwe generatie biobrandstoffen, zeker wat betreft de conversie van biomassa naar vloeibare brandstof.

## REFERENTIES

Alternative Fuels Contact Group (2003) *Market development of alternative fuels*, [http://europa.eu.int/comm/energy\\_transport/envir/2003\\_report\\_summary\\_en.pdf](http://europa.eu.int/comm/energy_transport/envir/2003_report_summary_en.pdf).

BACAS (2004) *Industrial Biotechnology and Sustainable Chemistry*, 32pp, [http://www.europabio.org/upload/documents/150104/bacas\\_report\\_en.pdf](http://www.europabio.org/upload/documents/150104/bacas_report_en.pdf).

Biomass Research and Development Initiative (2002) *Roadmap for Biomass Technologies in the United States*, <http://www.bioproducts-bioenergy.gov/pdfs/FinalBiomassRoadmap.pdf>

Bleviss D.B. (1990) *Substitute fuels for road transport: a technology assessment*, International Energy Agency IEA/OECD France. (\*)

COPA & COGECA (2002) *Position paper on the proposal for a directive on the promotion of the use of biofuels for transport and the proposal for a directive amending directive 92/81/EEC with regard to the possibility of applying a reduced rate of excise duty on certain mineral oils containing biofuels and on biofuels*. Pr(02)13F1 .

De Vlioger I. (1994) *Bio-ethanol als motorbrandstof, Stand van zaken en perspectieven*, ENE.RA9411, Afdeling Energie, 65pp.

Dutta S. (1990) *Technology assessment of advanced electrolytic hydrogen production*, International Journal of Hydrogen Energy 15: 379.

Federaal Wetenschapsbeleid (2004) Final Report 'Renewable Energy Evolution in Belgium 1974-2025', juni 2004. Onderzoekspartners: 3E, IMEC, FUL en UCL. In opdracht van Federaal Wetenschapsbeleid binnen PODO II, Deel 1 Duurzame productie- en consumptiepatronen.

Galley R. & C. Gatignol (2001) *Rapport sur les perspectives offertes par la technologie de la pile à combustible*, N°3216 Assemblée Nationale.

García Ciudad V., Mathijs E., Nevens F. en Reheul D. (2003) *Energiegewassen in de Vlaamse landbouwsector*. Steunpunt Duurzame Landbouw. Publicatie 1, 94 p.

Geerlings H en Gwilliam KM (1994) *New technologies and their potential to reduce the environmental impact of transportation*, In: Transportation Research Volume 28 nr.4: 307-319.

Howes T. (2004) European strategy, Presentation on the CO-OPET conference, Energy issues in transport, Workshop Strategies to implement the European biofuels directives, Brussels.

IEA (1994) *Biofuels*, Energy and Environmental Policy Analysis Series OECD Publications (\*)

Jossart JM (2003a) *Belgian Biofuel Situation* In: Liquid Biofuels Network Activity Report, Final Report 1.1.2002-31.03.2003, Contract No 4.1030/S/01-1000/2001.

Jossart JM (2003b) *Les biocarburants en Wallonie*, Résumé d'un rapport réalisé dans le cadre du projet "Filière Agriculture et Ressources Renouvelables en Wallonie" avec le soutien du Ministère de la Région wallonne - Direction Générale de l'Agriculture. Valbiom et UCL.

Larsen H, Kossmann J and Sønderberg Petersen L (Eds) (2003) *New and emerging bioenergy technologies*, Risø Energy Report 2, Risø National Laboratory [http://www.risoe.dk/rispubl/energy\\_report/ris-r-1430.htm](http://www.risoe.dk/rispubl/energy_report/ris-r-1430.htm)

Nationaal Instituut voor de Statistiek (2002), *Landbouwtelling 2002*, voorlopige resultaten.

NIS (2004) Bodemgebruik (1980-2003), Absolute cijfers [http://www.statbel.fgov.be/figures/d130\\_nl.asp#2](http://www.statbel.fgov.be/figures/d130_nl.asp#2)

Oertel D & Fleischer T (2000) *TA-Projekt "Brennstoffzellen-Technologie"*, Endbericht. TAB-Arbeitsbericht nr 67, Berlijn, Duitsland.

OTA (1979a) *Technology Assessment of changes in the future use and characteristics of the automobile transportation system – vol I: summary and findings*, Washington, USA.

OTA (1979b) *Technology Assessment of changes in the future use and characteristics of the automobile transportation system – vol II: Technical Report*, Washington, USA

OTA (1979c) *Technology Assessment of changes in the future use and characteristics of the automobile transportation system – vol III: Public Participation*, Washington, USA

Pelkmans L. (1999) *Biodiesel: Practical Experiences and Recommendations for Market Applications*, 3<sup>rd</sup> European motor Biofuels Forum, Brussels, 10-13 October 1999

Ruesch M en Haefeli U (2000) *Technology Assessment im Verkehrswesen, Vorstudie*, TA-DT 25/2000, Schweizerischer Wissenschaftsrat, Bern, Zwitserland.

Spirinckx C. en Ceuterick D. (1997) *Comparative LCA of biodiesel and fossil diesel fuel*, VITO-rapport: 1997/PPE/R/026.

Stodolsky F. (Roadmap coordinator) (2002) *Railroad and Locomotive Technology Roadmap*, ANL/ESD/02-6, Center for Transportation Research, Energy Systems Division, Illinois, USA.

---

\* Deze boeken zijn niet in ons bezit.

Vyas AD, Ng HK, Santini DJ & DL Anderson (1997) *Batteries for Electric Drive Vehicles: Evaluation of Future Characteristics and Costs through a Delphi Study*, SAE International Spring Fuels and Lubricants Meeting , Michigan, USA.

## WEBSITES

- [1] Forecasting and Assessment of New Technologies an transport Systems and their Impact on the Environment (FANTASIE) 4<sup>de</sup> kader programma van de Europese Unie; (<http://www.etsu.com/fantasie/fantasie.htm>) – verschillende publicaties
- [2] Argonne National Laboratory - Transportation Technology R&D Center: meerdere publicaties over TA's <http://www.transportation.anl.gov/assessments/index.html>.
- [3] ATLAS project: [http://europa.eu.int/comm/energy\\_transport/atlas/home.html](http://europa.eu.int/comm/energy_transport/atlas/home.html)
- [4] Vision for bioenergy and biobased product in the United States [http://www.bioproducts-bioenergy.gov/pdfs/BioVision\\_03\\_Web.pdf](http://www.bioproducts-bioenergy.gov/pdfs/BioVision_03_Web.pdf)
- [5] Valbiom asbl, <http://www.valbiom.be>
- [6] ATEP Nederland bv: <http://www.atep.nl>

**LIJST MET AFKORTINGEN**

DG TRE	Direction Générale des Technologies, de la Recherche et de l'Energie
ETBE	Ethyl Tertair Butyl Ether
ha	hectare
hl	hectoliter
IEA	International Energy Agency
LCA	Levenscyclusanalyse
O&O	onderzoek en ontwikkeling
PJ	Peta Joule
RME	rape seed methylester
TA	Technology Assessment
TEC	Waalse Openbare busmaatschappij
tep	ton equivalent petroleum
UVOME	Used Vegetable Oil Methyl Ester
VITO	Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek

## BIJLAGE 1: VRAGENLIJST AAN STAKEHOLDERS

### Vragenlijst over de potentiële capaciteit en de implementatie van de EU Richtlijn voor vloeibare biobrandstoffen voor transport

Gelieve deze vragenlijst terug te bezorgen **tegen 18 Maart 2004** aan:

[sara.verbeiren@vito.be](mailto:sara.verbeiren@vito.be) of het onderstaande adres:

Sara Verbeiren  
Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek  
Boeretang 200  
2400 MOL  
tel: +32-14-33 68 45

#### 1. Inleiding

De Europese Commissie heeft twee Richtlijnen voor de promotie van biobrandstoffen voor transport aangenomen. De eerste Richtlijn (2003/30/EG) bepaalt een schema voor de invoering van biobrandstoffen, beginnend met een aandeel van 2% van het brandstofverbruik van wegtransport in 2006 tot 5,75% in 2011. De tweede Richtlijn (2003/96/EG) stelt de lidstaten in staat om de accijnzen op biobrandstoffen te verlagen.

De doelstellingen van de Europese Commissie zijn ambitieus. De potentiële marktpenetratie van deze alternatieve brandstoffen en voertuigtechnologieën zijn afhankelijk van verschillende factoren: geografisch bereik, productiekost, beschikbaarheid van infrastructuur en geschikte voertuigen, ... . De biobrandstoffen met het grootste marktpotentieel zijn op dit moment koolzaad ME en gebruikte plantaardige olie-ME. Nieuwe ontwikkelingen (bijv in Frankrijk en Zweden) tonen aan dat er ook een mogelijke markt is voor biogas als brandstof. Andere ontwikkelaars zijn zeer hard bezig aan oplossingen voor ethanol (bijv. ongeveer 10.000 personenwagens op ethanol in Zweden).

De lidstaten hebben voor een vrijwillig schema voor de invoering van biobrandstoffen in transport geopteerd. De belangrijkste vraag is dus hoe een dergelijk schema eruit kan zien. In het federale onderzoeksproject “Duurzaamheidsvaluatie van technologieën en modi in de transportsector in België” trachten wij na te gaan of deze richtlijn haalbaar is in België met de huidige productiecapaciteiten. Het werk omvat onder andere een opmeting van de potentiële productiecapaciteit van de belangrijkste biobrandstoffen voor wegvervoer, nu en in de toekomst.

Het doel is enerzijds te weten te komen of er reeds biobrandstoffen gemaakt worden en of het theoretisch mogelijk is om in de bestaande installaties biobrandstoffen voor de Belgische markt te produceren en hoeveel. Daarenboven zijn wij ook geïnteresseerd in de redenen waarom er eventueel op dit moment geen productie is van biobrandstoffen en wat er door de overheid moet gedaan worden opdat dit wel het geval zou zijn.

De resultaten van deze bevraging zullen gebundeld worden in een rapport voor de verschillende overheden, zodat zij verder een strategie kunnen uitbouwen voor de uitvoering van de Richtlijn 2003/30. Daarnaast zullen de resultaten ook voorgesteld worden op de 'Biofuels' workshop in het kader van het Europese CO-OPET project op 26 mei 2004, waarvoor u een uitnodiging zal ontvangen.

## 2. Uw gegevens

Gelieve uw en uw bedrijf zijn gegevens in te vullen of een visitekaartje aan dit blad te hangen.

Bedrijf	
Uw naam	
Uw functie in het bedrijf	
Contactgegevens (of visitekaartje)	

## 3. Algemeen vraagstelling

A. België heeft beslist dat ze de Europese Richtlijn 2003/30 willen omzetten. Hoe realistisch lijkt u dit? Kunnen we in België echt de normen van 2% in 2006 en 5,75% in 2011 halen en zo ja hoe denken jullie dat dit mogelijk is?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

*(Indien te weinig plaats, kan u altijd bladen bijvoegen)*

B. De overheid kan verschillende soorten mechanismen en beleidsinstrumenten voor de implementatie van de richtlijn invoeren. In onderstaande tabel worden een aantal van deze mechanismen en instrumenten opgelijst. Gelieve aan te duiden in tabel A, door middel van een "x" of u dit mechanisme/instrument noodzakelijk, gewenst dan wel overbodig vindt.



**Tabel A : noodzaak van mechanismen en instrumenten**

MECHANISME VOOR DE PROMOTIE VAN BIOBRANDSTOFFEN	NOODZAKELIJK?	GEWENST?	OVERBODIG?
<b>Taxatie instrumenten</b>			
Taks op fossiele brandstoffen			
Taks reductie (100% of minder) voor biobrandstoffen			
<b>Verplichte bijmenging bij diesel en benzine</b>			
Verplichte bijmenging van biobrandstoffen voor oliemaatschappijen			
<b>Steun aan landbouw – bosbouw</b>			
Subsidies aan landbouwers voor biomassaproductie op braakland			
<b>Andere instrumenten</b>			
Ontwikkeling van een markt voor biobrandstoffen aan een hogere prijs dan fossiele brandstoffen (zoals voor groene elektriciteit)			
Communicatie naar alle betrokken spelers			
Communicatie naar het publiek			
Stimulatie van (internationale) samenwerking tussen industrieën			
Opzetten van goede demonstratieprojecten			
Brandstof kwaliteitsstandaards en handleidingen			
<b>Toelagen en subsidies voor O&amp;O voor</b>			
biomassa productie technologieën			
biomassa conversie technologieën			
voertuigaanpassingen			
distributiesystemen			
Lage intrest leningen			

#### 4. Productiecapaciteit van vloeibare biobrandstoffen

Wat is de huidige en toekomstige capaciteit van uw producten die in aanmerking komen voor vloeibare biobrandstoffen? Gelieve tabel B zo goed mogelijk in te vullen, voor de producten die voor uw bedrijf van toepassing zijn. Wij vragen enerzijds of u nu reeds een productie heeft van biobrandstoffen (kolom 1) en welke de grondstof (kolom 2) en de oorsprong (kolom 3) zijn. Verder peilen wij naar de theoretische capaciteiten in de jaren: 2006 (tabel C: kolom 1) en 2011 (tabel C: kolom 2; Eenheid: ton)

Daarnaast zouden wij graag weten, indien uw bedrijf vloeibare biobrandstoffen produceert, uit welke grondstoffen deze worden gemaakt en van waar deze grondstoffen afkomstig zijn. Indien de productie van een van onderstaande (brand)stoffen op dit moment voor andere doeleinden wordt geproduceerd, kan u dat altijd aangeven in het vakje met de opmerkingen.

## \* Tabel B: huidige productie

PRODUCT	GEPRODUCEERDE HOEVEELHEID IN 2003 (ton)	GRONDSTOF	OORSPRONG GRONDSTOF (LAND)
Methyl esters			
Ethanol			
fossiele bron			
biobron			
ETBE			
fossiele bron			
biobron			
MTBE			
fossiele bron			
biobron			
Plantaardige olie			
Andere (specificeer):			

Gelieve te specificeren, voor elk product, hoeveel (procentueel) bedoeld is voor welke sector en of dit voor het binnenland is dan wel voor de export.

**Product 1:** \_\_\_\_\_

TOEPASSING	EXPORT (%)	BINNENLAND (%)
Transport		
Voeding		
Oleochemie		
<i>Andere:</i>		

**Product 2:** \_\_\_\_\_

TOEPASSING	EXPORT (%)	BINNENLAND (%)
Transport		
Voeding		
Oleochemie		
<i>Andere:</i>		

**Product 3:** \_\_\_\_\_

TOEPASSING	EXPORT (%)	BINNENLAND (%)
Transport		
Voeding		
Oleochemie		
<i>Andere:</i>		

\* Gelieve in tabel C aan te duiden hoeveel van onderstaande stoffen die kunnen gebruikt worden voor vloeibare biobrandstoffen, u denkt dat uw bedrijf zal produceren in de vermelde jaren (2006 en 2011).

**Tabel C: toekomstige productie**

PRODUCT	MOGELIJKE CAPACITEIT IN 2006 (ton)	MOGELIJKE CAPACITEIT IN 2011 (ton)
Methyl esters		
Ethanol		
fossiele bron		
biobron		
ETBE		
fossiele bron		
biobron		
MTBE		
fossiele bron		
biobron		
Plant aardige olie		
Andere (specificeer):		

Opmerkingen:



### 5. Invulling van mogelijke maatregelen van de overheid

In deze vraag krijgt u een mogelijk scenario's voorgeschoteld zodat aan de richtlijn kan voldaan worden. Gelieve voor dit scenario aan te geven hoe u het zou aanpakken om tot het vooropgestelde doel te komen en aan te geven welke bijkomende maatregelen er moeten komen opdat deze doelstelling haalbaar zou zijn.

- Stel dat de overheid op korte termijn (zomer) **een verplichte bijmenging van 5% biodiesel** oplegt. Hoe zou uw bedrijf dit probleem aanpakken? Zal er biodiesel geïmporteerd worden en zo ja, van waar, of zullen jullie zelf biodiesel produceren?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

- Stel dat de overheid op korte termijn (zomer) naast 5% biodiesel ook, **een verplichte bijmenging van 5% bio-ethanol (of 15 % bio-ETBE) in benzine** oplegt. Hoe zou uw bedrijf dit probleem aanpakken? Bio-ethanol of ETBE? Zal er het product geïmporteerd worden en zo ja, van waar, of zullen jullie zelf het product of de producten produceren?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

(Contract CP/67/431)

**Duurzaamheidsvaluatie van technologieën en modi  
in de transportsector in België (SUSATRANS)**

**Annex VII: Energiebesparende en emissiereducerende maatregelen voor spoorverkeer**

**H. Joul, I. De Vlieger, E. Cornelis, W. Bontinck**

**Studie gefinancierd door Federaal Wetenschapsbeleid  
PODO II - Deel 1 – Duurzame productie en consumptiepatronen**

**2004/IMS/R/annex**



**VITO**

**April 2004**



## INHOUDSTABEL

0	SITUERING .....	1
1	PARKSAMENSTELLING.....	1
	1.1 Tractiematerieel .....	1
	1.2 Gepresteerde krachtvoertuigkilometers .....	3
2	HET INFRASTRUCTUURNETWERK .....	6
	2.1 Dichtheid van het spoorwegennet.....	6
	2.2 Evolutie geëlektrificeerde lijnen.....	7
3	BIJDRAGE IN VERBRUIK EN EMISSIES.....	8
4	MILIEUWETGEVING.....	9
	4.1 Emissienormen .....	9
	4.1.1 Europese richtlijn.....	10
	4.1.2 UIC-norm.....	11
	4.1.3 Internationaal .....	12
	4.1.4 Vergelijking met de richtlijnen voor wegtransport.....	13
	4.2 Brandstofspecificaties.....	15
5	FEDERAAL BELEID .....	17
6	ENERGIEBESPARENDE MAATREGELLEN.....	18
	6.1 Inleiding.....	18
	6.2 Energieverdeling.....	18
	6.3 Niet-technische opties.....	20
	6.3.1 Energetisch efficiënt rijden (UIC, 2003) .....	20
	6.3.2 Management van treincondities .....	20
	6.3.3 Optimalisering doorstroming treinen.....	21
	6.4 Massareductie .....	21
	6.4.1 Aluminium kast (UIC, 2003).....	21
	6.4.2 Enkele-as draaistel (UIC, 2003).....	22
	6.4.3 Dubbeldekrijtuigen (UIC, 2003).....	22
	6.5 Regel- en monitoringtechnologie .....	23
	6.5.1 Reduceren van het ‘stationair draaien’ (ANL, 2002).....	23
	6.5.2 Revisie van oude dieselmotoren (UIC, 2003).....	24
	6.5.3 Afkoelen tractie en motor (UIC, 2003).....	25
	6.5.4 Gedeeltelijk uitschakelen van de aandrijving (UIC, 2003).....	25
	6.5.5 Sensoren en controle (ANL, 2002) .....	26
	6.6 Weerstandreductie .....	26
	6.6.1 Aërodynamica van goederentreinen (UIC, 2003 en ANL, 2002) .....	26
	6.6.2 Omkassen van draaistellen in passagierstreinen .....	27
	6.6.3 Verminderen wiel/rail weerstand (ANL, 2002) .....	27
	6.7 Optimalisatie van de airco .....	28
	6.8 Energierecuperatie .....	29
	6.8.1 Regeneratief remmen in treinen met elektrische tractiemotoren (UIC, 2003 en ANL, 2002) .....	29
	6.8.2 Hergebruik van uitlaatgassen (ANL, 2002) .....	30
	6.9 Brandstofcellen (ANL, 2002) .....	31
7	EMISSIEREDUCERENDE OPTIES .....	32
	7.1 Motortechniek.....	32



7.1.1	Installatie van nieuwe motor (UIC, 1998).....	32
7.1.2	Introductie gasturbines (ANL, 2002) .....	32
7.1.3	Interne modificaties (UIC, 1998) .....	33
7.2	Nabehandeling van de uitlaatgassen (ANL, 2002, UIC, 1998) .....	33
7.2.1	Selectieve katalytische reductie .....	33
7.2.2	Deeltjesfilters .....	34
7.3	Gebruik van alternatieve brandstoffen (ANL, 2002, UIC, 1998).....	34
7.3.1	RME (Rape oil Methyl Ester) .....	35
7.3.2	Natuurlijk gas .....	35
7.3.3	Synthetische diesel .....	35
8	OVERZICHT EFFECT VAN (NIET-) TECHNISCHE OPTIES.....	36
9	CONCLUSIES .....	37
	AFKORTINGEN .....	40
	EENHEDEN .....	40
	BIJLAGE A.....	41

## 0 SITUERING

In deze annex geven we voor spoorverkeer meer informatie over:

- de huidige vloot, ontwikkelingen van de laatste jaren en een vooruitblik;
- wetgeving inzake brandstofsspecificaties en emissienormering opgelegd aan de vervoermiddelen;
- de mogelijke technische en niet technische opties/maatregelen.

De gegevens uit deze annex hebben we als input gebruikt voor de technologische invulling van het BAU-scenario (onveranderd beleid) in het emissiemodel voor spoor (Taak D).

Verder geeft deze annex een beknopt overzicht van waar spoor staat in de emissieproblematiek en wat mogelijke maatregelen zijn. Deze annex is bijgevolg informatief voor beleidsmakers op het gebied van verkeer, energie en milieu. Deze annex kan als basis dienen voor verder meer gericht en diepgaand onderzoek naar mogelijke energiebesparende en emissiereducerende maatregelen en demonstratieprojecten voor spoor.

## 1 PARKSAMENSTELLING

### 1.1 Tractiematerieel

De vloot van de NMBS bestaat uit locomotieven, treinstellen (motorstellen), rijtuigen en NMBS wagens en wegvoertuigen. In deze studie wordt enkel het tractiematerieel, nl. locomotieven en treinstellen, besproken. Onderverdeling naar type tractie en technologiekeuze bepalen immers in belangrijke mate het verbruik en de emissieniveaus van het spoorverkeer.

Locomotieven zijn gemaakt om wagons of rijtuigen voort te trekken. Ze vervoeren zelf geen goederen of passagiers. Treinstellen zijn, om het zo te stellen, rijtuigen met ingebouwde aandrijving en vervoeren passagiers. Onder de locomotieven onderscheiden we diesel- en elektrische locomotieven. Onder de treinstellen onderscheiden we diesel-, elektrische- en HST-stellen (hoge snelheidstrein).

De evolutie in de parksamenstelling, de gepresteerde krachtvoertuigkilometers en de lengte geëlektrificeerde lijnen bevestigen het federaal beleid inzake emissiereductie en energiebesparing in spoor (zie hfdst.5). De NMBS wil voor zover mogelijk haar dieseltreinenpark vervangen door elektrische en oude dieseltreinstellen en –locomotieven progressief vervangen door nieuwe die minder energie verbruiken en minder vervuילend zijn. De NMBS wil binnen redelijk korte tijd (tegen 2015) het oude dieselpark nagenoeg buiten dienst stellen en enkel nieuwe diesellocomotieven “type 77” (of gelijkaardig) en nieuwe dieselmotorstellen “type 41” overhouden.

Tabel 1 geeft een evolutie van het aantal locomotieven en treinstellen in België van 1980 tot en met 2002.

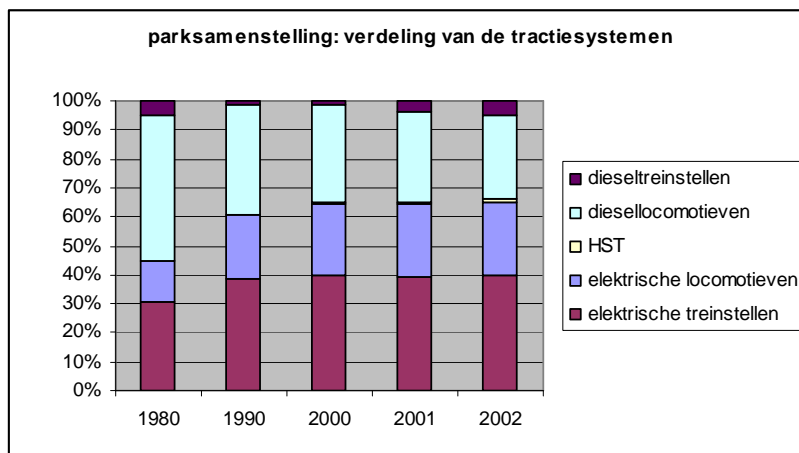
Tabel 1: Parksamenstelling en evolutie van 1980 tot en met 2002 (NMBS, 2002 en 2003)

	1980	1990	2000	2001	2002
Locomotieven					
elektrische	249	381	404	427	427
diesel	869	659	565	538	487
Treinstellen					
elektrische	529	663	669	669	669
diesel	87	24	21	61	84
HST	/	/	11	11	11
Totaal	1 734	1 727	1 670	1 706	1678

In Tabel 1 zien we dat tussen 1980 en 2002 het aantal elektrische locomotieven met 71,5% toenam (van 249 tot 427) en het aantal elektrische treinstellen toenam met 26,5% (van 529 tot 669).

Het aantal diesellocomotieven nam in dezelfde periode met 43,9% af (van 869 tot 487). De progressieve vervanging van dieseltreinstellen uit zich in de sterke daling van 87 in 1980 tot 21 in 2000 (75,8%) gevolgd door een stijging van 300% naar 84 in 2002.

De evolutie van het aandeel dieseltractie en elektrische tractie in de parksamenstelling is gegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Parksamenstelling: verdeling van de tractiesystemen

De voorbije 20 jaar heeft de NMBS het dieselpark progressief afgebouwd, naarmate een steeds groter deel van het net geëlektrificeerd werd (zie hfdst. 2.2). Het park bestond in 1980 uit 55% voertuigen voor dieseltractie en 45% voor elektrische tractie. Dit evolueerde naar 34% voor dieseltractie en 66% voor elektrische tractie in 2002.

Een gedetailleerde lijst met technische fiches van de verschillende locomotieven en treinstellen is raadpleegbaar op de website: *Materieel Bestand NMBS*<sup>1</sup>.

## 1.2 Gepresteerde krachtvoertuigkilometers

De gepresteerde krachtvoertuigkilometers op het NMBS-net per tractiesysteem (diesel of elektrisch) en type gebruik (reizigers of goederen) van 1990 tot en met 2002 zijn gegeven in Tabel 2.

*Tabel 2: Evolutie in het aantal gepresteerde krachtvoertuigkilometers (10<sup>3</sup> km) met elektrische- en dieseltractie voor reizigersverkeer en goederentransport (NMBS, 2002 en 2003)*

	1990	2000	2001	2002
<b>Diesel</b>				
Reizigers	8 939	6 137	6 747	8 160
<i>Locomotief</i>	7 297	4 859	3 635	1 563
<i>Treinstel</i>	1 642	1 278	3 112	6 597
<i>Rangeren*</i>	494	392	374	391
Goederen	18 368	12 690	12 054	10 607
<i>Locomotief</i>	18 368	12 690	12 054	10 607
<i>Rangeren</i>	4 044	2 927	2 861	2 763
Totaal	27 307	18 827	18 801	18 768
Vreemd materieel**	925	383	651	nb
<b>Elektrisch</b>				
Reizigers	101 899	108 464	108 270	107 784
<i>Locomotief</i>	18 283	17 725	17 402	18 098
<i>Treinstel</i>	83 616	90 739	90 868	89 686
<i>HST***</i>	-	4 274	4 216	3 912
<i>Rangeren</i>	346	333	453	247
Goederen	19 601	20 902	20 688	20 998
<i>Locomotief</i>	19 601	20 902	20 688	20 998
<i>Rangeren</i>	107	35	19	15
Totaal	121 500	129 366	128 958	128 783
Vreemd materieel	724	279	924	nb

\* apart weergegeven, maar is reeds opgenomen in de treinstellen en locomotieven.

\*\* vreemde krachtvoertuigen toebehorend aan vreemde netten en particuliere ondernemingen die gebruik maken van NMBS-net

\*\*\* prestaties van HST's wel apart vermeld, maar niet meegerekend in totaal. Cijfer van 2000 is het gepresteerde trein-km door NMBS en vreemd materieel, cijfers van 2001 en 2002 zijn de gepresteerde krachtvoertuig-km door het NMBS-HST-materieel.

nb= niet beschikbaar

Uit de gegevens in Tabel 2 concluderen we dat het gebruik van elektrische tractie in de periode 1990-2002 met 6 % toegenomen is. Deze toename is nagenoeg volledig toe te schrijven aan de inzet van elektrische treinstellen voor reizigersvervoer. De inzet van elektrische locomotieven, zowel voor reizigersvervoer als voor goederentransport, is doorheen de jaren nagenoeg onveranderd gebleven.

<sup>1</sup> Materieel Bestand NMBS, <http://users.skynet.be/bk368532/matnmbs/index.html>

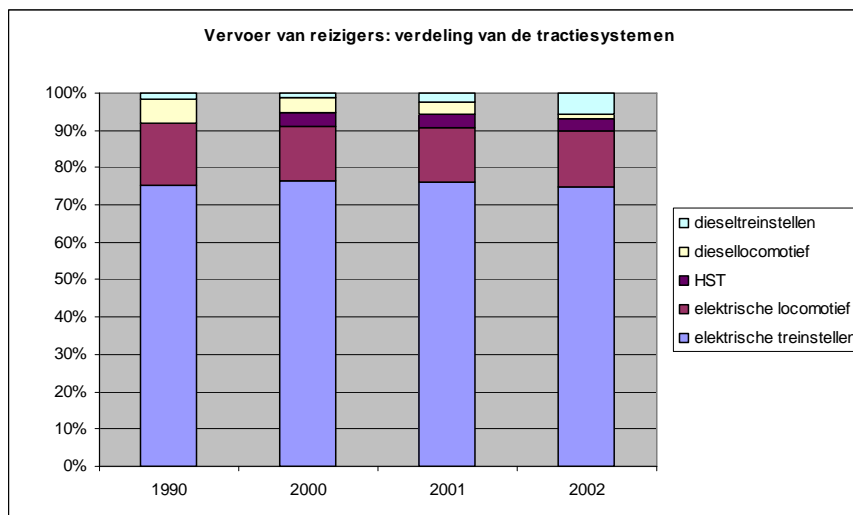
In het gebruik van dieseltractie daarentegen stellen we vast dat het globale gebruik tussen 1990 en 2002 met 31,3% afgenomen is. Vooral in het goederentransport is er een sterke daling. Het aantal krachtvoertuigkilometers gepresteerd door diesellocomotieven voor goederentransport is met 42,3% afgenomen van 1990 tot en met 2002. Het aantal krachtvoertuigkilometers door diesellocomotieven voor reizigersvervoer is in dezelfde periode ook sterk afgenomen, met 78,6%. De daling werd gecompenseerd door een sterke toename, 143% tussen 2000 en 2001 en 112% tussen 2001 en 2002, van de inzet van dieseltreinstellen als gevolg van de progressieve vervanging van locomotieven en oude treinstellen door milieuvriendelijkere dieseltreinstellen. Deze evoluties illustreren duidelijk het beleid.

Rangeren is vanuit milieustandpunt een niet onbelangrijke activiteit. Rangeren gebeurt voornamelijk in stations gelegen in (druk) bevolkte zones. Maar liefst 17% van de krachtvoertuigkilometers met dieseltractie worden gepresteerd tijdens rangeren bij elektrische tractie is dat aandeel 0,3%. De meeste rangeerkilometers worden gepresteerd tijdens het rangeren van goederentreinen.

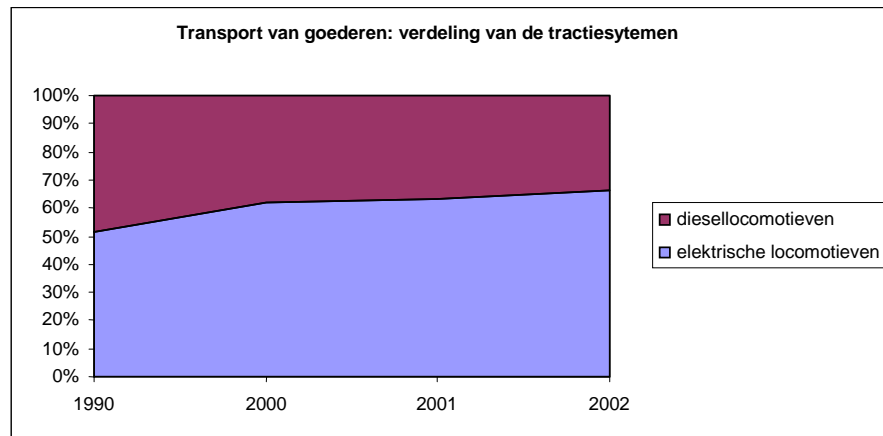
De algemene trends in het gebruik van diesel- en elektrische tractie worden duidelijk in de volgende figuren.

Figuur 2 en Figuur 3 geven het aandeel van de verschillende tractiesystemen in de totaal gepresterde krachtvoertuigkilometers voor respectievelijk het vervoer van reizigers en het transport van goederen.

Wat de gepresterde krachtvoertuigkilometers betreft, maakte in 2002 dieseltractie nog slechts 7% van het reizigersverkeer en 34% van het goederenvervoer uit. De dieseltreinen zijn voorbehouden voor lokaal verkeer en voor het rangeren van treinen.

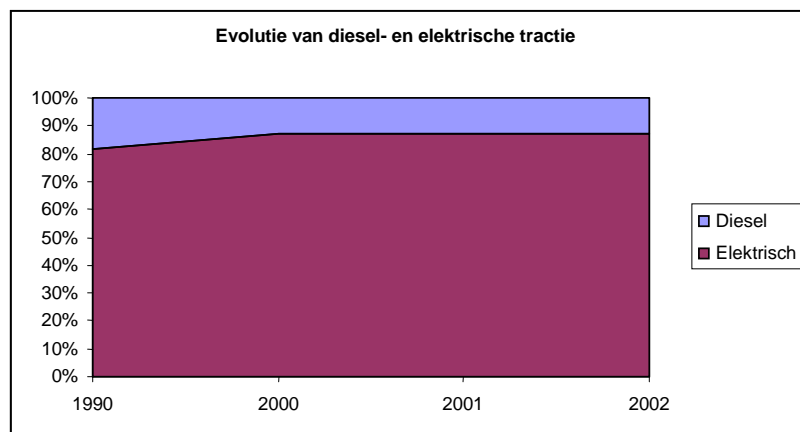


*Figuur 2: Aandeel van tractiesystemen in de totaal gepresterde krachtvoertuigkilometers voor vervoer van reizigers*



*Figuur 3: Aandeel van tractiesystemen in de totaal gepresteerde krachtvoertuigkilometers voor transport van goederen*

Figuur 4 geeft de globale evolutie van het aandeel diesel- en elektrische tractie in de totale krachtvoertuigkilometers van 1990 tot en met 2002. In 1990 werd 82% van de totale krachtvoertuigkilometers gedaan met elektrische tractie en 18% met dieseltractie. In 2002 werd nog maar 13% gedaan met dieseltractie en 87% met elektrische.



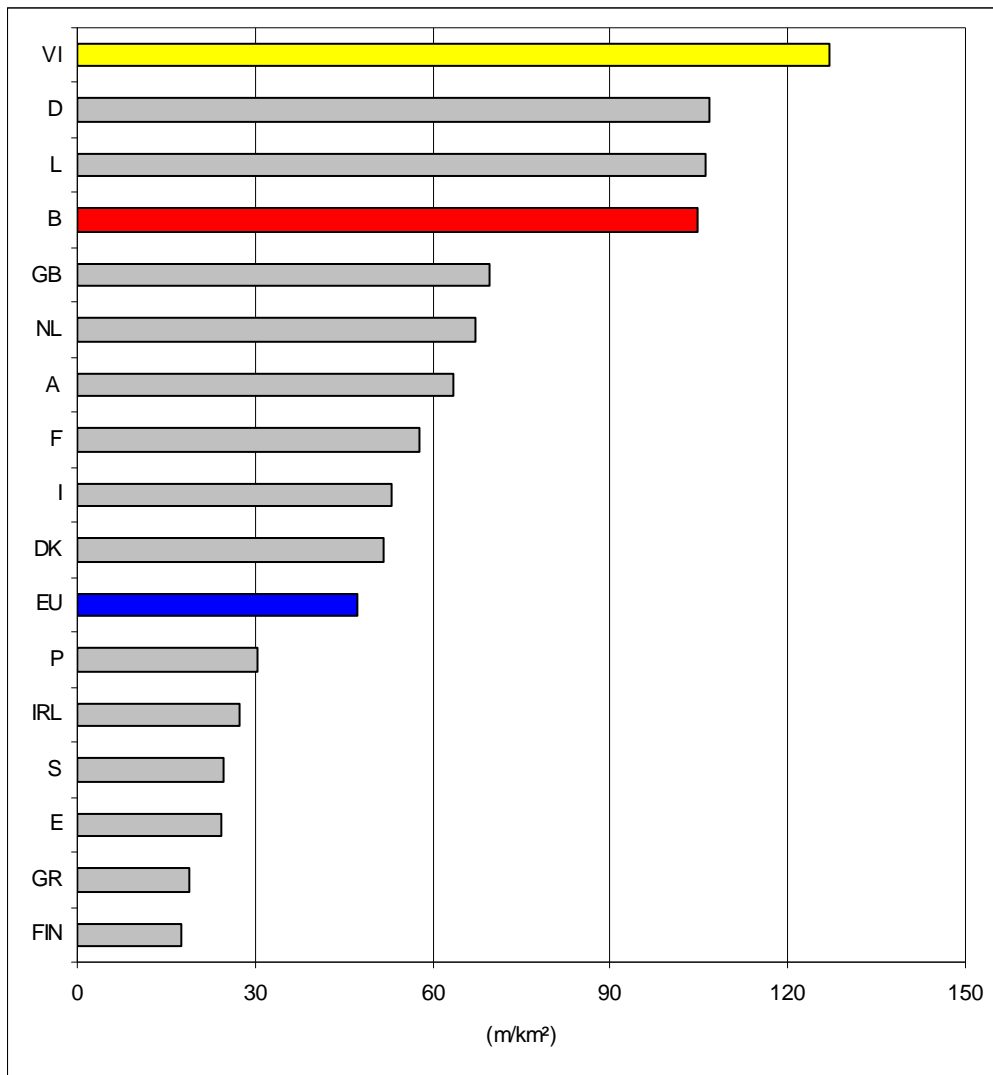
*Figuur 4: Evolutie van het aandeel diesel- en elektrische tractie van 1990 tot en met 2002*

## 2 HET INFRASTRUCTUURNETWERK

### 2.1 Dichtheid van het spoorwegennet

België beschikt over 3 482 kilometer spoor.

Deze infrastructuur resulteert voor België in een dichtheid van nagenoeg 105 m/km<sup>2</sup>. Daarmee komt België op de derde plaats in Europa: Europees gemiddelde is 47 m/km<sup>2</sup>. Als Vlaanderen afzonderlijk wordt bekeken, komt het met een dichtheid van 127 m/km<sup>2</sup> op de eerste plaats in Europa, zie Figuur 5.



*Figuur 5: Dichtheid van het spoorwegennet in België, Vlaanderen en andere Europese landen voor 1999 (Eurostat, 2002)*

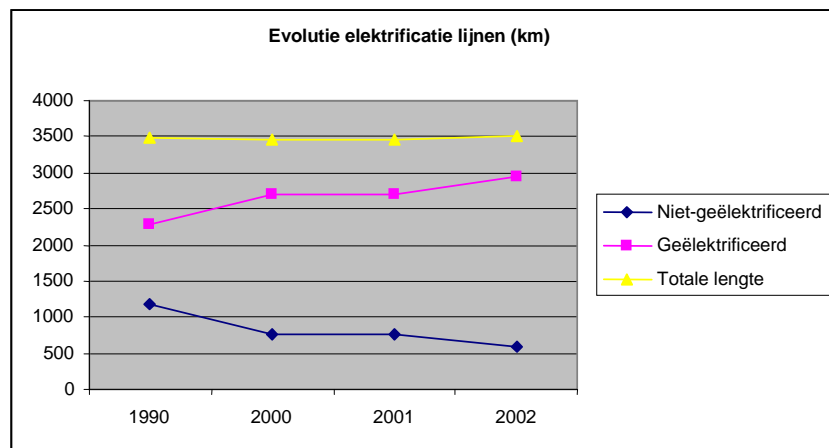
## 2.2 Evolutie geëlektrificeerde lijnen

Het federaal beleid inzake emissiereductie en energiebesparing uit zich eveneens in de evolutie in de elektrificatie van de lijnen. Tabel 3 en Figuur 6 geven de evolutie in de lengte van de (niet)-geëlektrificeerde lijnen van 1990 tot en met 2002.

Tabel 3: Evolutie in de lengte van de geëlektrificeerde lijnen (in km) (NMBS, 2002 en 2003)

	1990	2000	2001	2002
Niet-geëlektrificeerd	1 186	766	753	584
Geëlektrificeerd	2 293	2 705	2 701	2 934
Totale lengte	3 479	3 471	3 454	3 518

Het is duidelijk dat de totale lengte geëxploiteerde lijnen nagenoeg hetzelfde bleef. De lengte van de geëlektrificeerde lijnen nam met 17,8% toe van 2293 km tot 2701 km in respectievelijk 1990 en 2002. De lengte niet-geëlektrificeerde lijnen nam met 50,7% af van 1186 km in 1990 tot 584 km in 2002.



Figuur 6: Evolutie in de lengte van de geëlektrificeerde lijnen



### 3 BIJDRAGE IN VERBRUIK EN EMISSIES

De Vlieger *et al.* (2001) berekende de uitstoot van CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en VOS door het verkeer in België. Naast wegverkeer werden tevens het verkeer per spoor en waterweg opgenomen. Hieruit bleek dat het aandeel in de emissies door spoor en binnenvaart beperkt zijn. Tabel 4 toont het aantal ton uitgestoten door het treinverkeer in 1990 onder het Business-As-Usual (BAU) scenario, dit is bij onveranderd beleid. Tevens wordt de evolutie van het aandeel uitgestoten door het treinverkeer in de totale emissies door verkeer in België weergegeven.

*Tabel 4: Aandeel van het treinverkeer in de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en VOS-uitstoot in België onder BAU scenario (De Vlieger et al., 2001).*

	Uitstoot treinverkeer [ton] 1990	Aandeel van totaal verkeer [%]		
		1990	2000	2010
CO <sub>2</sub>	644 376	3,4%	2,7%	2,7%
NO <sub>x</sub>	5 383	3,4%	2,3%	4,4%
VOS	2 184	1,5%	0,9%	2,9%

Tabel 4 toont dat het aandeel van de treinen in de totale emissies door verkeer en vervoer beperkt is tot 0,5 à 4,5 % in de periode 1990-2010. In 2000 is het aandeel van treinen in de emissies lager dan in 1990, dit is het gevolg van de sterke toename van het verkeer over de weg waar het spoor in deze periode een stagnatie heeft gekend. In 2010 stijgt het aandeel van de treinen in de NO<sub>x</sub>- en VOS-emissies terug. Dit is als gevolg van de steeds strengere Europese emissienormen voor nieuwe voertuigen die van kracht worden in de periode 1990-2010. Voor spoor daarentegen zijn er slechts recentelijk stappen ondernomen om een emissiereglementering uit te werken, zie hoofdstuk 4.

Voor CO<sub>2</sub>, gerelateerd aan het brandstofverbruik, ziet men in 2010 deze stijging niet in het aandeel van de treinen. Verbeteringen naar energie-efficiëntie is minder eenvoudig dan het beperkten van de overige uitlaatemissies. Er werden naar verbruik dan ook niet zoveel winsten geboekt.

Er dient vermeld dat in de studie van De Vlieger *et al.* (2001) voor het berekenen van emissies van spoor en binnenvaart gebruik werd gemaakt van eenvoudige emissiemodellen. In het project SUSATRANS werden deze modellen verfijnd, zodat het BAU-scenario beter rekening houdt met de technologische evolutie binnen spoor en binnenvaart. Verder gebeurde er tevens een volledige bijstelling van het BAU-scenario en dat voor een tijdshorizon tot 2020, zie eindrapport SUSATRANS hoofdstuk 4.3.

## 4 MILIEUWETGEVING

Het Europese beleid ter vermindering van de emissies in de verschillende transportmodi is of wordt vastgelegd in Europese richtlijnen. Deze richtlijnen worden regelmatig geamendeerd om de limietwaarden van de emissies te verlagen en de daarmee gepaard gaande aanpassingen aan brandstofsspecificaties vast te leggen. De EU-richtlijnen moeten verplicht toegepast worden door alle lidstaten, zowel wat betreft introductiedata als limietwaarden en testmethoden.

In dit hoofdstuk wordt de milieuwetgeving voor spoor besproken. Bestaande en voorgestelde richtlijnen over emissies door treinen en brandstofspecificaties worden besproken. In bepaalde richtlijnen wordt een duidelijk onderscheid gemaakt tussen locomotieven en treinstellen. Wanneer dit onderscheid niet gemaakt wordt, zal naar locomotieven en treinstellen verwezen worden met het verzamelwoord 'treinen'.

### 4.1 Emissienormen

In het Europees verkeer- en milieubeleid is er tot dusverre nauwelijks aandacht geweest voor de luchtverontreiniging die wordt veroorzaakt door verkeer over het spoor. De reden hiervoor is dat de lijnen voor een groot deel geëlektrificeerd zijn, waardoor het aantal diesellocomotieven beperkt is en de EU tot voor kort van mening was dat de emissiebijdrage van treinen niet significant is. Het aandeel van de diesellocomotieven (voor vrachtvervoer) in bvb. de NO<sub>x</sub>- en PM<sub>10</sub>-uitstoot van het Europees goederenvervoer is immers altijd klein geweest, ruwweg respectievelijk 3 en 1% (CE, 2003).

Er zijn verschillende redenen op te noemen om de uitstoot door dieseltreinen aan te pakken. De eerste reden is dat bovengenoemde aandeel de komende jaren snel zal stijgen, o.a. omwille van de vervoersgroei, de intentie van de EC om transport over spoor te stimuleren en de snelle milieuverbeteringen in vooral het wegverkeer.

De tweede reden is dat de dieseltrein op dit moment - naast de scheepvaart - het enige vervoermiddel in Europa is waaraan nog geen eisen voor de uitstoot zijn gesteld (stand van zaken november 2003).

De derde reden is dat een aanpak van de emissies nodig is om het imago van spoor als relatief schone vervoerswijze niet te verliezen.

Ten slotte is er de kosteneffectiviteit. Andere vervoerswijzen moeten steeds duurder maatregelen treffen om hun uitstoot te verminderen. Daarom is het interessant om te kijken of verminderingen bij dieseltreinen niet veel kosteneffectiever zijn.

Door het gebrek aan regulering voor treinen ontstonden er 2 initiatieven om standaarden op te stellen. De initiatieven kwamen van de UIC (Union International de Chemin de fer) en de EC (Europese Commissie). De UIC, waarbij vrijwel alle grote spoorwegmaatschappijen zijn aangesloten, stelt emissie-eisen aan het nieuwe materieel van haar leden. Ze controleert deze eisen echter niet effectief en verbindt geen sancties aan overtredingen. Momenteel wordt de EG-richtlijn 97/68/EG voor emissies van mobiele werktuigen gewijzigd. Recent (oktober 2003) is een voorstel gedaan om dieseltreinstellen en -locomotieven op te nemen in de richtlijn en om emissie-eisen te stellen.

#### 4.1.1 Europese richtlijn

De emissies van locomotieven en treinstellen zijn in Europa niet gereguleerd. Ten behoeve van een regulering van deze emissies heeft de EC in haar mededeling "Naar een geïntegreerde Europese spoorverkeerruimte" (COM 2002/18 def.) verklaard dieselmotoren voor spoorwegtoepassingen te willen meenemen bij de herziening van Richtlijn 97/68/EG (betreffende de uitstoot van verontreinigende gassen en deeltjes door inwendige verbrandingsmotoren die worden gemonteerd in niet voor de weg bestemde mobiele machines). In december 2002 volgde een voorstel voor een richtlijn tot wijziging van Richtlijn 97/68/EG (COM 2002/0765) dat ondertussen een aantal keer geamendeerd is.

In richtlijn 97/68/EG zijn de emissies van niet voor de weg bestemde voertuigen (verder afgekort als NWV) gereguleerd. De richtlijn bevat emissienormen in 2 fasen. De normen van fase I gelden reeds, terwijl de normen van fase II tussen 31 december 2000 en 31 december 2003 van kracht worden, afhankelijk van de vermogensgroep. De richtlijn bevat ook regelingen voor een verdere verlaging van de emissiegrenswaarden (fase IIIA en IIIB), op voorwaarde dat de stand van de luchtkwaliteit dit noodzakelijk maakt en dat de vereiste technieken wereldwijd beschikbaar zijn. Aan beide voorwaarden is voldaan.

Richtlijn 97/68/EG geldt voor motoren met compressieontsteking van 18 kW tot 560 kW gebruikt in NWV. In de definitie van NWV is geen definitie van locomotieven opgenomen waardoor locomotieven en treinstellen initieel niet in het toepassingsgebied van de richtlijn vallen. Over de uitbreiding van de definitie hebben de EC en het EP in 2003 gediscussieerd.

In de laatste amendementen (EP en de Raad van 10 oktober, 2003) heeft het EP voorgesteld in de definitie van NWV alle spoortoepassingen (treinstellen en locomotieven van alle vermogenklassen) op te nemen. Tevens heeft het EP fase IIIA en IIIB-emissienormen voor treinstellen en locomotieven opgenomen in de richtlijn.

In onderstaande tabellen worden de emissielimieten voor motoren voor toepassingen in treinstellen en locomotieven van fase IIIA en fase IIIB gegeven zoals voorgesteld door het EP.

*Tabel 5: Fase IIIA en IIIB emissienormen voor dieseltreinstellen*

Fase	Introductiedatum	Netto vermogen	CO	NO <sub>x</sub> +HC	PM	
		kW	g/kWh			
Fase IIIA	31/12/2005	P > 130	3,5	4,0	0,2	
			CO	NO <sub>x</sub>	HC	PM
Fase IIIB	31/12/2011	P > 130	3,5	2,0	0,19	0,025

Tabel 6: Fase IIIA en IIIB emissienormen voor diesellocomotieven

Fase	Introductiedatum	Netto vermogen	CO	NO <sub>x</sub> +HC	PM	
		kW	g/kWh			
Fase IIIA	31/12/2006	$130 \leq P \leq 560$	3,5	4,0	0,2	
			CO	NO <sub>x</sub>	HC	PM
	31/12/2008	$P > 560$	3,5	6,0	0,5	0,2
		$P > 2000$ en cilinderinhoud > 5 l/cilinder	3,5	7,4	0,4	0,2
			CO	NO <sub>x</sub> +HC	PM	
Fase IIIB	31/12/2011	$P > 130$	3,5	4,0	0,025	

De huidige procedure voor emissiemetingen van NWV in Richtlijn 97/68/EG is gebaseerd op een testcyclus voor de stabiele toestand, de C1-cyclus met 8 fasen volgens ISO 8178-4. Aangezien er voor niet voor de weg bestemde mobiele machines veel verschillende toepassingen met verschillende praktische functies zijn, is het zeer moeilijk om hiervoor één enkele testcyclus te hebben. Er is op gewezen dat locomotieven volgens een ander patroon werken dan andere toepassingen van niet voor de weg bestemde mobiele machines, en dat daarom een aparte testprocedure zou moeten worden toegepast. Er bestaat inderdaad ook al een aparte testprocedure ISO 8178 die in het volgende punt “de UIC-norm” toegelicht wordt.

#### 4.1.2 UIC-norm

De komst van de EG-richtlijnen zijn het gevolg van een eerder genomen initiatief door de Europese spoorvereniging (UIC). De UIC is een instantie die technische fiches opstelt voor spoorinstallaties en -componenten. Sinds 1982 doet de UIC aanbevelingen i.v.m. emissielimieten voor de goedkeuring van locomotiefmotoren, maar tot 2002 waren er geen standaarden voor emissies door diesellocomotieven en –treinstellen opgenomen in de fiches. Fiche 623-2 (UIC, 1997) bevat een appendix betreffende het testen van de dieselmotoremissies om na te gaan of ze voldoen aan bepaalde normen om de motor goed te keuren. Er werd geen onderscheid gemaakt op basis van het vermogen van de motor.

Om te komen tot een standaard voor spoor heeft de UIC in 1999 samen met UNIFE en EUROMOT een strategie bedacht om toegestane emissielimieten te bepalen. Ze hebben een ‘Ad hoc groep’ samengesteld die limieten moest voorstellen (*Ad Hoc Group on Limits of Pollutants of New Diesel Engines for Tractive Units*). De aanbevelingen van de ‘Ad hoc groep’ werden door de UIC goedgekeurd en gepubliceerd in de UIC fiche 624 (UIC, 2002). De limieten zijn bindend voor de leden van de UIC, maar hebben geen juridische status. Dit wil zeggen dat overtredingen niet gesanctioneerd kunnen worden.

Om de emissies van een locomotief (geldt voor elke modus) te bepalen, zijn de energieverbruiken en de laadprofielen nodig. Dit in kaart brengen is onmogelijk omwille van verschillende variabelen: klimaat, lading, brandstof, traject, enz. Om dit op te vangen werden door de jaren heen verschillende typische laadprofielen ontwikkeld en werden het

verbruik en de emissies grondig bestudeerd (UIC, 2000). Deze laadcyclussen vormen de basis voor de ISO 8178 Cyclus. Zo'n cyclus vertegenwoordigt een gemiddelde van alle trajecten gereden onder een bepaalde geladen toestand. De cyclus die gebruikt werd voor het vastleggen van emissiestandaarden is ISO 8178 F. Voor deze cyclus werden strenge emissiewaarden vastgelegd die met de huidige technologieën gerealiseerd kunnen worden. Deze waarden zijn opgenomen in de UIC fiche 624 en worden weergegeven in Tabel 7.

*Tabel 7: UIC-emissiestandaarden voor diesellocomotieven*

	Datum	Vermogen	Toerental	CO	NO <sub>x</sub>	HC	PM	Rook
		kW	min <sup>-1</sup>	g/kWh				Bosh nummer
ERRI	<i>Vanaf 01/01/1993</i>			4	16	1,6	1,6	
UIC I*	Vanaf 01/01/1997	Geen limiet	Geen limiet	3	12	0,8	0,8	1,6
UIC II	Vanaf 01/01/2003	> 560	> 1000	3	9,5	0,8	0,25 **	
			≤ 1000		9,9			
		< 560	Geen limiet	2,5	6	0,6		
UIC III	Vanaf 01/01/2008	> 560	Geen limiet	2	6	0,5	0,2	
		< 560			4,5		0,15	

\* de waarden tot en met eind 2002 komen overeen met de ERRI (European Railway Research Institute) waarden (CE, 2003).

\*\* voor motoren met een nominale kracht groter dan 2200 kW worden emissiewaarden van 0,5 g/kWh uitzonderlijk geaccepteerd tot 31/12/2004

De limieten zijn geldig voor dieselmotoren voor spoorwegtractie, met uitzondering van speciale locomotieven (raffinaderijen en mijnen) en tractiemotoren met een vermogen kleiner dan 100 kW, die geproduceerd of gereviseerd worden na de publicatiedatum van de fiche.

De voorgestelde limieten vanaf 2008 zijn strenger, omdat er wordt verwacht dat de verbrandingstechnologie zal verbeteren. Deze normen zijn niet definitief. In 2004 zullen deze geëvalueerd worden.

### 4.1.3 Internationaal

Het EPA (Environmental Protection Agency) in de Verenigde Staten (VS) heeft in 1997 een afzonderlijke richtlijn met emissiestandaarden voor treinen opgesteld. Tot 1997 waren in de VS de emissies van de meeste NWV niet gereguleerd. De richtlijn werd van kracht vanaf 2000.

Afhankelijk van de productiedatum van treinen werden 3 sets standaarden aangenomen. De eerste set, Tier0, geldt voor locomotieven van 1973 tot 2001. De tweede set, Tier1, voor deze van 2002 tot 2004 en de derde, Tier2, voor deze vanaf 2005. De emissiestandaarden worden gegeven in Tabel 8.

Tabel 8: EPA-emissielimieten voor diesellocomotieven in de VS (EPA, 1997)

		CO	NO <sub>x</sub>	HC	PM
		g/kWh			
Tier0 (1973-2001)	Line-haul	5	9,5	1	0,6
	Switch	8	14	2,1	0,72
Tier1 (2002-2004)	Line-haul	2,2	7,4	0,55	0,45
	Switch	2,5	11	1,2	0,54
Tier2 (2005 en later)	Line-haul	1,5	5,5	0,3	0,2
	Switch	2,4	8,1	0,6	0,24

"Line-haul locomotive" zijn locomotieven die ontworpen zijn om goederenwagens voort te trekken. "Switch locomotives" zijn ontworpen om op hun eigen goederen en reizigers te vervoeren (EPA, 1997).

Vergelijken van de EPA-normen met de UIC- en EU-normen is niet echt relevant omwille van het grote verschil in type transport en het rijregime. Het transport over spoor in de VS wordt gekenmerkt door langeafstandsritten, terwijl in Europa (met name België) veelal korte trajecten worden afgelegd.

#### 4.1.4 Vergelijking met de richtlijnen voor wegtransport

Reeds begin de jaren '70 waren er Europese richtlijnen van kracht die emissies van nieuwe wegvoertuigen normeerden. Evenals bij de krachtvoertuigen voor spoor, wordt de maximale uitstoot van de gereguleerde emissies (CO, HC, NO<sub>x</sub> en vaste deeltjes) uitgedrukt in gram/kWh. De emissiemetingen gebeuren aan een motor die op een motortestbank wordt geplaatst.

Tot en met de Euro 2 normering was er enkel sprake van een stationaire test in 13 verschillende motorregimes (de 13 mode test). In Tabel 9 wordt een overzicht gegeven van de evolutie van de emissielimieten bij deze test.

Tabel 9: Overzicht van de richtlijnen betreffende emissienormen voor vrachtwagens en autobussen

	Richtlijn	Vanaf**	CO	NO <sub>x</sub>	HC	Deeltjes
	g/kWh					
Euro 0	88/77/EEG	1/10/1990	11,2	14,4	2,4	-
Euro 1	91/542/EEG	1/10/1993	4,5	8,0	1,1	0,36
Euro 2	91/542/EEG	1/10/1996	4,0	7,0	1,1	0,15

\* voorstel van de Commissie uiterlijk 31 december 1999

\*\* datum waarop alle modellen (niet alleen de nieuwe) moeten voldoen

Betreffende de emissie van deeltjes is er in richtlijn 88/77/EEG geen grenswaarde voorzien. Wel zijn voor de opaciteit van zwarte rook emissies in richtlijn 72/306/EEG (gewijzigd in richtlijn 97/20/EEG) absorptiecoëfficiënten (m<sup>-1</sup>) weergegeven.

Op 16 februari 2000 werd de nieuwe richtlijn 1999/96/EG gepubliceerd. Dit is één van de vijf richtlijnen die het resultaat zijn van het onderzoek van het Auto/Oil programma. Deze

richtlijn voorziet een vermindering van de emissies van verontreinigende stoffen en deeltjes in 3 stappen (Euro 3 tot en met 5), en daarnaast de invoering van het concept 'EEV' (environmentally enhanced vehicle of 'milieuvriendelijker gemaakt voertuig'). Deze laatste categorie, die niet met een invoerdatum gekoppeld wordt, is voorzien om de lidstaten toe te laten via fiscale weg de invoering van dergelijke voertuigen te bespoedigen.

De richtlijn 1999/96/EG voert ook nieuwe testcycli in. De traditionele dieselmotoren, met inbegrip van diegene uitgerust met elektronische brandstofinspuiting, uitlaatgasrecirculatie (EGR) en/of oxidatiekatalysator, moeten worden gemeten met een nieuwe 13-mode test ESC (European Stationary Cycle, bestaande uit 13 statische toestanden) die de gemiddelde motorbelasting beter weergeeft dan de huidige 13-mode test. Binnen de ESC test is het bovendien dat er drie willekeurig gekozen toestanden extra worden gemeten ter controle van de effectiviteit van de emissiebestrijding binnen het normale werkingsgebied van de motor.

Daarnaast is er voor dezelfde motoren een aanvullende rooktest ELR (European Load Response Test, een testcyclus bestaande uit een belastingsverandering van 10 tot 100% bij constant motortoerental, waarbij de opaciteit wordt gemeten.

Heavy-duty diesel motoren uitgerust met moderne uitlaatgasbehandelingsystemen, bijvoorbeeld een DeNox katalysator of een deeltjesfilter, moeten aan bijkomende grenswaarden voldoen, gemeten in een bijkomende test, namelijk de transiënte testcyclus ETC (European Transient Cycle, een testcyclus bestaande uit 1800 per seconde verschillende overgangstoestanden).

De grenswaarden van deze ETC-test zijn eveneens geldig voor motoren met elektronische ontsteking (LPG en aardgas). Dit is de eerste maal dat men grenswaarden specificeert voor gasmotoren. Vanaf Euro 4 valt het onderscheid in testprocedures tussen conventionele dieselmotoren en andere weg, en dienen alle motoren volgens de drie procedures te worden getest.

In Tabel 10 en

Tabel 11 worden de grenswaarden van de ESC/ELR en ETC-test weergegeven in de verschillende stadia, met aanduiding van de data waarop de limieten van toepassing worden. De data gelden voor de nieuwe modellen. Telkens een jaar later moeten alle modellen aan de limieten voldoen.

*Tabel 10: Grenswaarden voor ESC/ELR-test*

Stadium	CO	NO <sub>x</sub>	HC	Deeltjes	Rook
	(g/kWh)				(m <sup>-1</sup> )
EURO 3 (1/10/2000)	21	5.0	0.66	0.1	0.8
EURO 4 (1/10/2005)	1.5	3.5	0.46	0.02	0.5
EURO 5 (1/10/2008)	1.5	2.0	0.46	0.02	0.5
EEV	1.5	2.0	0.25	0.02	0.15

Tabel 11: Grenswaarden voor diesel- en gasmotoren – ETC-test

Stadium	CO	NO <sub>x</sub>	NMHC	CH <sub>4</sub>	Deeltjes
	(g/kWh)				
EURO 3 (1/10/2000)	5,45	5,0	0,78	1,6	0,16
EURO 4 (1/10/2005)	4.0	3.5	0.55	1.1	0.03
EURO 5 (1/10/2008)	4.0	2.0	0.55	1.1	0.03
EEV	3.0	2.0	0.40	0.65	0.02

De doelstellingen achter deze cijfers zijn de volgende:

- vanaf 2000 een vermindering op de uitstoot van CO, HC, NO<sub>x</sub> en deeltjes van 30%
- vanaf 2000 een extra vermindering van 30% op de uitstoot van CO, HC en NO<sub>x</sub> en van 80% op deeltjes.
- vanaf 2008 wordt er gerekend op de invoering van nieuwe technologieën om de uitstoot van NO<sub>x</sub> met 43% extra te verminderen.

Vergelijking van de emissienormen (g/kWh) voor spoor (dieseltractie) en wegtransport leert dat de normen voor spoor minder streng zijn. Zeker als we voor beide modi de normen die van kracht worden in 2005 vergelijken. De limietwaarden voor NO<sub>x</sub>, koolwaterstoffen (HC) en deeltjes liggen voor spoor ongeveer tweemaal zo hoog als de Euro 4 voor wegvoertuigen. Voor NO<sub>x</sub> zal dit met de komst van de Euro 5 zelfs driemaal hoger worden. Voor een correcte vergelijking van modi moet evenwel de uitstoot per tonkm of reizigerskm genomen worden. Een vergelijking tussen de verschillende transportmodi gebeurde voor goederenvervoer in een, latere fase van het project. Dit gebeurde aan de hand van de marginale externe milieuschadekosten, zie eindrapport SUSATRANS hoofdstuk 4.5.

## 4.2 Brandstofspecificaties

Momenteel zijn de brandstofspecificaties voor toepassingen in spoor niet gereguleerd in Europa. Er is geen Europese norm die expliciet de minimumkwaliteit voor gasolie gebruikt in treinen oplegt. Uit de bespreking van de emissienormen in 3.1 blijkt dat de normen met de jaren aangescherpt worden. Naarmate de emissienormen worden aangescherpt en de technieken om aan die normen te voldoen steeds meer worden verfijnd, wordt de brandstofkwaliteit steeds belangrijker. De belangrijkste waarde op dit punt is het zwavelgehalte. Een hoog zwavelgehalte leidt tot een hoge uitstoot van deeltjes en kan bovendien, wanneer nabehandelingstechnieken moeten worden toegepast om aan de emissiegrenzen te voldoen, de efficiëntie van de nabehandelingstechnieken aantasten of verminderen.

De eisen aangaande het zwavelgehalte in brandstoffen zijn opgenomen in Richtlijn 1999/32/EG (inzake de vermindering van het zwavelgehalte van bepaalde vloeibare brandstoffen), Richtlijn 98/70/EG (inzake benzine en diesel brandstoffen voor wegvoertuigen en niet voor weg bestemde voertuigen) en Richtlijn 97/68/EG (inzake emissies door niet voor de weg bestemde voertuigen). Richtlijn 1999/32/EG is de enige die momenteel van kracht is. Richtlijn 97/68/EG moet nog geratificeerd worden en Richtlijn 98/70/EG moet nog afgestemd worden op richtlijn 97/68/EG.



Richtlijn 1999/32/EG bepaalt dat er op het grondgebied van de lidstaten geen gasolie met een zwavelgehalte van meer dan 0,2 gew.% (2000 ppm) gebruikt mag worden met ingang van 01/07/2000. De grenswaarde bedraagt vanaf 01/01/2008 een zwavelgehalte van 0,1 gew.% (1000 ppm).

Richtlijn 98/70/EG stelt dat om de emissielimieten van fase IIIA niet te overschrijden, brandstof met een zwavelgehalte tussen de 0,1 gew.% en 0,2 gew.% aanbevolen is. Om de emissielimieten van fase IIIB niet te overschrijden dient brandstof gebruikt te worden met een zwavelgehalte van max. 0,05 gew.% (50 ppm). De richtlijn vereist dan ook dat vanaf 1 januari 2005 de brandstof voor NWV moet voldoen aan de norm voor wegvoertuigen, namelijk een maximaal zwavelgehalte van 0,005 gew.%. De richtlijn vereist eveneens dat tegen 2009 de zwavelinhoud gereduceerd moet worden tot slechts 0,001 gew.% (10ppm). Maar Richtlijn 98/70/EG is momenteel nog niet afgestemd op de emissierichtlijn. Er is nog geen discussie aan de gang over de uitbreiding van de definitie van NWV, in tegenstelling tot richtlijn 97/68/EG, tot motoren gebruikt in spoortoepassingen, er is in de richtlijn nog geen definitie van de door deze motoren gebruikte vloeibare brandstoffen opgenomen en er zijn nog geen nieuwe minimum brandstofkwaliteitseisen gesteld.

De referentiebrandstof die bij typegoedkeuringen wordt gebruikt, moet van dezelfde kwaliteit zijn als brandstof die onder de werkelijke bedrijfsomstandigheden wordt gebruikt. Richtlijn 97/68/EG stelt: om aan de fase IIIA grenswaarden te voldoen, mag het zwavelgehalte maximaal 0,03 gew.% zijn. Om aan de grenswaarden van fase IIIB te kunnen voldoen, mag het zwavelgehalte vanaf 2012 maximaal 0,001 gew.% zijn.

*Tabel 12: Overzicht van Europese richtlijnen met betrekking tot het zwavelgehalte van gasolie voor spoortoepassingen*

Richtlijn	Vanaf		Maximum zwavelgehalte (gew.%)
93/12/EEG	01/10/1994		0,2
1999/32/EG	01/07/2000		0,2
	01/01/2008		0,1
98/70/EG*	Fase IIIA	01/01/2000	0,2
	Fase IIIB	01/01/2005	0,005
		01/01/2009	0,001
97/68/EG**	Fase IIIA	Na ratificatie	0,03
	Fase IIIB	31/12/2011	0,001

\* de norm is niet wettelijk verplicht voor toepassingen in spoor (wel voor wegvoertuigen). De NMBS gebruikt echter sedert 2003, diesel met een maximaal zwavelgehalte van 50 ppm

\*\* geldt voor referentiebrandstof gebruikt bij typegoedkeuring

De NMBS gebruikt voor de voeding van de thermische motoren van de diesel baan- en rangeerlocomotieven, alsmede van de motorwagens ontaarde<sup>2</sup> gasolie Diesel 50S die

<sup>2</sup> In de gasolie diesel worden een kleurstof en een euromarker toegevoegd aangezien de vrijstelling van accijsrechten.

voldoet aan de NBN EN 590-norm<sup>3</sup>. De Europese norm heeft de status van een Belgische norm en bepaald de kwaliteit van gasolie diesel voor wegvoertuigen. Het gebruik van deze brandstof is echter niet verplicht voor toepassingen in spoor. De overheid en de NMBS zijn tot een (vrijwillig) akkoord gekomen over het gebruik ervan vanaf 2003<sup>4</sup>. De norm beperkt het zwavelgehalte vanaf 2005 tot max. 0,005 gew.%. In de praktijk is het zwavelgehalte van de dieselbrandstof nu reeds < 0,005 gew.%.

Voor de bevoorrading van de verschillende werktreinen en gespecialiseerde werktuigen bestemd voor het onderhoud van de infrastructuur gebruikt de NMBS gasolie voor verwarming met een 0,2 gew.% zwavelgehalte.

## **5 FEDERAAL BELEID**

Het federaal beleid inzake emissiereductie en energiebesparing in spoor (en andere modi) is opgenomen in een federaal reductieplan (FOD Leefmilieu, 2003). De federale overheid zal Europese richtlijnen omzetten in federale wetgeving en directe en indirecte maatregelen treffen om de emissies te reduceren. In 2002 maakte dieseltractie nog slechts 7% van het reizigersverkeer en 34% van het goederenvervoer uit. Binnen 12 jaar zullen alle oude diesellocomotieven progressief vervangen zijn door nieuwe diesellocomotieven die minder verontreinigen en op energieniveau beter presteren. Dit blijkt reeds uit de evolutie in de parksamenstelling. Het aantal diesellocomotieven neemt met de jaren af en zowel de diesellocomotieven als de dieseltreinstellen worden vernieuwd.

De doelstellingen van het milieubeleid van de NMBS staan neergeschreven in een milieumeerjarenplan. De NMBS heeft in haar milieumeerjarenplan 2000-2003 8 prioriteiten gedefinieerd. Een daarvan is “de verbetering van de energetische efficiëntie” (NMBS, 2001). In de praktijk betekent dit o.a. dat de NMBS meer dubbeldekkers zal aankopen met optimale energie-efficiëntie, gelet op onder meer de lage massa per aangeboden zitplaats.

---

<sup>3</sup> Persoonlijk communicatie met dhr W. Bontinck, 18/08/2003, dhr. P. Marichal, 22/10/2003 en Belgomazout, 22/10/2003.

<sup>4</sup> Persoonlijke communicatie met dhr L. Thijs, 18/11/2003

## **6 ENERGIEBESPARENDE MAATREGELLEN**

### **6.1 Inleiding**

Er bestaan zowel technische als niet-technische opties om emissies en brandstofverbruik te reduceren. Technische opties zijn opties die betrekking hebben op onderhoud of voertuig- en brandstoftechnologie. Het kan gaan om aanpassingen in bvb. treinmassa, tractietechnologie, aërodynamica, instelling van de comfortfuncties en energierecuperatie. Met niet-technische opties worden hier de opties bedoeld die betrekking hebben op bvb. het rijgedrag van de bestuurder of organisatie (logistiek).

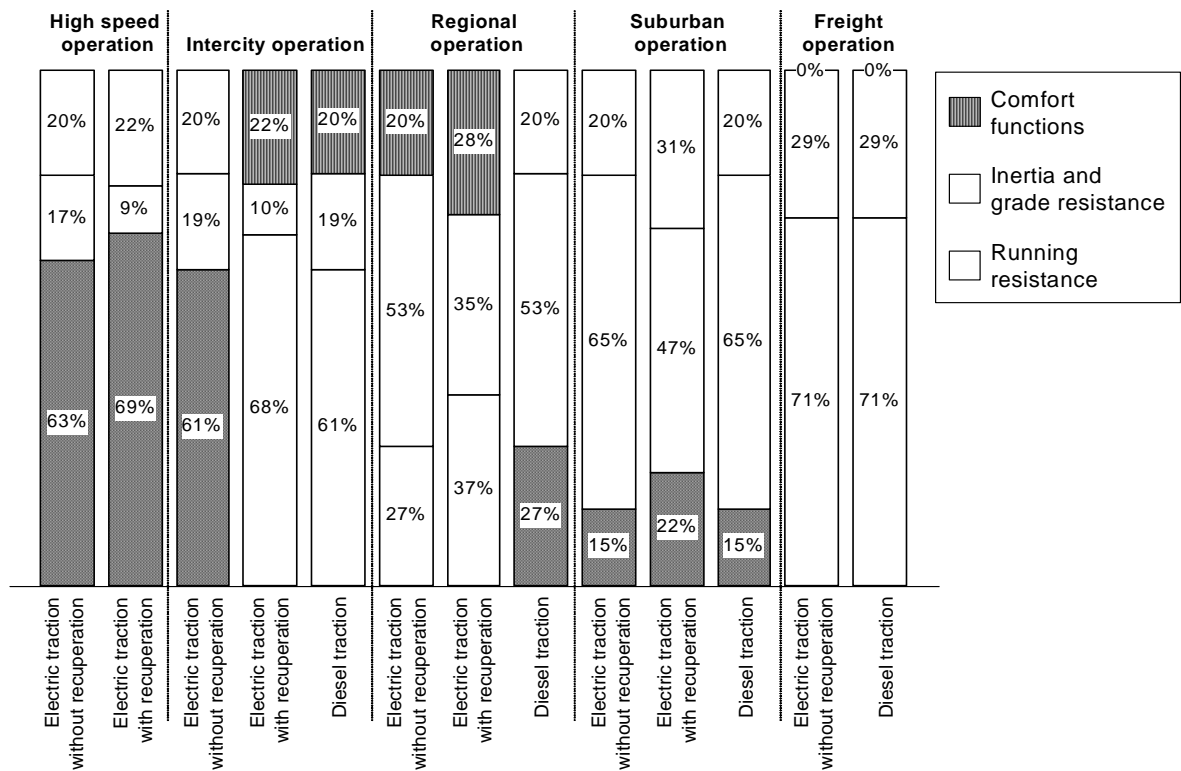
In wat volgt worden de door ons geselecteerde opties kort beschreven. Deze werden geselecteerd op basis van hun eenvoud en toepasbaarheid. Het is niet de bedoeling technische fiches van de opties weer te geven. We proberen eerder een beeld te schetsen van de techniek, een grootteorde te geven van de impact op energieverbruik en/of emissie naar lucht en bepaalde knelpunten aan te halen om een beeld te vormen van de haalbaarheid. De opties zijn opgedeeld in 2 categorieën: energiebesparende en emissiereducerende technieken. Een tweede opdeling gebeurt volgens de technische of niet-technische aard van de optie. Deze indelingen zijn echter niet absoluut, er zijn overlappingen tussen de categorieën en de opties onderling.

Een volledige lijst van de bestaande energiebesparende technieken is weergegeven in bijlage A. De meeste van de opties die gequoteerd zijn als ‘very promising’, ‘promising’ en ‘interesting’ zijn nog onderhevig aan onderzoek en hun implementatie laat nog op zich wachten tot minstens 2010.

Er dient opgemerkt te worden dat de informatie verwerkt in dit rapport afkomstig is van modellen en projecten elders in de wereld uitgevoerd. Een kritische analyse is nodig om na te gaan in hoever die informatie kan worden overgebracht naar de situatie in België. Ook dient nagegaan in welke mate maatregelen reeds geïmplementeerd zijn in België. Deze toetsing heeft VITO samen met de NMBS uitgevoerd.

### **6.2 Energieverdeling**

Treinen verbruiken veel energie. Zowel tijdens de operationele als niet-operationele fase. Tractie, remmen, koeling van het tractiestel en de motor, instelling van de comfortfuncties, allen vergen energie.



Bron: EVENT, Institute for Futures Studies and Technology Assessment - Berlin 2003

Figuur 7: Energieverdeling treinen (EVENT studie, 2003)

Uit de figuur valt op dat de energieverdeling per type tractie, diesel of elektrisch, nagenoeg hetzelfde is.. De verschillen manifesteren zich in het type gebruik. De typegebruiken zijn reizigersverkeer aan hoge snelheid (hoge snelheids- en intercitytreinen), lage snelheid (regionale en voorstedelijk treinen) en goederentransport.

We onderscheiden:

- Energie nodig voor comfortfuncties zoals verlichting, verluchting, verwarming, koeling, voedingen voor PC, sonorisatie, signaletica, enz.. uiteraard alleen voor reizigerstreinen. Deze energievraag is minder afhankelijk van de vermelde type gebruiken en bedraagt ongeveer 22% van het totale energieverbruik van de trein zelf.
- Energie nodig voor het versnellen en het oprijden van hellingen. Deze energiebehoefte is vooral afhankelijk van de massa, het traject en de densiteit van de haltes. De *Figuur 8* leert ons dat een lage massa (per zitplaats) relatief belangrijker is bij treinen die vaker stoppen dan bij IC-treinen
- Energie nodig voor het behoud van de snelheid of voor het overwinnen van de rol- en windweerstand. Deze energiebehoefte is uiteraard sterk afhankelijk van de maximale snelheid en de windweerstand van de trein.

In wat volgt, worden potentiële maatregelen besproken om het energieverbruik terug te dringen.

## 6.3 Niet-technische opties

### 6.3.1 Energetisch efficiënt rijden (UIC, 2003)

Indien treinen zouden rijden volgens het snelst mogelijke reisschema, dit betekent snel accelereren, rijden aan topsnelheid en heel laat en fel remmen dan zou dit rijgedrag leiden tot hoge energieverbruiken en verhoogde emissies.

#### *Maatregel*

Leren zuinig rijden. Zuinig rijden moet aangeleerd worden al dan niet ondersteund door on-board meet, advies en controle systemen. Zuinig rijden wil zeggen: niet te hard versnellen, niet aan maximaal toegelaten snelheid rijden en tijdig tractie uitschakelen om niet te fel te moeten remmen op het einde van het traject.

#### *Energiebesparing*

In Taiwan heeft men berekend dat hiermee 5% van de totale energieconsumptie kan bespaard worden. Studies hebben aangetoond dat in Amerika brandstofverbruiken op een zelfde route 12-20% lager liggen afhankelijk van de bemanning.

#### *Haalbaarheid*

De NMBS stelt stiptheid prioritair aan energie-efficiëntie. Bijgevolg kan zuinig rijden alleen toegepast worden ingeval geen bijzondere incidenten zich voordoen met vertragingen als gevolg en indien de theoretische rittentabel enige reserve inhoudt.

Vanuit de overheid kunnen initiatieven gelanceerd worden die de haalbaarheid van de integratie van energiebewust rijden in de opleiding van machinisten evalueert.

### 6.3.2 Management van treincondities

#### *Maatregel*

De posities van de wagons en locomotief afstellen op de snelheid, lading en terrein, manipulatie van treinlengte, *goede* keuze maken tussen nieuwe en oude locomotieven, optimaliseren van reisschema's naar snelheid, acceleratie en remgedrag, snelheidsbeperkingen opleggen om snelheid en remintensiteit te minderen, enz.

Dit vereist een controle systeem dat zegt hoe te rijden, hoeveel te tanken, enz. afhankelijk van het traject en de weersomstandigheden.

#### *Energiewinst*

De winst wordt vooral geboekt in lager brandstofverbruik door afname van de luchtweerstand, lagere snelheden en installeren van nieuwe motoren.

### *Haalbaarheid*

Sterk ontwikkelde informatiegebaseerde technologieën (bestaande uit sensoren (verzamelen), computers (verwerken), digitale communicatie(verspreiden)) nodig om management, planning en veiligheid te organiseren.

Grote kansen en interesse, maar niet voor nu. Er zijn reeds testen gebeurd, maar de implementatiefase laat nog op zich wachten.

### **6.3.3 Optimalisering doorstroming treinen**

#### *Maatregel*

Zware goederentreinen (1000 à 2000 t) moeten vaak uitwijken en stoppen om voorrang te verlenen aan de veel lichtere reizigerstreinen (bv 1 motorstel van ca 80 t). Op de belangrijke internationale goederenassen moet dit andersom, zodat veel minder energie verloren gaat.

De verdubbeling van het aantal sporen op de druk gebruikte baanvakken laat toe de trage lokale treinen of goederentreinen te scheiden van de snelle IC- treinen. Dit verhoogt niet alleen in sterke mate de capaciteit van het baanvak maar vermindert eveneens de kans op oponthoud en dus extra energieverlies van de doorgaande treinen.

#### *Energiewinst*

Maximaal behoud van de bekomen kinetische energie.

### *Haalbaarheid*

De aanpassing van de voorrangregels op de internationale goederenassen is voorzien op korte termijn.

De verdubbeling van de baanvakken Brugge - Gent, Denderleeuw – Brussel, Brussel – Ottignies en Brussel – Braine l’Alleud is voorzien in het huidige investeringsprogramma. Bovendien is Brussel – Leuven in uitvoering.

## **6.4 Massareductie**

### **6.4.1 Aluminium kast (UIC, 2003)**

De meeste “koetswerken” van treinen zijn nog van (zwaar) metaal.

#### *Maatregel:*

Nieuwe treinen kunnen worden geproduceerd met een aluminium koetswerk en oude metalen koetswerken kunnen vervangen worden nieuwe van aluminium.

#### *Energiewinst*

1-3% minder energieverbruik voor tractie.

### Haalbaarheid

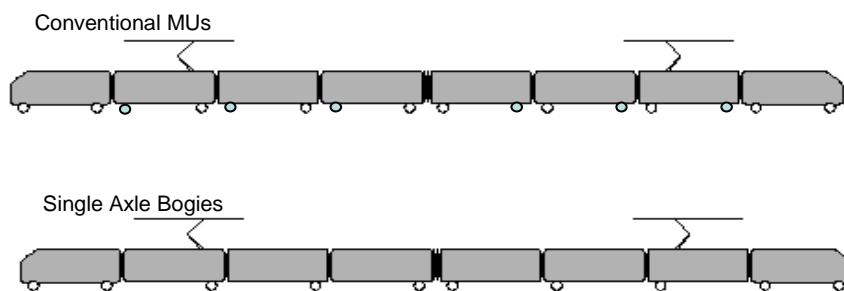
Aluminium kasten worden reeds gebruikt in spoortoepassingen. Maar aluminium is minder isolerend en bijgevolg ontstaan er andere energienoden. Een inschatting van het totale energieverbruik en de overall winst is er nog niet gedaan.

#### 6.4.2 Enkele-as draaistel (UIC, 2003)

Momenteel worden treinstellen ondersteund door 2 draaistellen (zie conventional MUs in Figuur 9). Deze draaistellen maken 30-40% uit van het totale gewicht.

### Maatregel

In Figuur 9 wordt de constructie van een treinstel met enkel-assige onderstellen (single axle bogies) geïllustreerd. De massa- en energiereducties werden voor de Kopenhaagse metro bestudeerd en toegepast. Er wordt 62-70% gewicht bespaard op de onderstellen, dit komt neer op 7-14% van het totale gewicht.



Figuur 9: Samenstelling van treinstellen met een klassiek- en een enkel-assige onderstel

### Energiewinst

1-9% minder energieverbruik voor tractie.

### Haalbaarheid

De draaistellenstructuur wordt afhankelijk van de toepassing (te dragen gewicht) ontworpen. In Europa is de toegelaten massa per wielas beperkt tot maximaal 25 ton per as.

#### 6.4.3 Dubbeldekrijtuigen (UIC, 2003)

Dubbeldekrijtuigen hebben 40-60% meer capaciteit dan een conventionele trein van dezelfde lengte voor slechts een toename in massa van 10%.

*Maatregel*

Meer gebruik maken van dubbeldekrijtuigen.

*Energiewinst*

De energiewinst wordt duidelijk wanneer het energieverbruik wordt uitgedrukt in capaciteit en niet per rijtuig.

Bvb. in een conventionele trein is er 100% energieverbruik voor 100% zitplaatsen. In een dubbeldekker is er 110% energieverbruik voor 140-160% zitplaatsen. Per zitplaats geeft dit een afname in energieverbruik van 27% tot 45%.

Het extra energieverbruik van een dubbeldekker, geschat op 10% per rijtuig (niet per zitplaats), is te wijten aan het feit dat deze treinen groter, hoger en zwaarder zijn dan conventionele treinen.

Om uit te maken wat de winst zou zijn voor een volledige vloot, moet uitgemaakt worden op hoeveel van de regionale en nationale lijnen dubbeldekrijtuigen kunnen ingezet worden.

*Haalbaarheid*

De federale overheid heeft in haar milieubeleidsplan reeds verklaard in nieuwe dubbeldekkers met optimale energie-efficiëntie, gelet op het hoog aantal aangeboden plaatsen, te willen investeren (FOD, 2003).

## **6.5 Regel- en monitoringtechnologie**

### **6.5.1 Reduceren van het ‘stationair draaien’ (ANL, 2002)**

Locomotieven staan dan wel stil tijdens het koppelen van wagons of wanneer ze een andere trein moeten doorlaten, maar toch moeten er brandstof- en energievoorzieningen zijn om bijvoorbeeld de treinen te voorzien van de nodige comfortfuncties.

*Maatregel*

Installatie van een automatisch start/stop systeem en/of een hulpkrachtbron. Het systeem zorgt ervoor dat de motoren in stationaire toestand automatisch aan- of uitgaan afhankelijk van de temperatuur en de lading van de batterijen. De hulpkrachtbronnen zijn kleine dieselmotoren van 50 pk die tijdens het stilstaan zorgen voor de nodige energievoorziening. Zodanig kunnen de aandrijvingmotoren worden uitgezet.

*Energiebesparing*

Geschat wordt dat 10% brandstof bespaard kan worden.

Bvb. een diesel locomotief die 75% stationair draait, verbruikt in deze toestand 27% van de totale brandstof en stoot 25% van de totale NO<sub>x</sub> uit.



Bovendien verbruikt een trein die veel stationair draait 10% meer olie dan diesel. Deze wordt verbrand of onverbrand geëmitteerd.

### *Haalbaarheid*

Is reeds in gebruik. Voor de installatie van een automatisch start/stop systeem zijn er niet echt problemen. Voor de installatie van een extra motor moet de ruimte voorzien zijn/worden. De grootte van de locomotief en motor zijn meestal op elkaar afgestemd waardoor er geen extra ruimte is.

## **6.5.2 Revisie van oude dieselmotoren (UIC, 2003)**

Treinen hebben een lange levensduur. 40 jaar voor een locomotief is geen uitzondering. Ze zijn ontwikkeld in een tijdperk dat de efficiëntie en de emissies minder controleerbaar waren en de motoren slijten met de jaren waardoor hun efficiëntie daalt en de emissies toenemen. De technologie is ondertussen achterhaald. Er bestaan nieuwe motortechnologieën die zorgen voor lagere verbruiken en emissies.

### *Maatregel*

Vervangen van de motoren door nieuwe, efficiëntere motoren kan de energieconsumptie en emissies terugdringen.

Bvb. door motoren die werken met een *Common Rail* injectiesysteem. In conventionele dieselmotoren wordt de druk voor elke injector afzonderlijk opgebouwd in een voorkamer. De brandstof wordt dan in de cilinder geïnjecteerd en verbrand. In een *common rail* injectiesysteem wordt de brandstof onder hoge druk opgeslagen in een gemeenschappelijk reservoir. Van hieruit wordt brandstof geleverd aan de injectoren afhankelijk van de noden. Dit betekent dat de duur van injectie en verbranding afgestemd worden op de noden en optimaal zijn.

### *Energiewinst*

Revisie van 30 jaar oude locomotieven kan zorgen voor 30% minder brandstofverbruik. Uiteraard leidt dit tot lagere emissies.

### *Haalbaarheid*

Een eerste probleem is de compatibiliteit van de motoren. Een tweede is dat een nieuwe motor moet afgestemd worden op de oude locomotief en er dus nood is aan een 'op maat' gemaakte motor. En tenslotte, hoge efficiëntie gaat samen met hoge NOx-uitstoot. Er moet naar een oplossing gezocht worden die dit probleem ter hoogte van de motor aanpakt zodanig dat de nood aan nageschakelde technieken afneemt (zie verder: nabehandeling uitlaatgassen).

Is niet meer relevant voor de locomotieven van de NMBS omdat deze tegen 2015 allemaal zullen vervangen zijn. Wel nog van toepassing voor andere operatoren op het NMBS-spoornet.

### **6.5.3 Afkoelen tractie en motor (UIC, 2003)**

De afkoeling van de tractiestellen en motoren vergt veel energie en gebeurt weinig efficiënt. De koeling is niet afgesteld op de nood. Vaak draaien de koelers (ventilators) op vol vermogen terwijl dit niet altijd nodig is.

#### *Maatregel*

Monitoren van de temperatuur maakt ‘afkoeling op maat’ mogelijk.

#### *Energiewinst*

Er is minder vermogen nodig om de ventilators aan te drijven. Men zou het ook kunnen overwegen om de warmte die vrijkomt te recupereren en te gebruiken voor de comfortfuncties in passagierstreinen.

#### *Haalbaarheid*

Integratie van een goed monitorsysteem (sensoren, controle en regelapparatuur) is niet in alle treinstellen mogelijk.

Deze maatregel zou resulteren in minder geluid bij stilstand.

### **6.5.4 Gedeeltelijk uitschakelen van de aandrijving (UIC, 2003)**

De meeste (elektrische) treinen hebben rijtuigen met afzonderlijk aangedreven assen. Doorheen het traject werken al de draaistellen wat afhankelijk van de belasting overbodig is.

#### *Maatregel*

Bij lage of middelmatige lading zou het een goede optie zijn een deel van de draaistellen af te zetten (de efficiëntie bij lage lading is immers lager) en een aantal andere te laten werken op vol vermogen.

#### *Energiewinst*

2-5% per stel, vnl. voor stellen die zware ladingen moeten verwerken en een groot deel van de tijd lichtgeladen rijden.

*Haalbaarheid*

Weinig, draaistellen zijn sowieso afzonderlijk uitschakelbaar. Er dient wel een boordcomputer geïnstalleerd voor de aan en uitschakeling.

Problemen op niveau van ervaring, weten vanaf wanneer en hoeveel aandrijvers uitgeschakeld dienen te worden. Opleiding gewenst.

**6.5.5 Sensoren en controle (ANL, 2002)**

Verbetering van motorefficiëntie en emissiereductie steunen op accurate monitoring en controle van het ganse systeem.

Laat nog op zich wachten, want eerst moeten de in-cilinder technieken (verbranding) en de afgasbehandeling worden ontwikkeld.

*Haalbaarheid*

Niet voor 2010

**6.6 Weerstandreductie****6.6.1 Aërodynamica van goederentreinen (UIC, 2003 en ANL, 2002)**

Veel wagons worden niet afgedekt. Dit leidt tot een grote luchtweerstand, vooral wanneer ze niet geladen zijn. In veel gevallen zou de energievraag voor het transporteren van lege en volle wagons even groot zijn. Een studie heeft aangetoond dat de weerstand van lege wagons tot 65% meer is vergeleken met volle wagons. Daarnaast trekken locomotieven vaak wagons die verschillen in vorm, gewicht, maten enz. Soms worden deze op een volgorde gerangschikt die, wat betreft de aërodynamica, niet optimaal is en zorgt voor veel extra weerstand.

*Maatregel*

Dit kan gaan van het afdekken van lege (eventueel volle) wagons tot het afdekken van de ruimte tussen de wagons of tot het aërodynamisch gunstig ordenen van verschillende wagons.

*Energiewinst*

Geschat wordt dat het energieverlies in transport door weerstand 50% is van de totale energievraag. Afdekken van lege wagons kan leiden tot 35% minder energieverbruik. Het gunstig ordenen van wagons van verschillende maten en vormen kan 0-12% van de totale energievraag besparen.

### *Haalbaarheid*

Het afdekken van lege wagons levert niet direct moeilijkheden op. De ordening van wagons daarentegen wel. De volgorde wordt geoptimaliseerd naar tijd en afstand (kost dus) en verandering in volgorde heeft waarschijnlijk ongunstige gevolgen.

### **6.6.2 Omkassen van draaistellen in passagierstreinen**

De totale weerstand in treinen die rijden aan hoge snelheid (100-300km/h) is verantwoordelijk voor 60% van de totale energieconsumptie. De draaistellen zijn verantwoordelijk voor een (niet onbelangrijk) deel van deze luchtweerstand.

Studies hebben aangetoond dat het omkassen van de draaistellen kan leiden tot 10% minder (totale) rijweerstand in treinen die snelheden tussen de 100 en 300km/h halen.

### *Maatregel*

Omkassen van de draaistellen.

### *Energiewinst*

Een energie efficiëntie potentieel van 5-10% op het totale energieverbruik.

### *Haalbaarheid*

Nieuwe treinen ontwikkeld en geproduceerd worden met afgedekte ophanging en wielen, maar aanpassen van oude treinen gaat niet zonder moeilijkheden (compatibiliteit met de vorm).

### **6.6.3 Verminderen wiel/rail weerstand (ANL, 2002)**

Afhankelijk van de conditie van rails (droog of vettig), de compatibiliteit van wiel en rail, vlot sturen, snelheid, enz. kan de weerstand tussen wiel en rail voor veel energieverlies zorgen.

### *Maatregel*

De frictie kan verbeterd worden door de zijkant van de rails in te vetten en door de vorm van de wielen en de rails compatibel te maken. Een reductie van 33% in de rolweerstand door het invetten van rails vermindert de totale weerstand (t.g.v. rollen, gewicht, aërodynamica enz.) tot 3% op rechte stukken en tot 13% in bochten.

Momenteel wordt in alle moderne tractievoertuigen wielflenssmering toegepast als maatregel tegen slijtage, niet als energiebesparende maatregel.

### *Energiewinst*

Eerdere studies hebben aangetoond dat energiebesparingen tot 24% (op tractie) mogelijk zijn als frictie goed gemanaged wordt.

### *Haalbaarheid*

Smering van rails en wielflensen brengt een aantal moeilijkheden met zich mee. Systemen voor de opslag en de aanbreng van de vetten zijn nodig en verlies van vetten (vervuilt, brandgevaar, ...) treedt op. Bovendien is deze maatregel nuttig in zones met een hoge wielflenswrijving tegen de zijkant van de rails, bvb in felle bochten in een geaccidenteerd landschap. Deze maatregel is dus niet echt van toepassing op België.

Maar zoals reeds gezegd, wordt wielflenssmering reeds toegepast in alle recente tractievoertuigen. Niet zozeer als energiebesparende optie, eerder om de zijdelingse sleet van wiel en rail te verminderen.

## **6.7 Optimalisatie van de airco**

Temperatuurinstelling en ventilatie vergen energie, zowel tijdens als buiten de diensturen. Klimatisatie vergt 20% van de totale verbruikte energie in een passagierstrein. Hiervan is 1/3 bestemd voor de verluchting en 2/3 voor temperatuurregeling. In sommige gevallen kan het voorkomen dat om vriesschade te voorkomen rijtuigen ook 's nachts op temperatuur gehouden worden.

### *Maatregel*

De doelwaarden kunnen geoptimaliseerd worden zonder het comfortniveau van de passagiers te benadelen. De temperatuur bvb. kan in de winter minder hoog ingesteld worden (passagiers zijn reeds warm gekleed) en in de zomer minder fris. De luchtverversing kan afgestemd worden op de bezetting. Er zijn technieken in ontwikkeling die de bezetting opmeten (o.b.v. CO<sub>2</sub>-gehalte) en afhankelijk daarvan de ventilatie regelen.

Wat het op temperatuur brengen van de rijtuigen betreft voor vertrek 's morgens en onderhoud 's nachts, dit kan geautomatiseerd worden. De treinen kunnen via boordcomputer of afstandregeling een uur of twee voor vertrek verwarmd worden.

### *Energiewinst*

Er is aangetoond dat in Nederland 1-3% bespaard kan worden op de totale energiebehoefte voor temperatuurregeling. Dit geldt voor de volgende condities: verlaging van rijtuigtemperatuur met 3-4° wanneer de buitentemperatuur -10°C is en verlaging met 0.5° als de buitentemperatuur 5°C is. In Duitsland is aangetoond dat er 4% kan bespaard worden op de totale energievraag door de verluchting af te stemmen op de bezetting. Beide winsten worden geboekt tijdens de diensturen. Algemeen wordt gesteld dat bij 40% bezetting 60% bespaard kan worden op energie voor klimatisatie in de Duitse situatie.

De winsten op de totale energievraag buiten de diensturen zijn 2-5% in West-Europa en 4-9% in Scandinavische landen. Er wordt gesproken van 20-30% van de energie voor verwarming.

## 6.8 Energierecuperatie

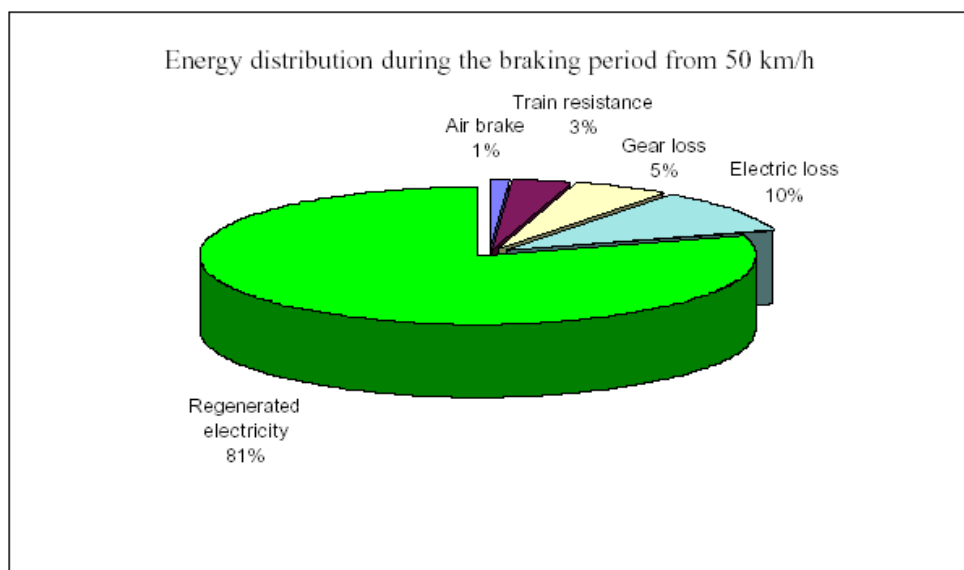
### 6.8.1 Regeneratief remmen in treinen met elektrische tractiemotoren (UIC, 2003 en ANL, 2002)

De remenergie wordt gedissipeerd als warmte.

#### *Maatregel*

Energie kan worden gerecupereerd tijdens het remmen door de tractiemotoren te gebruiken als generatoren die elektriciteit genereren. De hoeveelheid die kan gerecupereerd worden is afhankelijk van de snelheid en het rempatroon maar kan heel hoog zijn (81% bij een snelheid van 50 km/h) zoals geïllustreerd in Figuur 10. Gemiddeld is dit 60%. De overige 40% gaat verloren. De gerecupereerde energie kan gebruikt worden voor:

- On-board toepassingen
- De energiebehoefte van andere treinen hetzij rechtstreeks, hetzij via buffers (batterijen, vliegwheels, brandstofcellen) geplaatst langsheen de spoorlijn.
- In sommige gevallen terug te sturen naar het nationaal net



*Figuur 10: Energiedistributie tijdens het remmen voor regeneratief remmen met een elektrische trein (Jorgensen en Sorensen, 1997)*

Figuur 7 toont dat treinen met energierecuperatie meer energie kunnen benutten voor tractie en de instelling van comfortfuncties. In hoge snelheids- en intercitytreinen kan 2% van de gerecupereerde energie benut worden voor de comfortfuncties en 6 à 7% voor tractie. In lage snelheidstreinen is dit 2% voor de comfortfuncties en 7 à 10% voor tractie.

*Energiewinst*

Toepassingen waarvoor de geregenereerde energie gebruikt kan worden zijn beperkt waardoor slechts winsten van 2% haalbaar zijn in hoofdlijnen en 5% in regionale lijnen in Amerika. In de Sovjet-Unie kan op trajecten met felle hellingen 20% bespaard worden. Voor de dieselmotoren geldt dat ze minder worden belast en dus ook minder emitteren.

*Haalbaarheid*

Het grootste obstakel is de opslag van de energie. De techniek om de energie te recupereren en op te slaan (onder elektrische vorm) is nog niet goed ontwikkeld en er wordt niet voldoende in geïnvesteerd om de 'afzetmarkt' te klein is.

**6.8.2 Hergebruik van uitlaatgassen (ANL, 2002)**

Een deel van de energie kan gerecupereerd worden via de uitlaatgassen onder de vorm van warmte. Turbine-gebaseerde machines leveren de beste opties voor hergebruik van uitlaatgassen. Door een compressor wordt lucht aangezogen en gecomprimeerd. Deze lucht gaat naar de verbrandingskamer waar hij verhit wordt. De hete lucht expandeert in een turbine en levert daarbij vermogen waarmee een as kan aangedreven worden. Het verschil met een klassiek motor is dat daar de compressie, verbranding en expansie na elkaar gebeuren. In turbinemotoren gebeurt dit continu.

*Energiewinst:*

In een turbinemotor zijn er twee bronnen van warmte die gerecupereerd kunnen worden. De restenergie (warmte) van het verbrandingsproces en de 'afval'-warmte van de uitlaatgassen. Zowel de restenergie als de uitlaatgasenergie worden gerecupereerd via warmtewisselaars en worden gebruikt om de lucht voor de verbrandingskamer te verwarmen zodat minder brandstof nodig is tijdens het verbrandingsproces. In de VS is echter aangetoond dat er voor de toepassing van turbines in spoor met de huidige techniek geen brandstofwinsten mogelijk zijn. Het rendement van een conventionele (locomotief) dieselmotor is 42%. Dat van een turbine is gemiddeld 35%. Een turbinemotor van 5000pk bijvoorbeeld verbruikt bij lage snelheid en veel stationair draaien 25% meer brandstof vergeleken met een diesellocomotief. Door het lagere rendement wordt dus de brandstofwinst t.g.v. energierecuperatie tenietgedaan. Deze brandstofwinst wordt wel geboekt in vrachtwagens.

*Haalbaarheid*

Origineel zijn deze turbinemotoren ontwikkeld voor vrachtwagenmotoren waardoor ze voldoen aan hoge eisen betreffende levensduur, betrouwbaarheid en rendement. Deze dienen aangepast te worden aan de noden van locomotieven om ze te kunnen toepassen in spoor. Dit is wellicht mogelijk met de ervaring uit de vrachtwagen- en vliegtuigsector. Het grootste probleem voor het ontwikkelen en introduceren van turbinegebaseerde motoren is de kosteneffectiviteit. Turbines zijn 4 maal zo duur als een vergelijkbare dieselmotor. Andere problemen zijn o.a. de schaal van de afzetmarkt en de brandstoffen die sterk van zwavel en andere onzuiverheden (bvb. vanadium) gezuiverd dienen te zijn.

De implementatie in locomotieven laat nog op zich wachten. Er dient nog veel onderzoek gedaan te worden.

## **6.9 Brandstofcellen (ANL, 2002)**

Diesel- en elektrische locomotieven kunnen vervangen worden door brandstofcelaangedreven locomotieven. Brandstofcellen worden beschouwd als een potentieel vervangmiddel van verbrandingsmotoren en elektrisch aangedreven (direct via draad = third rail, of dieselgenerator) locomotieven.

### *Energiewinst*

De vervanging van diesel motor met fuel/cell reformer heeft weinig impact op het directe verbruik (ongeveer zelfde). Maar doordat nageschakelde, efficiëntieverminderende toestellen niet meer nodig zijn (zie verder: nabehandeling uitlaatgassen), is er een indirecte energiewinst.

### *Haalbaarheid*

Problemen situeren zich nog in de technieken om voldoende waterstof te produceren en op te slaan.

Er is ook het 'schaalnadeel'. Onderzoek naar toepassingen van brandstofcellen in spoor zouden veel geld kosten en de markt is beperkt. Er zijn wereldwijd te weinig locomotieven in gebruik. De investeringen kunnen niet terugverdient worden (kosten/baten). Dit heeft ertoe geleid dat er momenteel geen initiatieven zijn in spoor.

Verwacht wordt dat er zelfs in 2020 nog geen doorbraak zal zijn van treinen aangedreven door een brandstofcel elektromotor systeem



## 7 EMISSIEREDUCERENDE OPTIES

Zoals gezegd eerder vermeld is de opdeling in technische- en niet-technische opties en in energiebesparend en emissiereducerend niet absoluut. Elke maatregel die het brandstofverbruik vermindert, zal ook een gunstig effect hebben op de emissies (geldt niet altijd voor NO<sub>x</sub>, zie onder 6.5.2 re-engineering van motoren).

Getracht wordt een lijstje met technieken te geven die expliciet ontwikkeld zijn om emissies te reduceren. De niet-technische opties zijn dezelfde als bij energiebesparing en worden om die reden hier niet herhaald.

De emissiereducerende opties voor diesellocomotieven werden op en rijtje gezet tijdens een UIC seminarie in Parijs (UIC, 1998). Gesteld werd dat verbeteringen mogelijk zijn op het niveau van:

- motor (vervanging of modificaties)
- uitlaatgassen (nabehandeling)
- brandstof (gebruik van alternatieve brandstoffen)

### 7.1 Motortechniek

#### 7.1.1 Installatie van nieuwe motor (UIC, 1998)

Zoals reeds aangehaald in 6.5.2 leidt *re-engineering* van oude diesellocomotieven tot minder energieverbruik en emissie en doen de problemen zich vooral voor op niveau van de compatibiliteit van de nieuwe motor en de oude locomotief. *Re-engineering* van motoren kan leiden tot 30% minder brandstofverbruik.

#### 7.1.2 Introductie gasturbines (ANL, 2002)

Gasturbines werden in 6.8.2 besproken. De beschrijving, problemen en haalbaarheid gelden hier ook.

##### *Emissiereductie*

Deze techniek is nog in volle ontwikkeling voor goede efficiëntie en lagere emissies. NO<sub>x</sub>-emissies zijn momenteel een grootteorde kleiner dan bij dieselmotoren. Turbines hebben een gemiddelde efficiëntie van 35% en NO<sub>x</sub>-emissies van 5ppm. Dieselmotoren hebben een gemiddelde efficiëntie van 42% en NO<sub>x</sub>-emissies van 55ppm. De verhouding efficiëntie/NO<sub>x</sub> is dus veel beter voor turbines (efficiëntie op zich is minder).

Een bijkomend milieuvriendelijk aspect is dat turbinemotoren een grotere range van brandstoffen kunnen verbranden (gas, waterstof, synthetische brandstoffen, alcohol) en er kan worden overgestapt naar milieuvriendelijkere brandstoffen.

### 7.1.3 Interne modificaties (UIC, 1998)

In 6.5.2 werd het voorbeeld van *common rail* aangehaald. Brandstofinjectie en verbrandingsduur en -temperatuur worden met dit systeem afgestemd op de nood. Deze controle van het verbrandingsproces en injectiesystemen leidt tot lagere emissies.

#### *Maatregel*

Het injectiesysteem en verbrandingsproces elektronisch controleren.

#### *Emissiereductie*

In de Duitse situatie is aangetoond dat deze wijzigingen leiden tot een reductie van 63% CO, 84% HC en 86% roet. Het brandstofverbruik daalt met 6%, maar dit gaat echter wel gepaard met een kleine NO<sub>x</sub>-toename.

#### *Haalbaarheid*

Locomotieven hebben een lange levensduur (gemiddeld 40j) en vaak zijn de nieuwe elektronica niet compatibel met de oude locomotieftechnologie.

## 7.2 Nabehandeling van de uitlaatgassen (ANL, 2002, UIC, 1998)

Wanneer emissiereductie niet kan gerealiseerd worden door interne modificaties, kan men nageschakelde technieken toepassen. Afhankelijk van de pollutant, kan gebruik gemaakt worden van oxidatiekatalysatoren (CO en HC), reductiekatalysatoren (NO<sub>x</sub>) en deeltjesfilters (S-deeltjes, roet en sommige HC). Een dieselmotor resulteert voornamelijk in twee belangrijke schadelijke (gereguleerde) emissies, nl. NO<sub>x</sub> en deeltjes (PM). In wat volgt gaat de aandacht dan ook naar technieken die deze pollutanten aanpakken.

### 7.2.1 Selectieve katalytische reductie

SCR-katalysatoren (Selective catalytic Reduction) zijn katalysatoren specifiek ontwikkeld voor het reduceren van de NO<sub>x</sub>-uitstoot.

#### *Emissiereductie*

Wanneer een motor geoptimaliseerd wordt naar minimaal verbruik, bestaan de uitlaatgassen voornamelijk uit NO<sub>x</sub>. Deze katalysator reduceren 75-85% van de NO<sub>x</sub> wanneer ureumzuur wordt toegevoegd.

#### *Haalbaarheid*

Zwavel is toxisch voor katalysatoren en haalt hun rendement omlaag (afhankelijk van de concentratie tot enkele procenten). Het zwavelgehalte in de brandstof gebruikt in spoor is hoger dan deze in de automobiel waardoor toepassingen van katalysatoren in spoor extra maatregelen, zoals het gebruik van brandstof met lager zwavelgehalte, vergen.

Ook zijn de duurzaamheid en efficiëntie onder werkingsomstandigheden van treinen is nog niet voldoende onderzocht en gekend.

### 7.2.2 Deeltjesfilters

Bij de verbranding van brandstof ontstaan deeltjes die geëmitteerd worden via de uitlaatgassen.

#### *Emissiereductie*

Er is gerapporteerd dat PM (particular matter) filters een efficiëntie van 90% halen in weggeuzen.

#### *Problemen*

Er zijn een aantal problemen die dienen overbrugd te worden.

De duurzaamheid en effectiviteit van PM-filters voor locomotieven is nog ongekend. Dit werd nog niet grondig onderzocht. Dit soort filters wordt met succes toegepast in vrachtwagens waar de duurzaamheid en effectiviteit goed gekend is (niet onderzocht, wel voor weggeuzen).

Het vermogen van de motor speelt een rol. Zo zijn er deeltjesfilters met een ingebouwde gasbrander en deeltjesscheider (centrifuge) met een efficiëntie van 90% voor 500kW motoren. Maar de efficiëntie is slechts 30% voor bvb. motoren tot 2000kW.

De uitlaatgasdruk neemt met zo'n 5% af door de naschakeling van de katalysatoren wat leidt tot een minder efficiënt brandstofverbruik. Dit negatief effect kan minderen door de technieken goed te ontwikkelen, maar een volledige wegwerking van het probleem lijkt uitgesloten.

De installaties van een katalysator is niet altijd mogelijk in een oude locomotief. De installatie moet ergens kwijt en de vrije ruimte in een locomotief is beperkt.

Een ander probleem zijn de werkcondities van deze katalysatoren. In de realiteit worden de ideale werkcondities van de katalysatoren niet bereikt. De temperatuur tijdens het stationair draaien of bij lage lading is vaak te laag (met als gevolg de vorming van ureum-kristallen wanneer deze gebruikt worden). Bijvoorbeeld een oxidatiekatalysator bij volgende condities: 60% freewheel, 15% gedeeltelijke lading en 25% volledige lading werkt slechts 30% van de werktijd van de motor (Duitse situatie).

#### *Haalbaarheid*

De toepassing van deze techniek vormt voor nieuw ontwikkelde locomotieven geen probleem.

## 7.3 Gebruik van alternatieve brandstoffen (ANL, 2002, UIC, 1998)

Alternatieve brandstoffen kunnen efficiëntie verhogen en uitstoot verminderen. De integratie ervan op diesellocomotieven in woonzones waar emissies een probleem vormen dient nagestreefd te worden. NO<sub>x</sub>-reducties van 60% worden gerapporteerd (let wel dat CO- en HC-emissies hoger zijn).

Drie voorbeeldjes worden kort besproken.

### **7.3.1 RME (Rape oil Methyl Ester)**

Deze brandstof leidt tot minder CO-, HC- en roetuitstoot. Nadelen zijn dat de NO<sub>x</sub> toenemen en dat omwille van de lagere calorische waarde meer brandstof verbruikt moet worden (10%).

### **7.3.2 Natuurlijk gas**

Ook natuurlijk gas leidt tot lagere emissies maar heeft een lage energie/opslag verhouding met als gevolg dat een grote opslagruimte nodig is.

### **7.3.3 Synthetische diesel**

Synthetische diesel wordt gemaakt via het Fischer-tropsch procédé uit aardgas. Deze brandstof bevat lage niveau's van zwavel en aromaten en leidt tot veel lagere PM uitstoot in vergelijking met conventionele diesel.

#### *Problemen*

De problemen zijn niet van technische aard, maar situeren zich rond de productie- en operationele kost, acceptatie door het publiek, betrouwbaarheid en de inzetten ervan.

De hoge productiekosten van de brandstoffen vloeien voort uit de behandeling om problemen met oxidatie, hoge viscositeit, thermische stabiliteit (biodiesel), lagere brandbaarheid, corrosie en hoge dampdruk (ethanol) op te vangen.

De meeste brandstoffen met uitzondering van biodiesel en geoxideerde diesel kunnen niet zonder aanpassingen aan de motoren (compatibiliteitsproblemen) en de brandstofopslag (plaatsgebrek) worden gebruikt. De toepassing ervan werd reeds doorgevoerd in bussen en trucks en vastgesteld is dat bvb voor LNG (liquified natural gas) de operationele- en onderhoudskosten 15-25% hoger liggen in vergelijking met een dieselmotor omwille van de duurere motor, opslag en toeleveringstoestellen.

#### *Haalbaarheid*

Mits het nodige onderzoek kan het gebruik van alternatieve brandstoffen een realiteit worden. Een intrede voor 2010 wordt niet mogelijk geacht. De ingebruikname kan zich door strenge normen wel opdringen.

## 8 OVERZICHT EFFECT VAN (NIET-) TECHNISCHE OPTIES

Tabel 13 geeft een overzicht van de effecten van de verschillende besproken opties op het energieverbruik en de emissies.

*Tabel 13: Effect van de (niet-) technische opties op het energieverbruik en de emissies*

Winst	Energie	Gasolie diesel	
Energetisch efficiënt rijden	5% (Taiwan)	12-20% (VS)	
Verminderen wiel/railweestand	24% van energie voor tractie		
Aluminium	1-3% van energie voor tractie		
Enkele-as ophanging	1-9% van energie voor tractie		
Dubbeldekrijtuigen	27-45% per zetel		
Uitschakelen aandrijvers	2-5% per trein		
Afdekken lege wagons	35%		
Afdekken ophanging passagierstreinen	5-10%		
Optimalisatie comfortfuncties			
Verluchting	4% op totale energievraag, 60% op energie voor klimatisatie (Duitsland) 2-5% op totaal buiten de diensturen (W-Europa)		
Temperatuur	1-3% (Nederland)		
Reduceren stationair draaien			10%
Revisie van motoren			30%
Interne modificatie (common rail) sensoren en controle			4%

Reductie	Emissie	Gasolie diesel
Deeltjesfilters	30% - 90% afhankelijk van motorbelasting	30%
Revisie motoren	direct gevolg van lager brandstofverbruik	
Gasturbines	van 55 ppm naar 5 ppm NOx	
Interne modificatie (common rail)	reductie van 63% CO, 84% HC en 86% roet	
SCR	75 tot 85% NOx	
Alternatieve brandstoffen	Tot 60% NOx reductie, CO- en HC-emissies kunnen toenemen	

## 9 CONCLUSIES

In tegenstelling tot het wegverkeer, werden nog maar recent emissienormen vastgelegd voor aandrijvingen voor treinen. Dit zal resulteren in de introductie van nieuwe minder vervuilende dieseltechnologie in treinen, wat een positief effect zal hebben op de uitstoot van vooral NO<sub>x</sub>, PM, VOS en CO.

Gezien deze vernieuwing in dieseltechnologie is het weinig waarschijnlijk dat in een tijdshorizon tot 2020 plaats zal zijn voor alternatieve energievormen in het treinverkeer. Een uitzondering hierop is het toenemend aandeel elektrische tractie bij spoor.

Vernieuwing bij dieseltreinen zal zich vooral manifesteren in de introductie van nieuwe dieselmotoren. Gezien de verstrenging van de emissienormen, kan men verwachten dat nieuwe bestellingen na 2010 hoogstwaarschijnlijk tractiesystemen zullen zijn die uitgerust zijn met een uitlaatgasnabehandelingssysteem. Afhankelijk van de Europese politiek die na 2010 zal gevoerd worden, zal dat een katalysator zijn om de NO<sub>x</sub> te reduceren of een deeltjesfilter om de deeltjesuitstoot te verminderen. Bij een doorgedreven politiek kan een combinatie van beide aan de orde zijn.

Gezien de huidige vervangingspolitiek bij de NMBS, kan men nu reeds stellen dat het NMBS-park in 2020 slechts weinig van deze ‘zeer schone’ voertuigen zal hebben.

Beide nabehandelingssystemen komen evenwel in aanmerking voor retrofitting. Huidige problemen met ondermeer plaatsgebrek voor de systemen en effectiviteit bij de werkomstandigheden zullen nog enige onderzoek en creativiteit vergen, maar oplossingen zijn niet onhaalbaar in de periode 2010-2020. Gericht onderzoek is hier de boodschap.

Gezien de kleine afzetmarkt in de spoormarkt is onderzoek op dit terrein veelal heel duur, dit komt de vooruitgang in nieuwe technologieën natuurlijk niet tengoede.

Een vaststelling is dat bepaalde opties, zoals het afdekken van ophanging en wielen, gebeurt bij nieuwe treinen maar dat aanpassingen van oude treinen niet voor de hand ligt.

Verder is duidelijk dat de machinist door een aangepast rijgedrag en een doordacht uitschakelen van een deel van de draaistellen tot eventueel tot 5 à 10 % energiebesparing zou leiden. Specifieke opleidingen zijn hier voor noodzakelijk. Hoewel de NMBS stiptheid prioritair stelt boven energiezuinigheid, kan toch al nagedacht worden over wat het emissieproductiepotentieel is voor België van een aangepaste bediening van de trein en wat het draagvlak is voor dergelijke maatregel.

## REFERENTIES

AECC Newsletter (2003) *International regulatory developments.*

ANL (Argonne National Laboratory), Transportation, Technology R&D Center (2002) *Railroad and Locomotive Technology Roadmap.*

CE (2003) *Clean on track. Reducing emissions from diesel locomotives.*

De Vlioger I., Berloznik R., Colles A., Cornu K., Duerinck J., Mensink C., Van Aerschot W., Van Poppel M. en Verbeiren S. (2001). *Maatregelen in de transportsector voor de vermindering van CO<sub>2</sub> en troposferische ozon*, Studie uitgevoerd in opdracht van DWTC, Vito-rapport 2001/IMS/R/139, augustus 2001.

EPA, 1997, *Emission Standards for Locomotives and Locomotive Engines: Proposed Regulations.*

Europees Parlement en de Raad van 10 oktober, 2003, *Voorstel voor een Richtlijn tot wijziging van Richtlijn 97/68/EG betreffende de onderlinge aanpassing van de wetgevingen van de lidstaten inzake maatregelen tegen de uitstoot van verontreinigende gassen en deeltjes door inwendige-verbrandingsmotoren die worden gemonteerd in niet voor de weg bestemde mobiele machines (COD/2002/0304)*

Eurostat (2002) *Transport infrastructure in the European Union and Central European Countries 1990-1999*, European Communities.

EVENT (2003) *Energieverbruik treinen, TI-KVIV Gent.*

FOD leefmilieu, 2003, *Reductieplan voor de emissies van luchtverontreinigende emissies.*

Jorgensen M. W. en Sorensen S. C. (1997) *Estimating Emissions from Railway Traffic, Report for the Project MEET: Methodologies for estimating air pollutant emissions from transport.*

NMBS (2001) *Trein en Milieu, het spoor naar een duurzame mobiliteit.*

NMBS (2002) *Statistisch jaarboek 2001.*

NMBS (2003) *Statistisch jaarboek 2002.*

UIC (1997) *UIC code 623-2: Approval tests for diesel engines of motive power units*

UIC (1998) *seminar "Reducing Exhaust Emissions from Diesel Locomotives and Railcars", Paris 1998*

UIC (2000) *Railway Energy Efficiency Conference, Consideration on exhaust emission optimization of diesel engines for rail traction, Paris*

UIC (2002) *UIC code 624: Exhaust emission tests for diesel traction engines.*

UIC (2003) *Energy efficiency Technology,*  
[http://www.railway-energy.org/tfee/index.php?ID=210.](http://www.railway-energy.org/tfee/index.php?ID=210)



**AFKORTINGEN**

BAU	Business As Usual
CO	Koolstofmonoxide
EC	Europese Commissie
EEV'	environmentally enhanced vehicle
EG	Europese Gemeenschap
EGR	Emission Gas Recirculation
ELR	European Load Response
EP	Europees Parlement
EPA	Environmental Protection Agency
ERRI	European Railway Research Institute
ESC	European Stationary Cycle
ETC	European Transient Cycle
EU	Europese Unie
EUROMOT	The European Association of Internal Combustion Engine Manufacturers
HC	Hydro Carbons (koolwaterstoffen)
HST	Hoge snelheidstrein
IC	Inter City
IMS	Integrale Milieustudies
MU's	Multiple Units
NMBS	Nationale Maatschappij der Belgische Spoorwegen
NO <sub>x</sub>	Stikstofoxiden
NWV	niet voor de weg bestemde voertuigen
PC	Personal Computer
PM	Particular Matter (vaste deeltjes)
SCR	Selective Catalytic Reduction
UIC	Union International de Chemin de fer
UNIFE	Union of European Railway Industries
VS	Verenigde Staten

**EENHEDEN**

gew. %	gewichtsprocent
g/kWh	gram per kilo Watt uur
km	kilometer
kW	kilo Watt
ppm	parts per million

**BIJLAGE A**

optie	quoting
Aluminium car-body	very promising
Bogie fairings	very promising
Bonus/penalty rules	very promising
CO2-based demand control for coach ventilation	very promising
Common Rail	very promising
Control of comfort functions in parked trains	very promising
Double-decked stock	very promising
Double-layer capacitors (storage technology)	very promising
Driving advice systems in main line operation	very promising
Driving advice systems in suburban operation	very promising
Energy efficient driving by low-tech measures	very promising
Energy efficient driving strategies	very promising
Energy meters (electric)	very promising
HTSC transformer	very promising
IGBT	very promising
LCC-driven procurement	very promising
Mechatronic innovations for future running gear	very promising
Medium-frequency transformer	very promising
Modification of target temperature in passenger coaches	very promising
Multiple units (MUs) vs. loco-hauled trains	very promising
On-board use of braking energy in diesel-electric stock	very promising
Optimisation of train operation by control center	very promising
Re-engining of diesel stock (replacement of engine)	very promising
Regenerative braking in 16,7 Hz, 15 kV systems	very promising
Regenerative braking in 50 Hz, 25 kV systems	very promising
Regenerative braking in DC systems	very promising
Single-axle bogies	very promising
Switch-off of traction group	very promising
Training programs to raise awareness of personnel	very promising
Ventilation control (in new stock)	very promising
Wide-body stock	very promising
Aerodynamic ordering of freight cars	promising
Articulated trains (Jakob-type bogies)	promising
Coach insulation	promising
Covers for open freight cars	promising
Database of traction consumption	promising
Diesel-electric vehicles with energy storage	promising
Diesel-mechanic transmission	promising
Driving advice systems in freight operation	promising
Energetic optimisation of timetable	promising
Excess ventilation	promising
Fibre reinforced polymers	promising
Fly-wheels (storage technology)	promising
Future developments in diesel technology	promising
Heat exchangers to use waste heat in MUs	promising
Inverter unit for DC substations	promising
Light coach interior equipment	promising
Magnetic levitation technology (maglev)	promising
Modular train sets	promising
Moving block	promising

On-board energy storage in DC systems	promising
Optimisation of traction software	promising
Passenger information to reduce boarding time at stations	promising
Reference cycle for energy efficiency	promising
Sandwich structures	promising
Stationary energy storage	promising
Transversal flux motor	promising
Ventilation control (retrofit)	promising
Virtually coupled trains	promising
Wheel-mounted permanent magnet synchronous motor	promising
Aerodynamic optimisation of pantographs	interesting
Automatic train control	interesting
Batteries (storage technology)	interesting
Coupling of parked trains for common energy supply	interesting
Demixing of railway infrastructure	interesting
Diesel flow meters	interesting
Gas turbine	interesting
Hydrogen engine	interesting
Improved operation control for air-conditioning	interesting
Incentives for drivers	interesting
Loss reduction by optimised power intake	interesting
Lubrication of wheels and tracks	interesting
Natural gas	interesting
ORC technology to use waste heat in MUs	interesting
PEM fuel cell	interesting
Regenerative braking in freight trains	interesting
Revision of limit value for longitudinal forces in the train	interesting
Self-propelled freight cars	interesting
Smart windows	interesting
Streamlining of train sides and underfloor areas	interesting
Swissmetro	interesting
Systematic train delays	interesting
Upgrading of engines	interesting
Hybrid locomotives	interesting
Biodiesel	not promising
Elimination of dining car	not promising
Fuel or oil additives for diesel traction	not promising
Radio-controlled double traction in freight trains	not promising
Speed harmonisation	not promising
Streamlining of head and tail	not promising
Superconducting Magnetic Energy Storage (storage technology)	not promising

## Annex VIII: Baseline for car choice models

This annex discusses the baseline evolution of the different private car technologies applied in SUSATRANS.

Some general remarks:

- all costs are expressed in €2000 and can therefore differ from the original publication;
- some main references used for the baseline evolution: a study by VUB/ETEC<sup>1</sup>, the report of SUSATRANS Task A<sup>2</sup>,

### 1. FUELS

#### 1.1. *Extax pomp prices*

Extax prices have been based on IEA statistics (IEA 2003) for the 1995-2002 timespan for:

- leaded gasoline
- unleaded gasoline
- diesel for commercial use (including public transport)
- diesel for non-commercial use
- electricity for commercial use (industry tariff) for 1995-2000

Extax prices for other fuels have been taken from different sources for the base years:

- LPG: Febiac<sup>3</sup> (1995-2001 with an interpolation for the missing year 1996)
- Natural gas: € 0,69 per m<sup>3</sup> in 2001, taken from a study by VUB/ULB (37,1 MJ/m<sup>3</sup>)
- Electricity for non-commercial use: night tariff of € 0,08 per kWh in 2002, taken from a study by VUB/ULB
- Hydrogen (from NG): taken from report Task A by Vito for 2020 and 2010, a linear interpolation has been assumed between these years

For biodiesel and synthetic diesel, the report Task A by Vito provides a production cost:

- biodiesel: € 0,55 per litre in 2000, € 0,50 per litre in 2010, € 0,45 in 2020, a linear interpolation has been assumed for the years in between
- synthetic diesel: € 0,63 per litre in 2010, 10% reduction in cost by 2020, a linear interpolation between both years has been assumed

The distribution margin for these products has been estimated to be € 0,13 per litre

Production costs for the fossil fuels and electricity have been calculated (for the period 2000-2020) making use of data issued by the PRIMES-transport project (Knockaert, J., Van Regemorter, D., Proost, S. 2002). The distribution margin is then calculated as the difference between the production cost and the extax pomp prices:

- unleaded gasoline: € 0,084 per litre (2002)
- diesel: € 0,052 per litre (2002)
- natural gas: € 610,27 per toe (2001)
- LPG: € 0,168 per litre (2001)

The evolution of the extax prices beyond the base years (for all fuels) is calculated based on the evolution of the production cost and the margin. The margin is assumed to stay constant up to

<sup>1</sup> VUB-etec, ULB-ceese 2001

<sup>2</sup> Verbeiren S., De Vlieger I. en Pelkmans L. 2003

<sup>3</sup> <http://www.febiac.be>

2020. From 2009 on we assume a cost increase for fossil gasoline and diesel due to desulphurisation (European Directive). This cost increase amounts to 3% for gasoline and 5% for diesel (report Task A by Vito).

For the blended fuels (fossil diesel with biodiesel) we assume the price to be the average of both fuels weighted by their volumetric share in the blend.

The evolution of ex-tax prices of fuels (for non-commercial use) has been depicted in the illustration beyond.

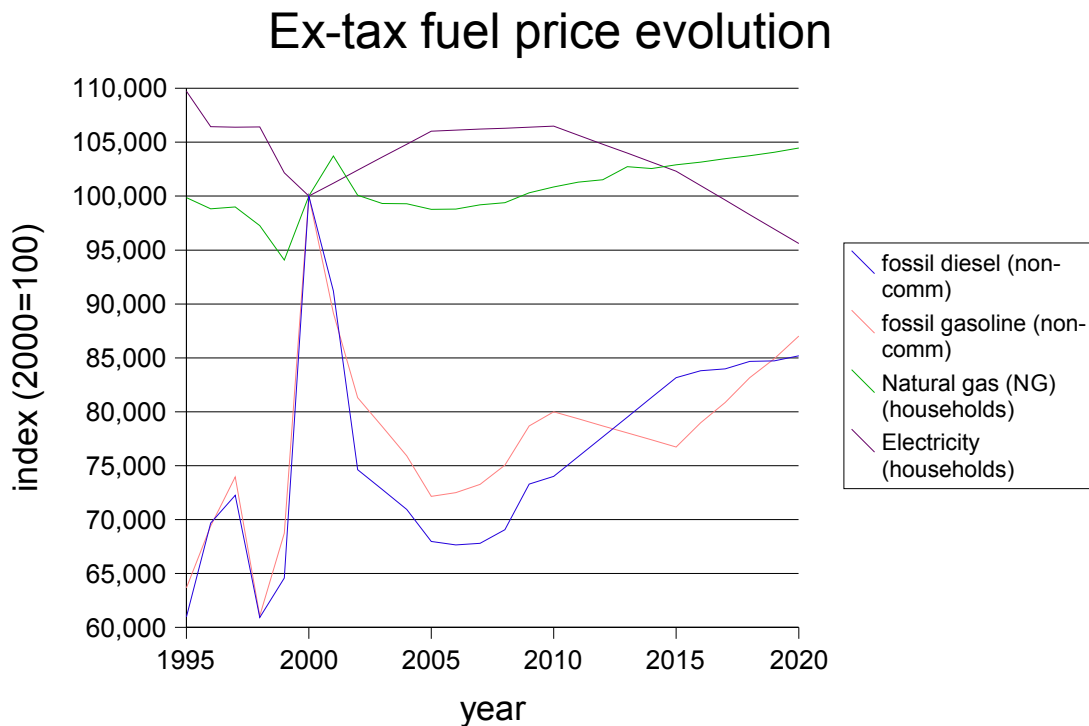


Illustration 1

## 1.2. Taxes

### 1.2.1. VAT

VAT is equal to 20,5% for 1995 and 21% for the years beyond (1996-2020). We do apply VAT only for use by private cars and motorcycles.

### 1.2.2. Excise taxes

Excise taxes for the period 1995-2002 have been taken from IEA statistics for gasoline and diesel (and domestic electricity up to 2000). Diesel used for public transport is reduced by € 0,05 per litre (VUB/ULB).

There are currently no excise taxes on LPG, CNG and electricity (industrial use only). As we assume hydrogen to be based on natural gas, we assumed they are freed from excises as well. However, this would imply an indirect subsidy for CNG, electric or H<sub>2</sub> powered cars when they are introduced. For that reason, we assume an excise tax per unit of energy that is identical to gasoline.

For biodiesel, synthetic diesel and the blended diesel, the same excise as for mineral diesel applies in the base year period.

Beyond the base years, excise taxes are kept constant apart from the following exceptions:

- for diesel and gasoline the Cliquet system<sup>4</sup> has been implemented to determine excise rises for the period 2004-2008
- neat biodiesel and synthetic diesel is assumed to get a 50% reduction in excise taxes for the years 2005-2010, following a European Directive
- for blended diesel, the biofuel share is assumed to be free from excises in the period 2005-2010 (same Directive)

## 2. PRIVATE CARS

First we discuss the evolution of the baseline variables, next we provide the baseline shares in the vehicles stock modelled by TREMOVE.

### 2.1. Lifetime Cost

The lifetime cost is the expected resource cost per kilometre. It is calculated making use of different variables.

#### 2.1.1. Expected lifetime

For the conventional diesel and gasoline car, the expected (technical) lifetime has been taken from the TREMOVE 2 project: 9,5 years.

For the alternative cars, differences to the reference car have been taken from the Task A report by Vito:

- Hydrogen (ICE and hybrid): -2 years in 2010, - 1 year in 2020
- Battery: -2 years in 2000, no difference in 2010 and +1 in 2020
- Hydrogen fuel cell: -5 years in 2010, -1 year in 2020

Values have been interpolated between the given years.

#### 2.1.2. Fuel efficiency

Base year fuel efficiency of the different engine size for gasoline and diesel cars has been taken from TREMOVE 2 (table 1), where they have been mainly based on statistics by DG TREN.

Table 1: fuel efficiency for conventional technologies

	2000
diesel < 1,4l	0,052
diesel 1,4-2l	0,057
diesel >2l	0,115
gasoline <1,4l	0,069
gasoline 1,4-2l	0,086
gasoline >2l	0,115

An improvement of fuel efficiency of 0,6% per year (1% for the pre-2000 period) has been assumed as reference evolution over time (report Task A by Vito) from 2000 to 2005. Beyond 2005, no improvement in fuel technology is assumed for all technologies.

The relative fuel efficiency for the different technologies has been taken from the Task A report by Vito:

<sup>4</sup> Belgisch Staatsblad 07/08/2003

- diesel conventional: 5,5 l/100km (2000)
- gasoline conventional: 7,3 l/100km (2000)
- LPG and CNG: according to the report, these vehicles have the same properties as the conventional gasoline, hence we assume the equivalent energy consumption
- Hydrogen conventional: equivalent energy consumption to conventional gasoline
- Diesel hybrid: 20% more fuel efficient than conventional diesel
- Gasoline hybrid: 5,1 l/100km (2000)
- CNG hybrid: equivalent to gasoline hybrid
- Hydrogen hybrid: 30 % less than hydrogen ICE
- Battery: 75 MJ/100km (2000)
- Hydrogen fuel cell: 50% less than gasoline conventional

These relative fuel efficiencies have been applied to the reference evolution of the conventional technologies' fuel efficiency.

### 2.1.3. Annual mileage

Expected annual mileages have been taken from the TREMOVE2 project<sup>5</sup> (they are based on TRENDS data). It is differentiated regarding to engine size:

- engine size < 1,4l: 13475 km
- engine size > 1,4l: 23020 km

### 2.1.4. Purchase cost (excl. taxes)

Purchase cost for diesel and gasoline vehicles for the period 1995-2020 are based on TREMOVE2 data. Values for 2000 are:

- diesel < 1,4l: € 12568
- diesel 1,4-2l: € 18388
- diesel > 2l: € 33370
- gasoline < 1,4l: € 11036
- gasoline 1,4-2l: € 19747
- gasoline > 2l: € 42397

The values for 2000 are mainly based on statistics, for the smallest diesel category a review of price differences between diesel and gasoline cars of the same car type available on the market in the first half of 2004 has been used.

For the reference evolution from 1995 to 2020 a price index from the TREMOVE2 project has been used.

For the alternative technologies, price differences relative to the reference conventional technology has been based on the Task A report by Vito (with linear interpolation - see tabel 2).

*Table 2: cost of new technologies in €2000 (in addition to cost of reference technology)*

Technology	2000	2010	2020	reference technology
LPG	1750	1750	1750	gasoline conventional
CNG	3500	3000	2500	gasoline conventional
Hydrogen conventional		5000	4000	gasoline conventional
Diesel parallel hybrid		5000	3320,2	diesel conventional
Gasoline parallel hybrid	5190	5000	3252,5	gasoline conventional
CNG parallel hybrid		8000	5752,5	gasoline conventional
Hydrogen parallel hybrid		10000	7252,5	gasoline conventional
Battery		1000	1752,5	gasoline conventional

<sup>5</sup> <http://www.tremove.org>

Technology	2000	2010	2020	reference technology
Hydrogen fuel cell		27600	22600	gasoline conventional

### 2.1.5. *battery leasing costs*

For battery electric vehicles we include a leasing cost for the batteries. The leasing cost calculated based on a battery lifetime of 5 years. The battery pack cost is € 15000 in 2000 and decreasing to € 7500 in 2020.

On battery leasing costs, the normal VAT is levied.

### 2.1.6. *purchase taxes*

These taxes include VAT on purchase as well as registration taxes.

VAT is assumed 20,5% for 1995 and 21% for 1996-2020.

Registration taxes for the year 2000 have been based on REMOVE2 data (statistics) for:

- diesel 1,4-2l: € 245
- diesel > 2l: € 1128
- gasoline < 1,4l: € 75
- gasoline 1,4-2l: € 264
- gasoline > 2l: € 2035

For the smallest diesel engine size category (< 1,4l) we assumed a tax equal to the smallest gasoline engine size class.

For alternative technologies we assumed the registration taxes to be the same as for the gasoline cars, apart from those technologies running on diesel paying the diesel taxes.

### 2.1.7. *Repair and maintenance costs*

Repair and maintenance costs for conventional diesel and gasoline vehicles are calculated making use of the REMOVE2 methodology (reviewed by COWI<sup>6</sup>). Inputs for the repair and maintenance costs are purchase price (exclusive VAT and taxes) and expected lifetime, fuel and engine size. For small diesel cars, we assumed the same formula as for small gasoline cars to calculate repair and maintenance costs.

For direct injection gasoline cars, we assumed the same methodology as for indirect gasoline.

For diesel hybrid, we assumed the conventional diesel methodology to apply.

For hydrogen ICE we assumed the conventional gasoline methodology to apply to calculate expected repair and maintenance costs.

For LPG and CNG cars, we assumed the same repair and maintenance costs as conventional gasoline based on a study by VUB/ULB.

For the hybrid technologies we assumed the repair and maintenance costs to amount to the same level as for their conventional counterparts using the same fuel.

For battery cars, we used the study by VUB/ULB to estimate repair and maintenance costs to amount to 40% of a conventional gasoline car. Here we also add the leasing costs for the

<sup>6</sup> <http://www.cowi.dk>



battery, which are estimated on € 7500 per five years (note: has to be converted to an annual cost).

For hydrogen fuel cell cars, we estimated repair and maintenance costs to a level of 50% of the gasoline car.

Taxes on repair and maintenance concern VAT only: 20,5% in 1995 and 21% from 1996 onwards.

### 2.1.8. Annual taxes

Annual taxes for diesel and gasoline vehicles are based on statistical data from the TREMOVE2 project:

- diesel 1,4-2l: € 340 per year
- diesel >2l: € 699 per year
- gasoline <1,4l: € 121 per year
- gasoline 1,4-2l: € 209 per year
- gasoline >2l: € 588 per year

For small diesel cars (<1,4l), we assume the annual taxes to be the amount for the smallest gasoline category increased by a supplemental tax for diesel vehicles of € 60,00 per year (based on Mira<sup>7</sup>).

For LPG a high additional tax applies (based on Mira):

- LPG <1,4: € 120 in addition to the annual tax on gasoline cars of the respective size class
- LPG 1,4-2l: € 148,68 in addition to the annual tax on gasoline cars of the respective size class
- LPG >2l: € 180 in addition to the annual tax on gasoline cars of the respective size class

The annual taxes for battery cars is considerably lower. For the smallest engine size class we estimate the reduction to amount to € 46,33 (compared to the smallest gasoline class, based on ULB/VUB). For the other size categories we assumed a similar relative reduction.

For the other technologies, we assumed the annual taxes to be the same as for gasoline cars (apart from the diesel hybrid, which has the same taxes as the diesel car).

We assume the annual taxes to be constant for the whole modelling period 1995-2020.

### 2.1.9. Insurance

Insurance costs have been calculated to amount to a percentage of the purchase costs (excl. VAT and taxes), following a methodology used in TREMOVE2:

- diesel <1,4l: 4,13%
- diesel 1,4-2l: 3,51%
- diesel >2l: 2,70%
- gasoline <1,4l: 4,18%
- gasoline 1,4-2l: 3,55%
- gasoline >2l: 2,92%

---

<sup>7</sup> De Ceuster, M.J.G. 2003

For the alternative technologies we assume the same percentages (diesel for diesel hybrid, gasoline for the other technologies) apply to the respective purchase costs to calculate insurance costs.

VAT has been added to insurance cost: 20,5% in 1995 and 21% from 1996 onwards.

### 2.1.10. Total lifetime costs

Total lifetime costs are calculated for all technologies. In table 3 and illustration 2 we propose the lifetime costs for the medium car size category.

Table 3: Lifetime cost medium private cars (in €2000/vkm)

	2000	2005	2010	2015	2020
dsl conv	0,26	0,25	0,26	0,27	0,28
gsl conv	0,31	0,3	0,31	0,32	0,33
LPG conv	0,29	0,28	0,29	0,3	0,3
CNG conv			0,37	0,38	0,38
H <sub>2</sub> conv				0,45	0,42
dsl hybr				0,3	0,3
gsl hybr			0,33	0,33	0,33
CNG hybr				0,38	0,37
H <sub>2</sub> hybr				0,45	0,42
Battery			0,39	0,37	0,36
H <sub>2</sub> fc				0,59	0,49

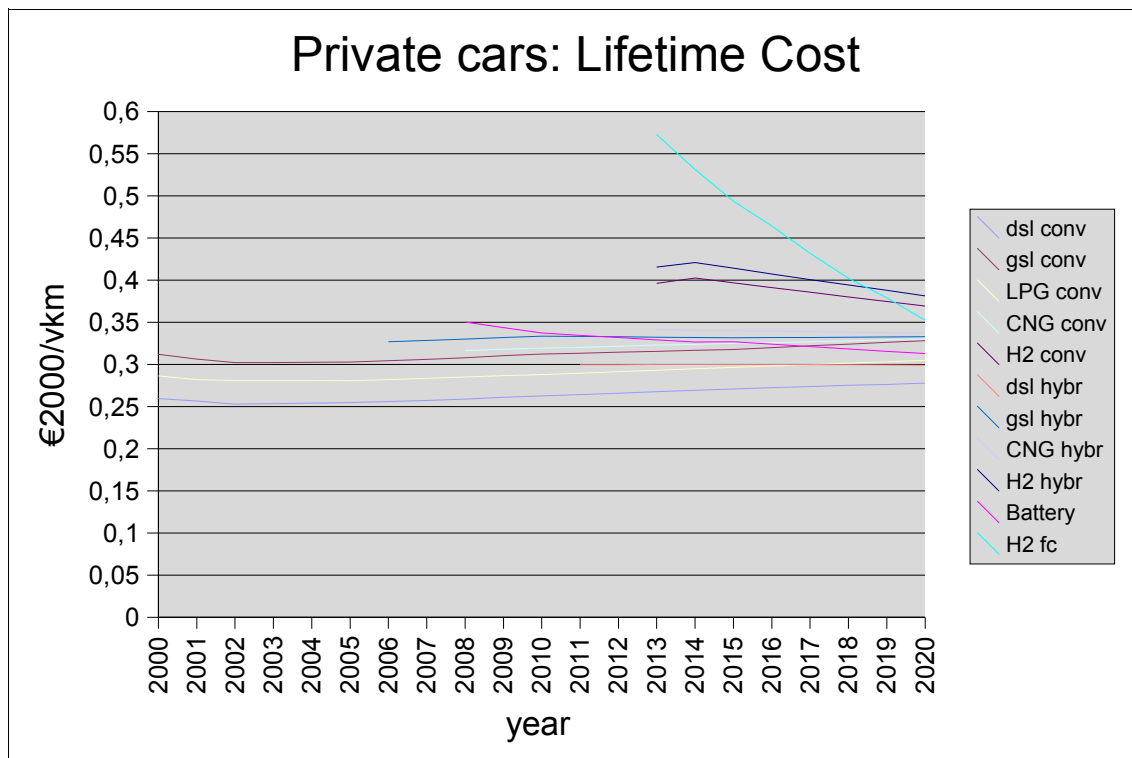


Illustration 2

## 2.2. Acceleration

Acceleration is used as a proxy for overall driving performance. For the conventional technologies this has been based on statistics. For the alternative technologies this value has to be taken the same as the conventional reference technology.

Based on statistical data, we assume an improvement in acceleration up to 2005.

*Table 4: acceleration values (s 0-100km/h) for conventional technologies*

technology	1995	2000	2005-2020
small diesel	19,53	17,56	15,83
medium diesel	15,35	13,8	12,44
large diesel	13,7	11,7	10,05
small gasoline	15,83	14,6	13,49
medium gasoline	12,72	11,68	10,73
large gasoline	9,74	8,9	8,14

### **2.3. Range**

A default value for range of 600 km has been taken for all cars.

This variable is primarily included in order to account for discomfort of frequent refuelling due to a range which is significantly reduced by technology design.

According to a report by TNO (van de Burgwal et al., 2001) we estimate the refuelling range to be reduced for:

- battery cars: ranging from 100 km to 300 km; we assume a value of 100 km in 2000 increasing to 300 km by 2010 and remaining constant afterwards
- fuel cell cars: about 400 km

Additionally, we assume a slightly reduced range of 500 km for hydrogen conventional and hydrogen hybrid and a range of 350 km for LPG and CNG cars (both conventional and hybrid).

### **2.4. Loss of luggage space**

The loss of luggage space is used to express a loss induced by technological requirements, e.g. a gas tank.

For LPG and CNG we assume a retrofit installation which causes a loss of trunk space due to installation of a tank:

- LPG: 30 litre (this is the dimension necessary to store the spare tire)
- CNG: 100 litre (this assumption is based on a tank with dimensions 840x316)

For the other alternative technologies we assume dedicated car bodies, hence no loss of luggage space is required.

### **2.5. Market introduction**

Market introduction year of the different technologies is mainly based on the baseline document by Vito and the report task A:

- gasoline hybrid: 2003
- diesel hybrid: 2008
- natural gas: 2005
- hydrogen ICE: 2010
- CNG hybrid: 2010
- hydrogen hybrid: 2010
- battery: 2005
- fuel cell: 2010

In the TREMOVE model we shift the introduction dates backwards by 3 years to account for full market introduction delay: the dates from task A rather indicate the first introduction of the technology. Maybe we need to stress to point a little bit more: TREMOVE assumes full

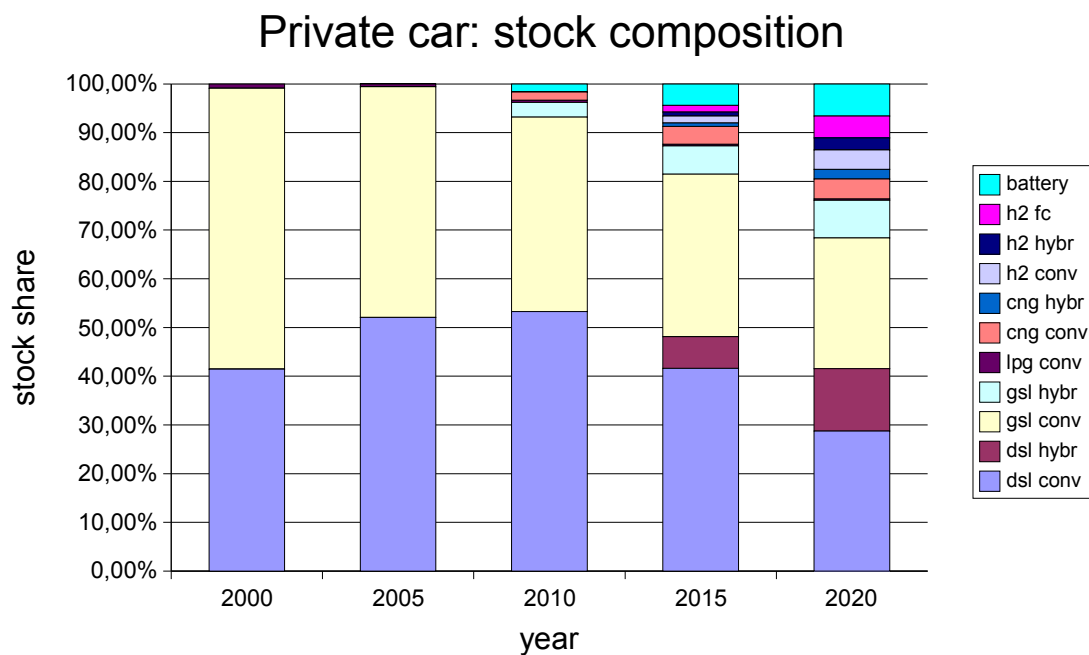
introduction of a technology, which means that is available on all cars bodies, brands, etc. for which the reference conventional technology is available. This also includes the full availability of the fuel.

We also assume an introduction year for the smallest engine size diesel category: 2002.

Conventional diesel, gasoline and LPG technologies have been introduced before the modelling period.

## 2.6. Shares

The model TREMOVE provides both the shares of the technologies in new sales (illustration 3) as well as their share in the overall stock (illustration 4), by making use of a stock turnover model.



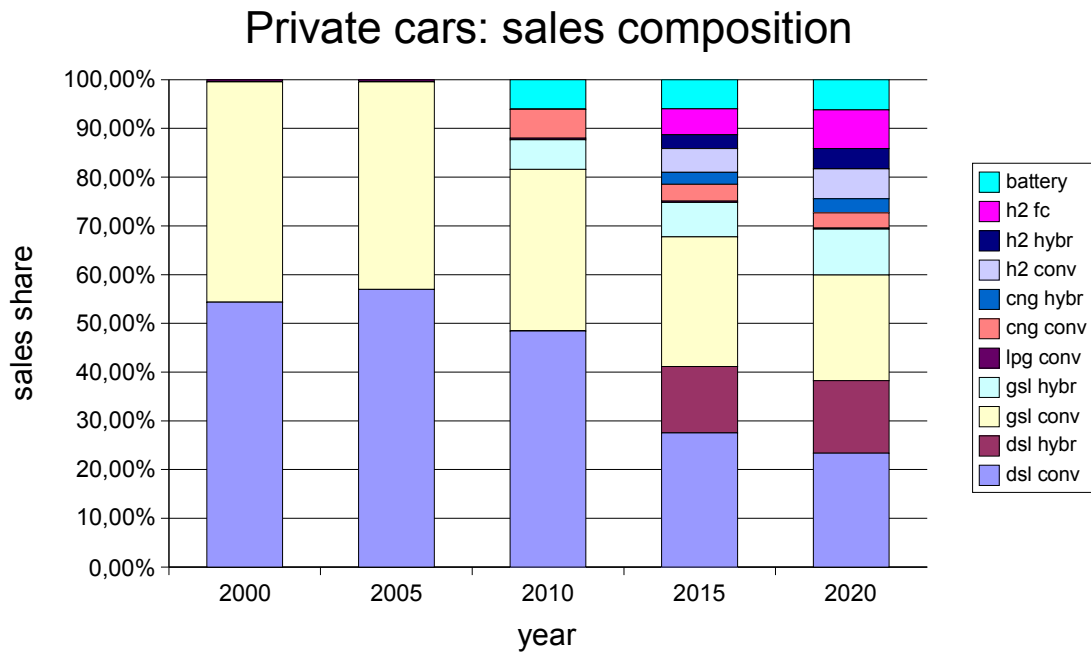


Illustration 4

### 3. BUSES

For buses we only use the lifetime cost as model variable.

The bus transport activity is linked to both coaches and urban buses. We assume the share of both vehicle types to stay constant.

For the coach vehicle type, we assume only conventional diesel vehicles apply (so no choice model). For the urban bus category, all technology types apply.

The share of coaches is based on the statistical 1995 vehicle stock composition (TRENDS) and amounts to 20%.

#### 3.1. Expected lifetime

The expected (technical) lifetime for a conventional diesel bus has been taken from the REMOVE2 project: 20 years (based on TRENDS data).

For the alternative technologies, the difference to the reference has been taken from the Task A report by Vito (with assumed interpolation):

- hybrid: -5 years (2010); -2 years (2020)
- CNG: -8 years in 2000 and -5 year from 2010 on
- hydrogen fuel cell: -8 years till 2010 and -5 years by 2020
- battery: -8 years in 2000, -5 years in 2010 and -2 years in 2020

#### 3.2. Fuel efficiency

An average consumption of 39l for urban buses and 30l for coaches (per 100 km) has been assumed for a conventional diesel bus in 2000.

Assumption regarding the efficiency of other technologies have been based on the Task A report by Vito (for the year 2000):

- hybride: 15% better fuel efficiency
- CNG: same energetic fuel efficiency
- hydrogen: 50% better fuel efficiency
- battery: 200 kWh per 100km

An increase in fuel efficiency of 0,6% per year up to 2008 has been assumed, based on the report Task A. Beyond 2008, no improvement in fuel efficiency is expected.

### **3.3. Annual mileage**

The expected annual mileage for buses has been taken from TRENDS: 23210 km.

### **3.4. Purchase costs (exclusive taxes)**

Purchase costs for all technologies have been based on the report Task A by Vito.

- conventional diesel: € 200000 in 2000, a constant reference evolution 2000-2020
- diesel hybrid: an additional cost of 15%
- CNG: an additional cost of 20%
- hydrogen fuel cell: an additional cost € 57000<sup>8</sup>
- battery: no additional cost (batteries are leased and hence included in repair&maintenance)

On top of the (constant) reference evolution we add (based in report Task A by Vito):

- oxicat, SCR and particulate filter: an increase of € 15000 between 2005 and 2010 (€ 3000 per year), for all diesel driven vehicles

Note that the relative definition of the purchase cost of the alternative technologies implies that they also observe a cost increase in 2010 due to the introduction of oxicat, SCR and particulate filter on conventional diesel buses.

### **3.5. Purchase taxes**

No VAT on buses.

Registration taxes have been based on Mira and TREMOVE-Vlaanderen<sup>9</sup>:

- € 62 till 2003
- € 31 in 2004 and 2005
- € 0 from 2006

### **3.6. Repair and maintenance**

Expected lifetime repair and maintenance costs for 2001 have been based on a study by VUB/ULB. This study assumes an expected lifetime of 10 years:

- conventional diesel: € 4637,02
- hybrid: same as conventional diesel
- CNG: € 5564,42
- hydrogen fuel cell: € 1899,05
- battery: we add leasing costs for batteries (€ 75000 per five years)

<sup>8</sup> Difference to conventional diesel in 2020 has been defined as € 42000, so we add the € 15000 evolution of the diesel technology to get the reference difference.

<sup>9</sup> Proost, .S. et al., 2004

These figures have been adapted in order to account for the different expected lifetime assumption and to allow to apply the TREMOVE methodology (see private cars).

The evolution over time of the repair and maintenance costs is assumed to follow the purchase cost evolution.

No VAT on repair and maintenance costs for buses.

### **3.7. Annual taxes**

We assume no annual taxes to apply to urban buses.

For coaches, the annual tax is estimated to € 114,46 per year (based on Mira).

### **3.8. Insurance**

The insurance cost is estimated to € 145,69 per year (based on Mira) for all technologies..

No VAT on insurance costs for buses.

### **3.9. Introduction**

Introduction years for bus technologies have been mainly based on the report Task A by Vito:

- hybrid: 2010
- CNG: 2000
- hydrogen: 2010
- battery: 2005

Here a similar delay by three years was implemented in TREMOVE.

### **3.10. Total lifetime costs**

Total lifetime costs are provided in table 5 and illustration 5. No lifetime costs are included for coaches, as these are not relevant for the logit choice model which is limited to non-coaches only. The share for coaches is fixed to the baseyear share in new bus sales.

*Table 5: Total lifetime costs for buses (in €2000/vkm)*

	2000	2005	2010	2015	2020
dsl conv	1,08	1,04	1,11	1,12	1,13
dsl hybr				1,3	1,25
cng conv		1,48	1,42	1,43	1,43
h2 fc				1,39	1,2
battery			1,57	1,45	1,34

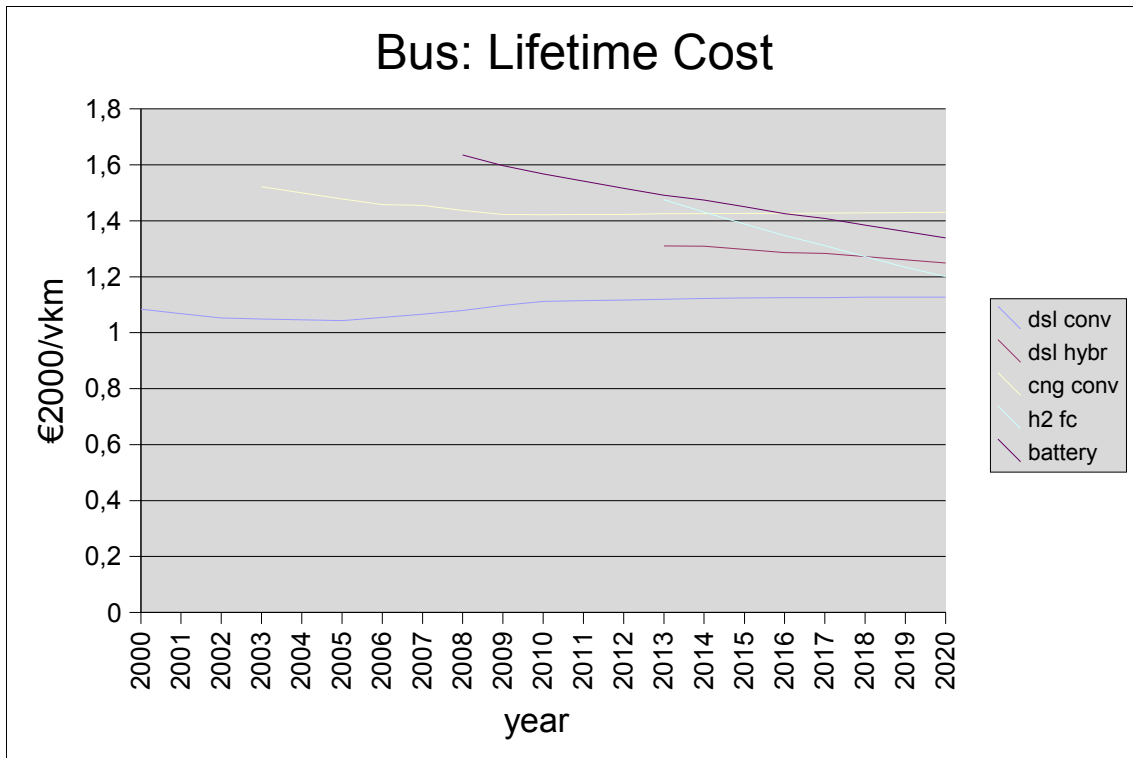


Illustration 5

### 3.11. Shares

The model TREMOVE provides both the shares of the technologies in new sales (illustration 6) as well as their share in the overall stock (illustration 7), by making use of a stock turnover model.

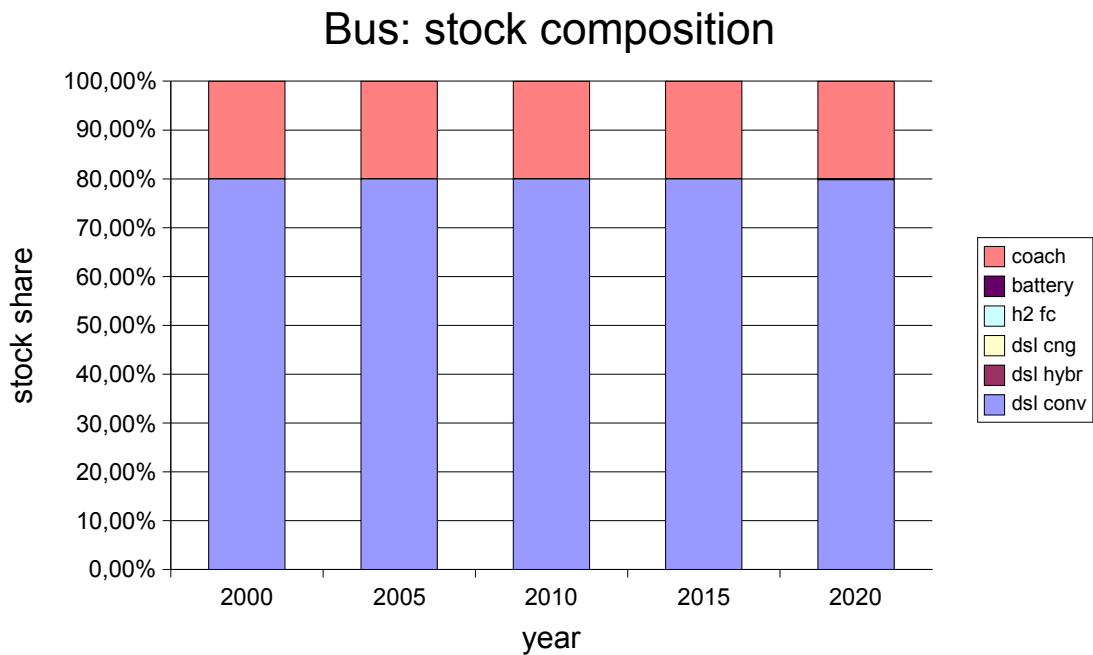


Illustration 6



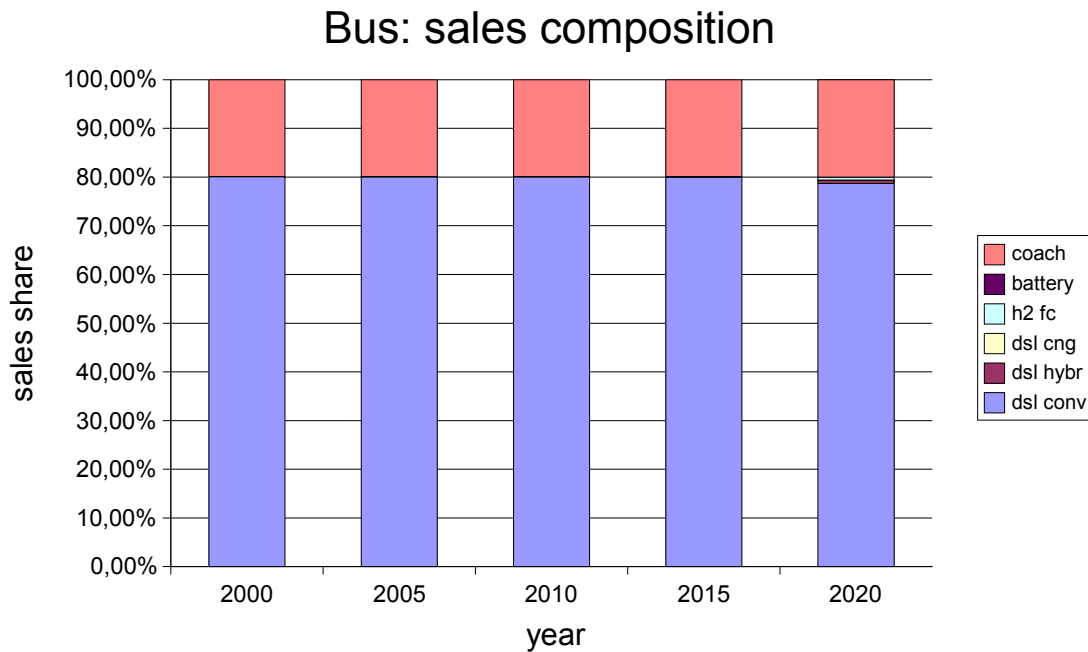


Illustration 7

## 4. REFERENCES

De Ceuster, M.J.G. (2003). MIRA T-2003 Achtergrondrapport, Thema economie, deel transport. Rapport in opdracht van Projectteam Milieu- en natuurrapport Vlaanderen, Vlaamse Milieumaatschappij. pp. 1-66. (ontwerp-versie)

IEA (2003) Energy prices & taxes - quarterly statistics - first quarter, Paris.

Knockaert, J., Van Regemorter, D., Proost, S. (2002) Transport and energy scenarios for EU15 countries + Switzerland and Norway - an analysis with the PRIMES-transport model, Leuven.

Proost, S., Meire, E., Knockaert, J. (2004) Hervorming transportfiscaliteit in Vlaanderen, Leuven

van de Burwal, H.C., Dijkhuizen, A.J.D., Mourad, S., Smokers, R., Winkel, R.G. (2001) Quickscan elektrische, hybride and brandstofcel voertuigen, TNO-rapport 01.OR.VM.077.1/SAM, Delft

Verbeiren S., De Vlioger I. en Pelkmans L. (2003) Duurzaamheidsvaluatie van technologieën en modi in de transportsector in België. Deelrapport eerste screening (Taak A), Vito-rapport 2003/IMS/R086.

VUB-etec, ULB-ceese (2001) Schone voertuigen - Verslag WP1 - "Definitie van het begrip Schone Voertuigen", Brussel