

onderzoeksopdracht

# **Invloed van het rijgedrag op de verkeersemmissies: kwantificatie en maatregelen**

uitgeschreven door Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap; Departement Leefmilieu en Infrastructuur; Administratie Milieu-, natuur-, land- en waterbeheer (AMINAL); afdeling Algemeen milieu- en natuurbeleid.

Offerte voor bestek nr.: aminimal/aminabel/bvo/twol2000/mbp2-14/1

## **Bijlage**

Auteurs

Joeri Van Mierlo, Erik De Bisschop – VUB

Erik van de Burgwal, Dion Bremmers, Raymond Gense – TNO



**VUB-etec + TNO-wt**

26 april 2002

## INHOUDSTAFEL

<b>BIJLAGE</b>	<b>5</b>
<b>1 Samenvatting voorgaande onderzoeksprojecten</b>	<b>5</b>
<b>1.1 VUB Onderzoeks- en valorisatiecontracten in het domein van het projekt</b>	<b>5</b>
<b>1.2 TNO Onderzoeks- en valorisatiecontracten in het domein van het projekt</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Karakterisatie van het rijgedrag</b>	<b>6</b>
<b>1.4 Invloed van congestie</b>	<b>9</b>
<b>1.5 TNO-databank</b>	<b>12</b>
<b>2 VSP – Voertuig Simulatie Programma</b>	<b>14</b>
<b>3 Keuze en Instrumentatie meetvoertuig</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Selectie meetvoertuig voor opmeting Verkeerssituaties-snelheidscycli</b>	<b>20</b>
<b>3.2 Selectie meetvoertuig voor opmeting Rijgedrag-snelheidscycli</b>	<b>20</b>
<b>3.3 Instrumentatie</b>	<b>20</b>
<b>3.4 Hoe komen tot een bruikbare cyclus</b>	<b>21</b>
3.4.1 Opnemen van de data	21
3.4.2 Verwerken van de data	21
<b>4 Verkeerssituaties</b>	<b>23</b>
<b>4.1 Verkeersplateaus</b>	<b>23</b>
<b>4.2 Referentie voor verkeersplateaus</b>	<b>25</b>
<b>4.3 Zone 30 te Mechelen</b>	<b>26</b>
<b>4.4 Referentiemeting zone 30 te Aalst</b>	<b>28</b>
<b>4.5 Groene Golf te Brugge</b>	<b>30</b>
4.5.1 Samenstelling van de Groene Golf Brugge cyclus.	30
4.5.2 Groene golf minicyclus	31
<b>4.6 Verkeerslichten</b>	<b>35</b>
<b>4.7 Rotondes</b>	<b>38</b>
4.7.1 Metingen te Geel	38
4.7.2 Metingen te Vilvoorde	42
4.7.3 Metingen te Eke	43
4.7.4 Metingen te Kortrijk	44
<b>5 Beschrijving van het Vlaams Wagenpark</b>	<b>46</b>
<b>Referenties en artikels</b>	<b>51</b>

## LIJST TABELLEN

Tabel 1: Overzicht resultaten “The effects of real world driving on fuel consumption on emissions of passenger cars” .....	7
Tabel 2: Gehanteerde grenzen congestieniveaus .....	9
Tabel 3: Absolute emissiefactoren gemiddeld Nederlands personenauto op de snelweg per congestieniveau.....	11
Tabel 4: Indeling in technologieklassen .....	12
Tabel 5: Indeling databank.....	13
Tabel 6: Karakteristieke parameters .....	22
Tabel 7: Beschrijving traject te Affligem .....	23
Tabel 8: Beschrijving traject te Letterhoutem-Vlierzele .....	23
Tabel 9: Karakteristieke parameters voor de verkeersplateaus.....	24
Tabel 10: Karakteristieke parameters voor referentiecycclus verkeersplateaus.....	26
Tabel 11: Karakteristieke parameters voor zone 30 .....	27
Tabel 12: Karakteristieke parameters voor de stadsverkeer .....	29
Tabel 13: ritparameters van gehele cycli en minicycli voor twee volgordes.....	32
Tabel 14: Karakteristieke parameters voor de verkeerslichten.....	36
Tabel 15: Parameters rotondes Geel .....	39
Tabel 16: Parameters rotondes Geel ingekort.....	40
Tabel 17: Metingen te Vilvoorde in onverzadigde toestand .....	42
Tabel 18: Parameters te Eke .....	43
Tabel 19: Parameters in Kortrijk.....	45
Tabel 20: Verdeling per voertuigcategorie .....	46
Tabel 21: Verdeling personen voertuigen per brandstof.....	46
Tabel 22: Verdeling personen voertuigen per cilinderinhoud .....	47
Tabel 23: Verdeling per merk .....	48
Tabel 24: Meest verkochte wagen .....	48
Tabel 25: Vlaams wagenpark: aantal wagens.....	49
Tabel 26: Vlaams wagenpark: aantal kilometers .....	49

## LIJST TABELLEN

Figuur 1: absolute resultaten van de metingen .....	7
Figuur 2: Invloed standaard referentie cyclus.....	8
Figuur 3: Invloed van de airco .....	8
Figuur 4: Relatief gecombineerde personenwagen-emissies .....	10
Figuur 5: Schematische voorstelling conversieslag van metingen naar parkgemiddelde.....	11
Figuur 6: voorbeeld 'engine-map' .....	15
Figuur 7: Principeschema van de koppeling van het voertuig- en verkeerssimulatieprogramma.....	16
Figuur 8: gebruikersinterface van VSP.....	17
Figuur 9: Front panel SCENARIO zoals opgesteld voor het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. ....	18
Figuur 10: voorstelling emissiewaarden in GIS-omgeving.....	19
Figuur 11: Minicycli verkeersplateaus.....	24
Figuur 12: Verkeersplateau-trferentiecycclus.....	26
Figuur 13: Minicycli zone 30.....	27
Figuur 14: Minicycli stadsverkeer .....	29
Figuur 15: Opgenomen ritdata groene golf in twee verschillende volgordes .....	33
Figuur 16: Groene Golf Brugge cyclus voor n=2 .....	34
Figuur 17: Effect van lengte Groene Golf Cyclus op RPA en gemiddelde snelheid (alléén V>0).....	35
Figuur 18: Cyclus Verkeerslichten .....	37
Figuur 19: Minicyclus verkeerslichten .....	38
Figuur 20: minicyclus rotonde Geel .....	39
Figuur 21 : Minicyclus rotondes (hele dataset).....	40
Figuur 22 : Rtonde Geel.....	41
Figuur 23: Rtonde Geel ingekort .....	41
Figuur 24: Onverzadigde toestand.....	42
Figuur 25: Rotondemetingen te Eke .....	44
Figuur 26: Snelheidsprofiel te Kortrijk.....	45
Figuur 27: aantal personen voertuigen (PV) per jaar van eerste ingebruikstelling.....	47

# BIJLAGE

## 1 Samenvatting voorgaande onderzoeksprojecten

Deze bijlage bevat voorafgaande onderzoeksopdrachten die nauw verbonden zijn aan dit project. Hieronder volgt eerst een lijst van onderzoeks- en valorisatiecontracten waarin ofwel VUB of TNO betrokken waren. Deze rapporten kunnen worden opgevraagd indien bijkomende informatie gewenst is. Daar waar de resultaten van deze opdrachten relevant waren voor de uitvoering van deze studie werden ze overgenomen in dit verslag.

### 1.1 *VUB Onderzoeks- en valorisatiecontracten in het domein van het projekt*

- "Simulation program for comparison and design of Electric, Hybrid Electric and thermal vehicles with respect to energy, emissions and performances", doctoraatswerk aan de VUB 1993-2000
- "Evolutie van de technologie van de transportmiddelen en van de bijkomende infrastructuur gericht op veiligheid, efficiëntie en milieuentlasting", overeenkomst in opdracht van Brussels Hoofdstedelijk Gewest; 1991-1992
- "Modulaire simulatie van milieu-, energie- en mobiliteitsaspecten van het verkeersbeleid", overeenkomst in opdracht van Federale Diensten voor Wetenschappelijke, Technische en Culturele Aangelegenheden; 1997-2000
- "Schone voertuigen", studie in opdracht van de Brussels Instituut voor Milieubeheer, 2001. Heden is deze studie aan het concluderen.

### 1.2 *TNO Onderzoeks- en valorisatiecontracten in het domein van het projekt*

- TNO rapport 00.OR.VM.021.1/NG, Driving style, fuel consumption and tail pipe emissions, 13 maart 2000, N.L.J. Gense. Onderzoek naar de invloed van de rijstijl op het verbruik en de emissies van personenauto's.
- TNO rapport TNO-MEP-R 2000/274, Research on emissions of unregulated components by light and heavy duty vehicles, juli 2000, M.P. Keuken, H. Verhagen, M. van Helden, N.L.J. Gense, R.J. Vermeulen. Verkennend onderzoek naar de emissie van ongereguleerde componenten door personenauto's en vrachtwagens. Voor personenauto's werd ondermeer de invloed van een sportieve rijstijl onderzocht.
- MATADOR task 2, testing methods for vehicles with conventional and alternative drivelines, contract JOE 3-ct97-0081. Ondermeer het opstellen van test procedures voor HEV en EV. Rapportage bevindt zich in het eindstadium, een draft versie is reeds opgeleverd.
- Heavy Duty testcycli, het ontwikkelen van een set representatieve cycli die gebruikt kunnen worden voor het bepalen van emissiefactoren voor HD motoren.
- Steekproefcontroleprogramma, een reeds 12 jaar bestaand Inspection and Maintenance programma voor light duty en heavy duty voertuigen.

- Proefschrift Heavy Duty emission factors, Development of representative driving cycles and prediction of emissions in real-life, oktober 1997, C.J.T. van de Weijer. Dit rapport omschrijft een methodiek voor de ontwikkeling van representatieve ritcycli.
- Files en emissies, onderzoek naar effecten van verschillende vormen van verkeersafwikkeling op de emissiefactoren.
- N<sub>2</sub>O emissie door personenauto's, het screenen van en het verdiepen in de emissie van N<sub>2</sub>O door personenauto's.
- NH<sub>3</sub> emissie door personenauto's, het screenen van de emissie van NH<sub>3</sub> door personenauto's.
- WHDC, World harmonized Heavy Duty test Cycle, ontwikkeling van een nieuwe wereldwijd geharmoniseerde testcyclus voor HD motoren.
- WMTC, World harmonized Motor Test Cycle, ontwikkeling van een nieuwe wereldwijd geharmoniseerde motorfiets testcyclus.
- ARTEMIS, 5e kader programma, ontwikkeling en modellering van emissiefactoren voor diverse transportsectoren, TNO-WT heeft een aandeel in het personenauto deel van het project en is projectleider van het motorfietsen deel van het project.
- CITA II, ontwikkeling van een procedure voor algemeen periodieke keuring van motorfietsen.

### **1.3 Karakterisatie van het rijgedrag**

Uit voorafgaandelijke studies is gebleken dat rijgedrag en emissies onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn [1,2].

Gelijktijdig met het promoten van 'Het Nieuwe Rijden'<sup>1</sup> [3,4] in 1999 liep in Nederland een project ter quantifiëring van onder meer dit rijgedrag en diens emissies, 'Driving style, fuel consumption and tail pipe emissions'.

De uiteindelijke studie omvatte 4 rijstijlen (ei, defensief, nieuwe rijden, sportief) waarvan de defensieve (zoals geleerd in autorijscholen, vergelijkbare riddynamiek als ECE of VERSIT-basisdata), of de rijstijl die men aanleert tijdens de initiële rijlessen, diende als referentie. Van twee andere rijstijlen werd aangenomen dat ze brandstof besparen: de ei-stijl en de nieuwe rijstijl uit het programma 'Het Nieuwe Rijden'. De ei-stijl is de 'oude' manier om zuinig te rijden, langzaam en weinig gas geven. De toenmalige definitie van de rijstijl van 'Het Nieuwe Rijden' combineert een defensieve rijstijl met een speciale manier van accelereren: bij lage toeren schakelen in combinatie met een 3/4 –stand van het gaspedaal. De vierde rijstijl "sportief rijden" is de milieukundige tegenpool van deze laatste rijstijl; de auto wordt veelal op hoge toeren en hoog vermogen gebruikt zonder op het overige verkeer te anticiperen.

TNO-medewerkers hebben gebruikmakend van deze verschillende rijstijlen in een aantal auto's uit verschillende categorieën gereden, terwijl het rijpatroon werd vastgelegd. Gebruikt zijn licht, middelzwaar en zwaar gemotoriseerde benzinevoertuigen, dieselwagens en benzinewagens met een automatische versnellingsbak. De rit vond plaats op een representatief traject in het dagelijkse verkeer. Vervolgens zijn de opgenomen ritten gecomprimeerd tot een bruikbare cyclus op de rollenbank, waar deze cycli nagereden werden terwijl brandstofverbruik en uitlaatgasemissies werden gemeten. Op de rollenbank werden 15 voertuigen getest die een afspiegeling waren van het

---

<sup>1</sup> Het Nieuwe Rijden houdt meer in dan alleen het onderzoek naar en vergelijken van verschillende rijstijlen. De uitgangspunten zijn in grote lijnen veilig, comfortabel en energiebewust autorijden. Ook de invoering van het brandstoflabel naar aanleiding van de Europese Richtlijn hieromtrent kadert in dit programma.

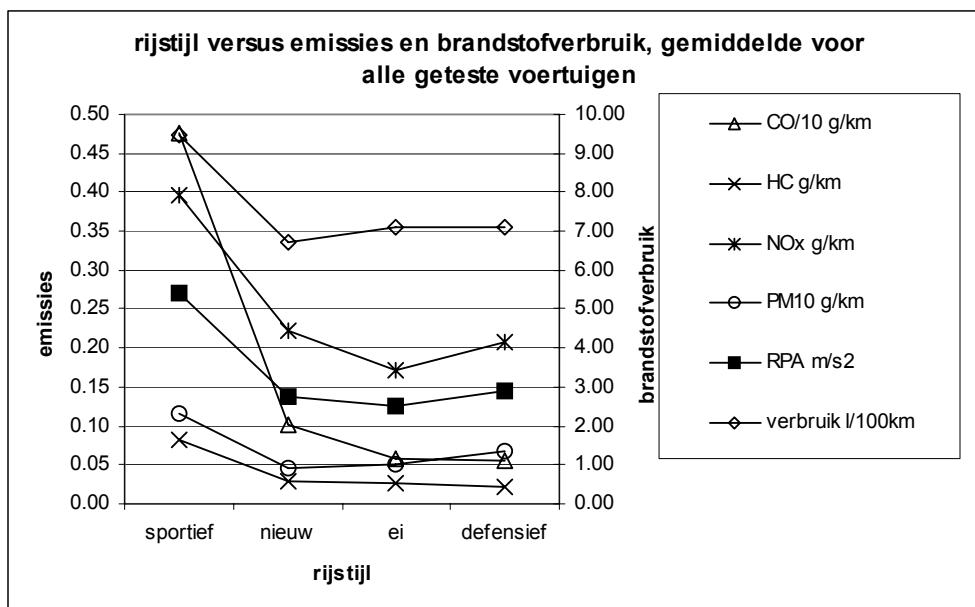
Nederlandse wagenpark. In Tabel 1 zijn de resultaten samengevat, weergegeven per verschillend wegtype. De waarden hierin vermeld stellen gezien de hierboven vermelde methodologie gemiddelde waarden voor op een bepaald wegtype bij het hanteren van een zekere rijstijl en zijn verder relatieve waarden tov. het defensief rijgedrag.

**Tabel 1: Overzicht resultaten “The effects of real world driving on fuel consumption on emissions of passenger cars”**

Weg type	stedelijk			Landelijk			snelweg		
Rijstijl	Sportief (%)	Nieuw (%)	Ei (%)	sportief (%)	Nieuw (%)	Ei (%)	sportief (%)	Nieuw (%)	Ei (%)
Brandstofverbruik	+50.5	-6.2	+2.1	+40.9	-10.6	+5.4	+12.3	+0.3	-5.7
CO <sub>2</sub>	+47.2	-6.9	+1.6	+36.4	-11.1	+5.7	+8.6	-0.1	-5.4
CO	+1042.4	+227.0	+203.6	+723.3	+44.3	-21.9	+632.3	+45.9	-59.9
HC	+269.1	+73.8	+59.5	+382.1	+7.1	+33.9	+205.1	+15.3	-22.0
NOx	+163.7	+34.6	-4.3	+89.2	+2.1	-22.7	+47.2	-6.9	-21.6
Stofdeeltjes	+107.5	+10.9	+17.7	+83.4	+35.8	-4.0	+49.7	-43.5	-48.6

In de onderstaande figuur staan de absolute resultaten van de metingen weergegeven.

**Figuur 1: absolute resultaten van de metingen**



Opvallend was dat bij het nieuwe rijden of ecolomisch (economisch-ecologisch) rijden er slechts een reductie van brandstofverbruik van 5% werd vastgesteld tov het defensief rijden, daar waar er een besparing tot 20 % mogelijk werd geacht. Bovendien bleek dat de CO en KWS emissies toenamen. Bij een sportieve rijstijl stelde men een toename met een factor 8 vast van de CO-emissies, een factor 3 voor de KWS, een verdubbeling van de NO<sub>x</sub>-emissies en een toename met 30% van het brandstofverbruik. Tijdswinst bij sportief rijden is vrijwel nihil.

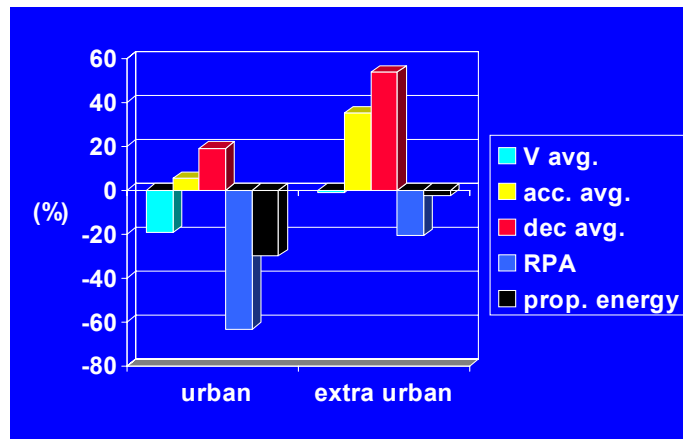
Deze rijstijlen werden bovendien vergeleken met de standaardtest voor oa. de homologatie van de voertuigen (ECE15). Hierbij werd vastgesteld dat de standaardtest helemaal niet correspondeert met rijgedrag in de praktijk, en dat er daarom met de zeer eenvoudige standaardtest een betere verbruik en betere emissiecijfers gerealiseerd kunnen worden dan dat in de praktijk het geval is. Dit is voornamelijk te wijten aan het feit dat deze standaard cyclus slechts een beperkte acceleratie oplegt, waarop de autoconstructeurs hun motoren op kunnen kalibreren. Eens echter hogere acceleraties en

andere werkingpunten van de motor gevraagd worden kan dezelfde motor een heel ander emissiegedrag vertonen.

In onderstaand figuur valt te zien dat de ritparameters van de standaard cyclus sterk afwijken van die van een praktijkrit. De dynamiek (RPA), de snelheid en de benodigde aandrijfenergie zijn met name in stad veel lager dan in werkelijkheid. Op de buitenweg treden in de standaardcyclus daarentegen veel hogere deceleraties op dan in een praktijkrit.

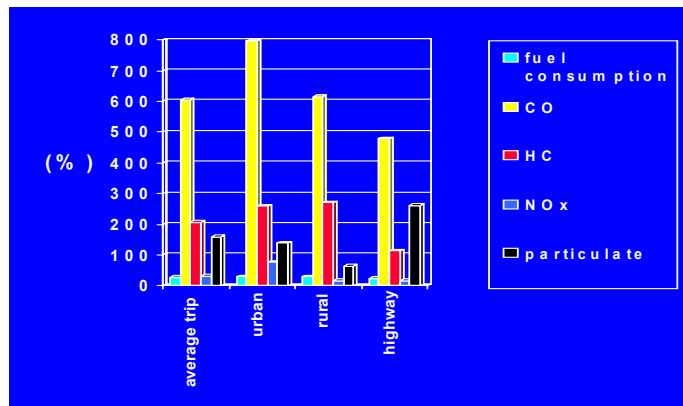
De ECE testen zijn altijd uitgevoerd met koude start, vandaar bij dat een vergelijking van de absolute emissies er twee verschillende zaken naast elkaar zouden worden gezet.

**Figuur 2: Invloed standaard referentie cyclus**



Naast het promoten van een milieuvriendelijke rijstijl, houdt het 'Nieuwe Rijden' ook een aantal aanbevelingen in met betrekking tot het gebruik van het voertuig en diens uitrusting. Zo is het bijvoorbeeld aangewezen om de airco zo min mogelijk te gebruiken daar dit tot een aanzienlijke verhoging van het brandstofverbruik leidt. Uit testen in het kader van dit project [1] blijkt immers dat bij continu volle belasting van de airco het brandstofverbruik uitgemiddeld over 5 verschillende wagens met 27% stijgt<sup>1</sup>.

**Figuur 3: Invloed van de airco**



<sup>1</sup> De waarden hier vermeld zijn deze in het slechtste geval (continu volle belasting). De echte verhoging bij het gebruik van de airco in reële omstandigheden is onbekend omdat men het tijds/belastingspatroon van deze uitrusting niet kent.



## 1.4 Invloed van congestie

Naast het onderzoek over het optimaal gebruik van de motor onder de vorm van rijstijlen, werd er in Nederland ook een studie gemaakt van de invloed van congestie op autosnelwegen op de emissies [5]. Binnen dit project werd het Nederlandse snelwegverkeer in verschillende congestieniveaus, beschreven in Tabel 2, ingedeeld op basis van gemiddelde snelheid en verkeersintensiteit.

Per congestieniveau werd een ritcyclus ontwikkeld op basis van werkelijk, op de Nederlandse autosnelwegen, voorkomende files. De ritcycli werden vervolgens in het laboratorium nagedren om zodoende het verbruik en de uitlaatgasemissies te meten. Tijdens de praktische uitvoering van dit onderzoek werd de nadruk gelegd op het bepalen (opnemen) van representatieve ritgegevens van personenauto's op snelwegen en het vervolgens koppelen van emissiefactoren van personenauto's aan deze ritgegevens.

In totaal zijn voor 10 verschillende rittypes aan 19 verschillende personenauto's, feitelijke emissiefactoren bepaald voor een vijftal verschillende gereguleerde emissiecomponenten. Bij de behandeling van de data is gebruik gemaakt van een voertuigtechnologie georiënteerde indeling van de resultaten. Dit is noodzakelijk om de sterk verschillende reacties van de emissies van de verschillende voertuigtypen op congestie te kunnen hanteren. Binnen dit onderzoek werd ook het gebruik van sluiproutes onder de loep genomen en vergeleken met de verschillende congestieniveaus op de snelwegen.

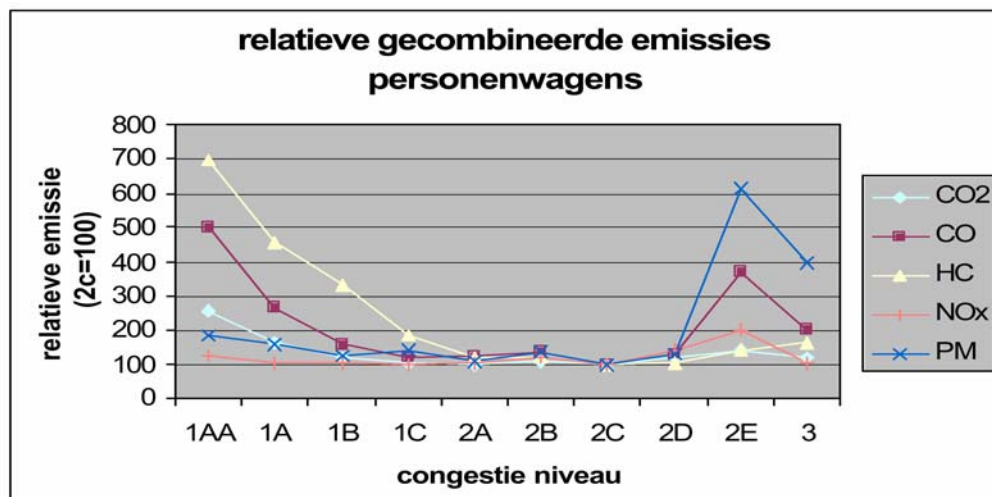
Het bleek dat dit binnen één technologieklasse (benzine zonder katalysator, Benzine met katalysator, diesel, LPG met katalysator) zeer vergelijkbare resultaten opleverde, alhoewel de absolute emissieniveaus sterk verschillen.

**Tabel 2: Gehanteerde grenzen congestieniveaus**

Congestieniveau	Definitie
1aa	Snelheid lager dan <10 km/h
1ab	Snelheid tussen 10 en 25 km/h
1a	1aa en 1ab, snelheid tussen 0 en 25 km/h
1b	Snelheid tussen 25 en 40 km/h
1c	Snelheid tussen 40 en 75 km/h
2a	Snelheid boven 75 km/h, intensiteit boven 1000 voertuigen per strook per uur, snelheidslimiet = 100 km/h
2b	Snelheid boven 75 km/h, intensiteit boven 1000 voertuigen per strook per uur, snelheidslimiet = 120 km/h
2c	Snelheid boven 75 km/h, intensiteit onder 1000 voertuigen per strook per uur, snelheidslimiet = 100 km/h
2d	Snelheid boven 75 km/h, intensiteit onder 1000 voertuigen per strook per uur, snelheidslimiet = 120 km/h
2e	Snelheid boven 120 km/h, onafhankelijk van de intensiteit
3	Sluiproute

De emissiefactoren die hieruit voortvloeiden gaven voor alle personenwagens een vergelijkbaar beeld, waarbij de emissies met toenemende congestie en toenemende snelheid boven 100 km/uur, significant verhoogd zijn (zie Figuur 4; cfr. Congestieniveau's 1aa,1a,1b,1c en 2e). De onderlinge verschillen tussen de emissiefactoren voor personenauto's binnen de gedefinieerde congestieniveaus zijn significant voor alle gereguleerde emissiecomponenten. Hierbij vertoont 'Stop and Go' (1aa) het grootste verschil ten opzichte van de andere congestieniveaus. Ook het 'hardrijden' onderscheidt zich duidelijk in negatieve zin van de overige congestieniveaus bij het vergelijken van de emissies. Alle emissies, alsook het brandstofverbruik zijn een veelvoud van deze bij een gematigde snelheid.

**Figuur 4: Relatief gecombineerde personenwagen-emissies**



Uit dit project bleek dat congestieniveau 1b het best overeenstemde met de sluiproute wanneer men als beschrijvende parameters RPA<sup>1</sup> en gemiddelde snelheid gebruikt. Bij het vergelijken van de emissies voor beide indelingen stelde men dan ook vast dat deze vrij goed overeenkwamen (op een binnen de meetfouten gesitueerde stijging bij de sluiproute na en) op uitzondering van NO<sub>x</sub>-emissies die spectaculair stegen bij het nemen van sluiproutes. Andere onderzoeken [1] stellen een hoger brandstofverbruik vast op landelijke wegen dan op een snelweg met vertraagd verkeer voor een zelfde gemiddelde snelheid. Zij adviseren dan ook sluiproutes te vermijden bij niet stilstaand verkeer op een autosnelweg.

De initiële projectopzet was bedoeld om emissiefactoren van personenauto's vast te stellen. Hiertoe zijn met betrekking tot deze categorie veel metingen verricht. Hoewel getracht is om de gebruikte voertuigselectie zoveel mogelijk het Nederlandse wagenpark te laten weerspiegelen, bleek een steekproefomvang van 19 voertuigen te beperkt om uitspraken te kunnen doen over de absolute effecten van congestie op het Nederlandse wagenpark. Om toch een uitspraak te kunnen doen m.b.t. de emissies van het totale Nederlandse wagenpark, is er een conversieslag gemaakt op basis van relatieve emissiefactoren per congestieniveau die uit de metingen kunnen worden bepaald in combinatie met een absoluut ijkpunt.

Als basis voor deze conversie is uitgegaan van de TNO modellen VERSIT en het TNO-Parkmodel. Met behulp van deze modellen kunnen emissie-berekeningen ten aanzien van het complete Nederlandse wagenpark worden verricht (op basis van grote hoeveelheden gemeten voertuigen), echter enkel in de 3 hoofdcategorieën: stad, buitenweg en snelweg. Situaties waarin congestie optreedt zijn niet modelleerbaar met behulp van deze modellen. De data voor deze 3 beschikbare hoofdcategorieën zijn echter (in tegenstelling tot de congestie-data) afkomstig van metingen aan meer dan 3000 voertuigen. Hierdoor is de representativiteit van de data voor het gemiddelde Nederlandse wagenpark juist zeer hoog. Om een zo goed mogelijke voorspelling van de emissiefactoren in 10 onderscheiden congestieniveaus te maken, is daarom gekozen voor een combinatie van de relatieve modeldata en de resultaten uit de metingen van het onderzoek.

Het basisidee achter de genoemde combinatie is: Het bepalen van de relatieve afwijkingen in emissies tussen de verschillende gehanteerde congestieniveaus en deze vervolgens te koppelen aan de bestaande modellen die als absoluut ijkpunt fungeren.

In de praktijk is een en ander als volgt toegepast:

VERSIT gebruikt een vrij grove onderverdeling in een stadsrit, een buitenwegrit en een snelwegrit, waarin de onderscheiden congestieniveaus niet goed zijn vertegenwoordigd. Door het correleren van

<sup>1</sup> Relatieve positieve acceleratie (RPA); : maat voor de dynamiek van een rit  $\int_0^T (v_i \cdot a_i^+) dt / x$

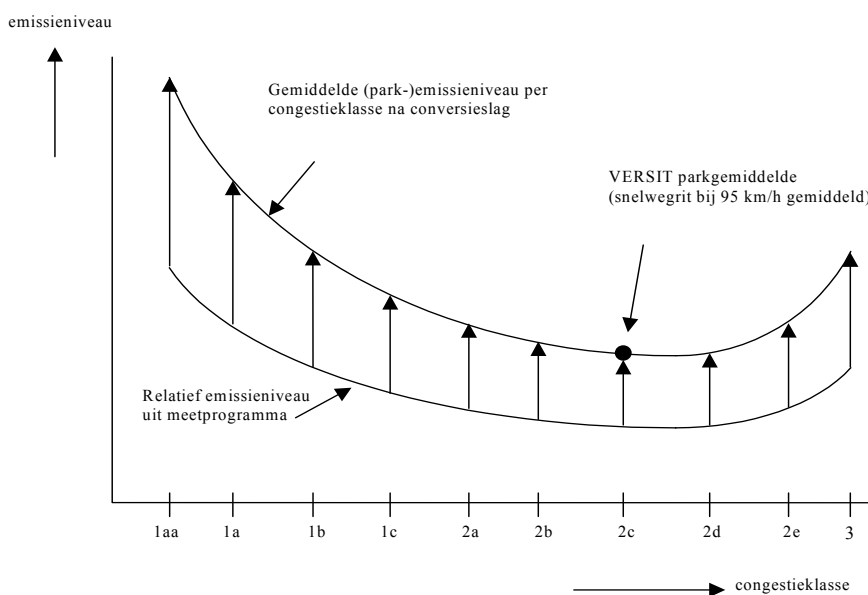
de congestieniveaus uit het onderhavige onderzoek, met de best overeenkomende hoofdcategorie uit VERSIT, kunnen per technologieklasse betrouwbare parkgemiddelde emissiefactoren worden berekend voor het betreffende congestieniveau. Uit een analyse van diverse ritparameters werd geconcludeerd dat congestieniveau 2c het beste overeenkomt met de hoofdcategorie 'snelweg' uit VERSIT met een gemiddelde snelheid van 95 km/h.

Vanwege de lage dynamiek van congestieniveau 2c, is dit congestieniveau goed vergelijkbaar met de snelwegsituatie uit VERSIT. Vervolgens zijn de volgende berekeningen uitgevoerd:

1. Berekening van de gewogen gemiddelde emissies voor de vertegenwoordiging van de verschillende voertuigtypen in het Nederlandse wagenpark van 1998 (laatst beschikbare CBS gegevens) voor een snelwegrit met een gemiddelde snelheid van 95 km/h, met behulp van VERSIT en het TNO-Parkmodel.
2. Berekening van de relatieve emissies per component per technologieklasse van de onderscheiden congestieniveaus ten opzichte van congestieniveau 2c uit de resultaten van het meetprogramma.

Uit de resultaten van beide berekeningen kan één gemiddelde emissiefactor per emissiecomponent, per congestieniveau worden berekend voor een gewogen gemiddelde personenauto van het Nederlandse wagenpark. Dit principe staat weergegeven in de volgende figuur.

**Figuur 5: Schematische voorstelling conversieslag van metingen naar parkgemiddelde**



Per emissiecomponent (CO, HC, etc.) en technologieklasse is deze conversieslag uitgevoerd. De absolute emissiefactoren zoals vermeld in de onderstaande tabel zijn het resultaat.

**Tabel 3: Absolute emissiefactoren gemiddeld Nederlands personenvoertuig op de snelweg per congestieniveau**

	1aa	1a	1b	1c	2a	2b	2c	2d	2e	3
CO <sub>2</sub> [g/km]	369	237	175	149	142	153	143	169	201	174
CO [g/km]	4.65	2.46	1.46	1.10	1.17	1.25	0.93	1.23	3.46	1.86
HC [g/km]	0.77	0.50	0.36	0.20	0.13	0.13	0.11	0.11	0.16	0.18
NO <sub>x</sub> [g/km]	0.52	0.43	0.43	0.41	0.44	0.50	0.42	0.59	0.84	0.43
PM <sub>10</sub> [g/km]	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.13	0.09

= VERSIT snelwegrit bij 95 km/h gemiddeld

Voor dit huidige Vlaamse project kunnen de resultaten van dit project “Files en emissies” gebruikt worden. Er zijn dus geen verdere metingen nodig. De effecten van files zullen binnen het onderzoek ‘Invloed van het Rijgedrag op de Verkeersemissies’ gebaseerd zijn op de hiervoor genoemde Nederlandse studie. Het Vlaamse onderzoek heeft zich daarom verder geconcentreerd op de verkeersmaatregelen op het onderliggende wegennet.

## 1.5 TNO-databank

Tabel 4 en Tabel 5 geven een overzicht van de bestaande TNO databank bij aanvang van het huidige AMINAL project. TNO onderscheidt volgende technologieklassen:

**Tabel 4: Indeling in technologieklassen**

Benzine	Zonder katalysator	Euro 0
	Met katalysator	Euro 1 en Euro 2
	Met katalysator	Euro 3
Diesel	Zonder katalysator	Euro 0 en Euro 1
	Met katalysator	Euro 2 en Euro 3
LPG	Zonder katalysator	Euro 0
	Met katalysator	Euro 1 en Euro 2
	Met katalysator	Euro 3

De TNO databank bevat resultaten uit enerzijds voorgaande projecten [1], [5] en een steekproefcontrole-programma<sup>1</sup>:

Deze tabel toont een grote basis (3000 voertuigen) getest volgens UDC en EUDC, aangevuld met een 100 tal testen volgens de Europese MODEM cyclus (reëel verkeer). Verder werd het effect van de rijstijl volgens 4 stijlen in kaart gebracht en tot slot het verkeer (al dan niet met congestie) op een autosnelweg.

Uit Tabel 5 blijkt dat het met betrekking tot stedelijke omgeving een aanvulling noodzakelijk is. Hierbij kan men gaan kijken naar filevorming in de stad of kan men proberen bepaalde verkeerstechnische situaties (rotondes, groene golf, zone 30, ...) in kaart te brengen. Binnen dit AMINAL project is er niet voor geopteerd om specifieke filevorming in de stad te onderzoeken gezien de trends naar alle waarschijnlijkheid weinig zullen verschillen van deze gevonden in “Files en Emissies”. De impact bij verkeerstechnische maatregelen werd wel verder onderzocht.

<sup>1</sup> Het steekproefcontrole-programma is een jaarlijks programma uitgevoerd in opdracht van de Nederlandse overheid waarin TNO een aantal van veel verkochte wagens het afgelopen jaar onderwerp aan een reeks standaardtests.

**Tabel 5: Indeling databank**

Project naam	Cyclus	V gem (km/h)	RPA (m/s <sup>2</sup> )	Lengte (m)	Duur (sec)	Omvang database	
Steekproef controle programma	UDC	18,6	0,15	4027	781	3000+	
	EUDC	61,8	0,10	6863	400	3000+	
	Modem Slow urban	13,9	0,28	1705	441	±100	
	Modem rural	43,6	0,23	8485	700	±100	
	Modem Free Flow urban	22,8	0,32	2248	355	±100	
	Modem motorway	101,2	0,12	12683	451	±100	
Rijstijlen Nederland	Defensief stad	33,0	0,23			15	
	Defensief buitenweg	58,3	0,17			15	
	Defensief snelweg	101,1	0,08			15	
	Nieuwe Rijden stad	33,5	0,21			15	
	Nieuwe Rijden buitenweg	61,2	0,16			15	
	Nieuwe Rijden snelweg	100,8	0,07			15	
	“Ei” stad	30,5	0,19			15	
	“Ei” buitenweg	49,5	0,14			15	
	“Ei” snelweg	94,0	0,07			15	
	Sportief stad	37,3	0,41			15	
	Sportief buitenweg	60,3	0,32			15	
	Sportief snelweg	101,7	0,14			15	
Files en emissies	1aa	7,1	0,11	1383	705	19	
	1a	15,5	0,19	3118	726	19	
	Congestie	1b	35,3	0,19	5693	580	19
		1c	57,4	0,16	12481	783	19
		2a	91,0	0,09	13192	522	19
	Geen congestie	2b	96,8	0,10	15890	591	19
		2c	97,9	0,06	14490	533	19
		2d	112,3	0,07	13536	434	19
		2e	123,7	0,04	10175	296	19
		3	123,7	0,04	10175	296	19
	Sluiproute	3	36,4	0,19	4749	469	19

## 2 VSP – Voertuig Simulatie Programma

### *Inleiding*

De door de VUB ontwikkelde methodologie kan enigszins innovierend genoemd worden, daar ze een voertuigsimulatieprogramma (VSP) koppelt aan een verkeerssimulatieprogramma (TRIPS).

Deze VUB-methodologie is ontwikkeld om tegemoet te komen aan de vraag naar software die de mogelijkheid biedt om complexe problemen op een realistische wijze te simuleren en zodoende de vooropgestelde beleidsmaatregelen te evalueren.

Tot op heden worden de emissies en brandstofverbruik van voertuigen ingeschat op basis van jaargemiddelde, voertuigstatistieken, gemiddelde snelheden per wegtype, gemiddelde afstanden per voertuigcategorie, en een hele resem correctiefactoren. De ‘gemiddelde snelheid-emissies curves’ worden meestal opgesteld aan de hand van dynamometer testen, waarbij het voertuig een bepaalde gestandaardiseerde snelheidscyclus moet volgen. Tijdens deze testen worden de emissies gemeten en de gemiddelde snelheid berekend. Dikwijls zijn deze cycli gestandaardiseerde (keurings)testen die niet steeds representatief zijn voor het reële verkeer (zie o.a. MEET [6]).

Deze methodologie geeft een zekere indicatie voor statische emissiefactoren, die ook wel “hot emission factors” genoemd worden (zie o.a. CORINAIR en COPERT II [7], databanken ontwikkeld in opdracht van de Europese Commissie). De aanpak vertrekt dus van globale gegevens en verschillende empirische formules en correlatiecurves om tot resultaten te komen op voertuigniveau, waarbij deze resultaten gekenmerkt worden door relatief grote onzekerheidsfactoren.

Modellen die enkel met gemiddelde snelheid werken houden geen rekening met de rijstijl en verkeerssituatie. In de werkelijkheid kan een gemiddelde snelheid zowel bekomen worden op basis van een constante snelheid of met veel acceleraties en tussenstops. De overeenstemmende emissies zijn sterk uiteenlopend.

De door ons ontwikkelde methodologie werkt in de omgekeerde richting. Vertrekkende van voertuigcomponentgegevens en snelheidscycli (opgebouwd uit gegevens van TRIPS) wordt het dynamisch gedrag van een voertuig gesimuleerd met een voertuigsimulatieprogramma (VSP). De zo bekomen resultaten (o.a. ogenblikkelijke emissies en verbruik) kunnen worden gebruikt als input voor een verkeerssimulatieprogramma (TRIPS).

De aanpak kan eveneens vergeleken worden met de ‘ogenblikkelijke emissie-matrix’ methodologie. Deze methode vertrekt van matrices waarin de ogenblikkelijke emissie (g/s of g/h) worden weergegeven in functie van snelheid en acceleratie (het produkt acceleratie maal snelheid wordt eveneens gebruikt i.p.v. de acceleratie op zich, daar dit een beter weergave is van de vermogenvraag). Deze methode kan aanzien worden als een sterke vereenvoudiging van de VUB-methodologie, daar dergelijke matrices kunnen worden opgesteld met het voertuigsimulatieprogramma (VSP). De emissie-matrixmethodologie op zich heeft als nadeel dat deze matrices meestal worden opgesteld op basis van standaardcycli, waardoor niet alle punten in het snelheids-acceleratie vlak gecoverd worden (zie MEET [6]). Bovendien houdt deze emissie-matrix methode geen rekening met indirecte emissies.

Het VUB software is in de loop der jaren geëvolueerd tot een geïntegreerd pakket van VSP, TRIPS en COPERT.

Deze aanpak heeft als voordeel dat simulaties kunnen worden doorgevoerd, die zowel statische, in functie van de gemiddelde snelheid, als dynamische, rekening houdende met de versnelling, resultaten geeft. Deze aanpak is noodzakelijk daar de emissies van voertuigen bepaald worden door de krachten inwerkend op het voertuig en de specifieke karakteristieken van de componenten van de drijflijn.

### ***De krachten inwerkend op het voertuig***

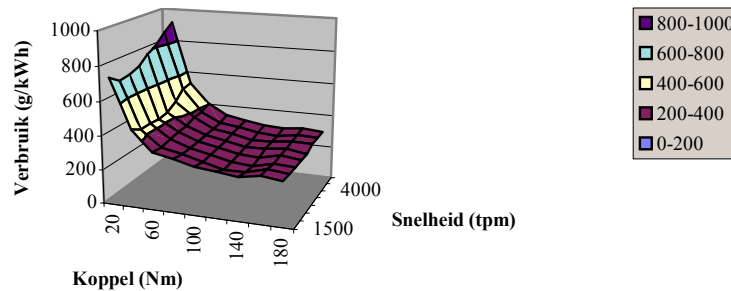
Deze krachten worden beschreven door onderstaande formule. Hieruit blijkt duidelijk dat niet alleen de snelheid  $v$  van het voertuig een impact heeft op de emissies, maar dat naast de versnelling  $a_v$ , nog heel wat andere parameters hun invloed uitoefenen zoals o.a. de weghelling  $\alpha$ , het gewicht  $M$  of laadfactor van het voertuig (vrachtwagens !) en de frontale wind  $v_w$  ( $\rho$  is luchtdichtheid,  $g$  is de gravitatieconstante en  $f_r$  is de rolweerstand die op zijn beurt weer afhankelijk is van de snelheid van het voertuig en de bandenspanning).

$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot C_x \left( \frac{v + v_w}{3,6} \right)^2 + M \cdot g \cdot f_r \cdot \cos(\alpha) + M \cdot g \cdot \sin(\alpha) + M \cdot a_v$$

### ***De specifieke karakteristieken van de componenten van de drijflijn***

Naast de krachten inwerkend op het voertuig dragen de specifieke karakteristieken van de componenten van de drijflijn bij tot de bepaling van de emissies. De karakteristieken van verbrandingsmotoren worden o.a. bepaald door hun 'engine-maps'. Deze figuur toont duidelijk aan dat de werkingstoestand van de motor een grote invloed heeft op het verbruik.

**Figuur 6: voorbeeld 'engine-map'**



Het gebruik van een dynamisch voertuigsimulatie programma voor de bepaling van emissies en energieverbruik van wagens heeft verschillende voordelen:

1. Doordat het programma het gedrag van voertuigen, volgens een bepaald snelheidsprofiel simuleert, verkrijgt men automatisch de bijhorende dynamische emissies.
2. Het gedrag van de bestuurder kan in rekening worden gebracht door o.a.:
  - de definiëring van het gekozen snelheidsprofiel;
  - de keuze van de ogenblikken dat naar een andere versnelling wordt geschakeld.
3. Niet enkel directe maar ook indirecte emissies afkomstig van elektriciteitsopwekking (voor de oplading van batterijen) en t.g.v. olieraffinage worden in rekening gebracht.
4. De resultaten zijn gebaseerd op reële waarden en niet op basis van normeringen (EURO-I, EURO-II, EURO-III,...). In de praktijk zal men hogere emissiewaarden bekomen dan bij het testen volgens standaard cycli (bvb ECE-15), doordat in het reële verkeer hogere versnellingen voorkomen en de voertuigen gekenmerkt worden door ouderdomsverschijnselen (slijtage).

### ***Nieuwe technologieën***

Ook nieuwe technologieën zoals hybride voertuigen kunnen gesimuleerd worden. Op dit ogenblik zijn er nog te weinig commerciële modellen van deze hybride voertuigen beschikbaar, om over representatieve gegevens te kunnen beschikken (zie MEET del 26 [8]). Een goede manier om toch de emissies van deze technologieën te kunnen inschatten, is op basis van modellen die het karakteristiek

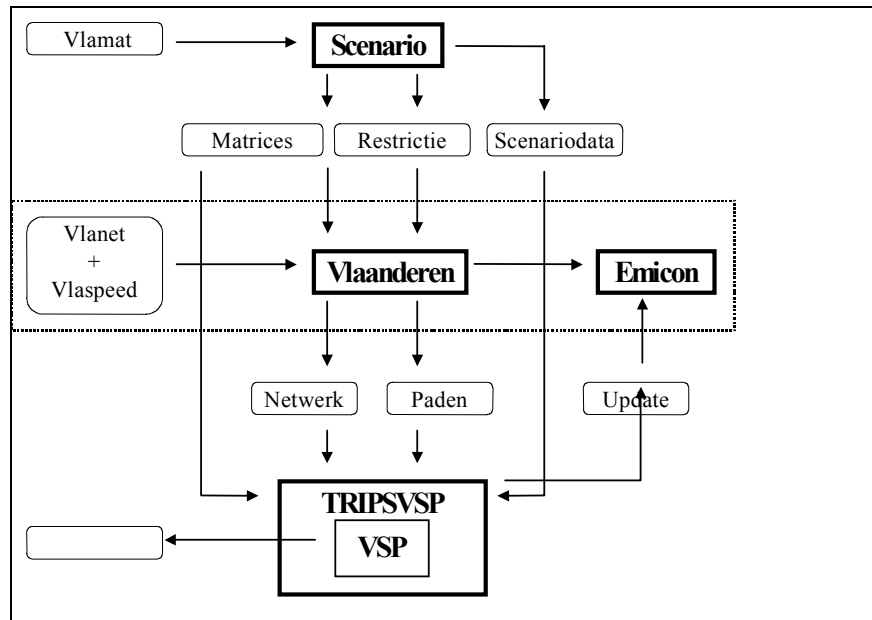
dynamisch gedrag van deze voertuigen in rekening brengt. De reductie aan brandstofverbruik bij hybride wagens is nauw verbonden aan de geïmplementeerde energie- en vermogenbeheer in de drijflijn. Hierdoor zal de invloed van het rijgedrag op de emissies en brandstofverbruik een totaal ander gedrag vertonen dan bij klassieke wagens. Het is inderdaad zo dat de gehanteerde vermogenopsplitsing (strategie) in de drijflijn van een hybride voertuig een antwoord biedt aan de bijkomende dynamische emissies die voorkomen bij klassieke thermische voertuigen. (bvb. zal de Toyota Prius op een autosnelweg slechts een beperkte reductie van het brandstofverbruik bewerkstelligen t.o.v. van een equivalente Corolla; daarentegen zal de Prius in stedelijk verkeer, met een zeer dynamisch snelheidsprofiel, het brandstofverbruik kunnen halveren [9,10]). Verschillende hybride drijflijntopologieën (serie, parallel, gecombineerd,...) en vermogenbeheer kunnen worden gesimuleerd door VSP.

### **Beschrijving van het bestaande werktuig**

Het door de VUB ontwikkelde werktuig is een combinatie van 2 simulatieprogramma's, namelijk het verkeerssimulatieprogramma TRIPS en het voertuigsimulatieprogramma VSP.

De interface tussen beide programma's wordt schematisch weergegeven door onderstaande figuur.

**Figuur 7: Principeschema van de koppeling van het voertuig- en verkeerssimulatieprogramma.**



### **Verkeerssimulatieprogramma**

**TRIPS** is een commercieel Transport Planning software pakket, dat complexe en gedetailleerde analyses kan uitvoeren van verschillende transportsystemen. Dit gebeurt op 2 niveaus:

#### **- niveau van particulier transport (personenwagens, bestelwagens, vrachtverkeer)**

Het te bestuderen gebied wordt onderverdeeld in zones, zodanig dat elk voertuig in één dezer zones zijn oorsprong kent en in een andere zone zijn bestemming. Dit leidt tot een *oorsprong-bestemmingsmatrix* waarbij de verplaatsingen tussen de zones onderling worden gekwantificeerd (bv. van zone A naar zone B rijden X aantal wagens, van zone A naar zone C rijden Y aantal wagens...). Het te bestuderen gebied wordt voorgesteld door een netwerk. Dit netwerk zullen we via TRIPS belasten met wagens. Op iteratieve wijze wordt de oorsprong-bestemmingsmatrix ingeladen door de voertuigen de kortste en/of snelste weg tot hun bestemming te laten nemen. Bij elke iteratie wordt de verzadiging van de wegen gecontroleerd en indien nodig een snelheidsaanpassing doorgevoerd.



Hiervoor maken we gebruik van *speed-flow curves*, die aangeven hoe de snelheid daalt, naarmate de capaciteit van de wegen wordt bereikt. Na een zeker aantal iteraties komen we tot een convergentie en verkrijgen we het resultaat: een netwerk met de gesimuleerde verkeersstromen.

#### - *niveau van openbaar transport (metro, bus, tram, trein)*

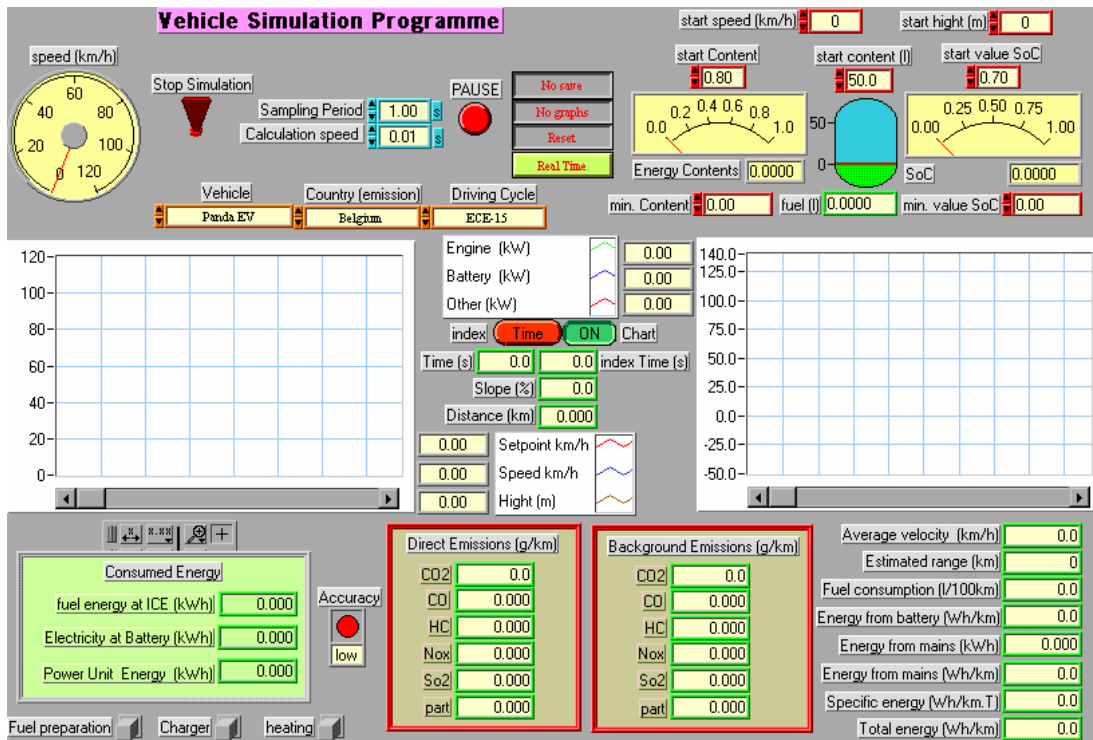
Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de 'Public Transport' modules, die de mogelijkheid bieden om een uitgebreide waaier aan opties te implementeren. Enkele voorbeelden hiervan zijn:

- Impact van nieuwe vormen van openbaar vervoer.
- Gevolgen van verandering in dienstfrequentie.
- Effecten van 'mode switching' wanneer meer gebruikers van personenwagens overstappen op openbaar vervoer.
- Potentieel tot implementeren van nieuwe initiatieven, zoals bijvoorbeeld 'Park and Ride'.
- ...

#### **Voertuigsimulatieprogramma**

VSP omvat een databank van zowel thermisch, elektrisch als hybride voertuigen; deze gegevensstructuur is dynamisch en wordt ook constant uitgebreid. Het is geschreven in het gebruikersvriendelijk, modulair, grafisch softwarepakket LabVIEW.

**Figuur 8: gebruikersinterface van VSP.**



Aan de hand van een gekozen snelheidsprofiel (zie verder) en referentievoertuig worden o.a. de directe (uitlaatpijp) en achtergrond (raffinage of elektriciteitsproductie) emissies berekend. Een performant iteratief algoritme bepaalt de maximale prestaties van het voertuig alsook het vermogenbeheer in de drijflijn. De componenten van de drijflijn worden gemodelleerd aan de hand van rendements-krommes, inerties, emissie en consumptietabellen (enginemaps), en dergelijke meer. VSP kan rekening houden met de weghelling, de voertuiglading en het rijgedrag van de bestuurder. Eveneens kunnen emissiecorrectiefactoren worden ingevoerd die rekening houden met koude start van verbrandingsmotoren.

Het programma bestaat uit drie hoofd delen:

- **Hoofdprogramma:** Er werd geopteerd om de “effect-cause” methode te hanteren. Dit wil zeggen dat het uitgangspunt een opgelegde snelheidscyclus is waaruit de krachten, inwerkend op het voertuig, worden berekend.
- **Aandrijflijn:** Een performant iteratieproces, toepasbaar op elk type aandrijving werd ontwikkeld in functie van de modulariteit van het programma, mechanische en elektrische remming, acceleratiereducties en vermogenstrategieën. Indien een component een bepaald werkingspunt niet kan leveren wordt deze limiet herleid tot een snelheid-, een koppel- of vermogenbegrenzing.
- **Componenten:** Elke component van de drijflijn wordt gesimuleerd als een ‘black-box’. De databank bevat modellen voor wielen, differentiëlen, tandwielen, versnellingsbakken, planetaire tandwielen ontkoppelingen, verbrandingsmotoren, elektrische motoren, omvormers, batterijen, generatoren, supercapaciteiten, brandstofcellen, vliegwheels, inductieve laadsystemen,...

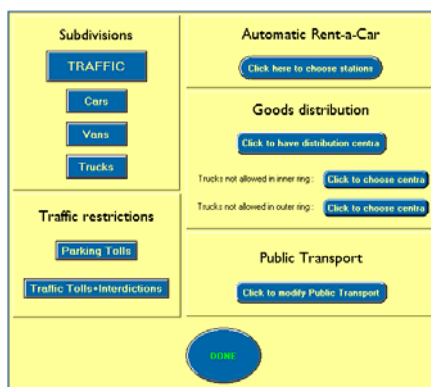
In de publicaties [11,12,13,14,15,16,17] in bijlage kan men verdere toelichtingen vinden van het voertuigsimulatieprogramma.

### Interface

Om beide programma’s te koppelen is er door de VUB een Interface ontwikkeld. Het simulatiewerktuig bestaat uit verschillende modules:

- **Scenario:** is geschreven in LabVIEW en zal, aan de hand van vooropgestelde scenario’s, oorsprong - bestemmingsmatrices genereren voor de verschillende types voertuigen. Tot op heden werden scenario’s geïmplementeerd in overeenstemming met de wensen van de huidige opdrachtgever (infrastructuurinbrengen, het voeren van een prijsbeleid, regelgevende maatregelen,...). Een voorbeeld van interface kan men vinden in Figuur 9. Deze scenario’s kunnen verder op een snelle en eenvoudige wijze worden uitgebreid.

**Figuur 9: Front panel SCENARIO zoals opgesteld voor het Brussels Hoofdstedelijk Gewest.**

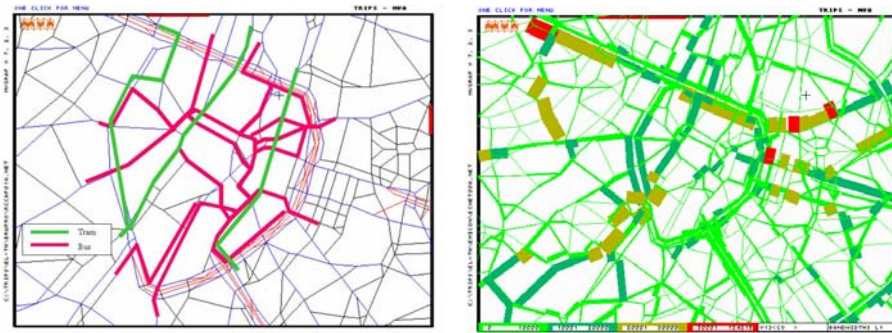


- **Netwerk:** module geschreven in TRIPS. Deze zal een verkeerssimulatie uitvoeren aan de hand van de oorsprong - bestemmingsmatrices en het netwerk. Als output worden enkele files gecreëerd die de verschillende paden, aangelegd door de voertuigen weergeven evenals de bezetting van de verschillende links in het bestudeerde gebied.
- **Conversie:** deze module (LabVIEW) verwerkt de netwerk- en padenfiles van TRIPS tot een hanteerbaar formaat voor TRIPSVSP, waarbij rekening wordt gehouden met het optimaliseren van de simulatieduur.
- **TRIPSVSP:** module geschreven in LabVIEW als interface tussen TRIPS en VSP. Het bevat enerzijds de submodule ‘Cyclusbouw’. Deze module vertaalt de outputgegevens van

TRIPS naar snelheidscyclussen, waarbij acceleraties en deceleraties in de cyclus worden ingebouwd, overeenstemmend met de lengte van de paden en gemiddelde snelheden bekomen uit TRIPS. Anderzijds bevat TRIPSVSP als submodule VSP, dat de verschillende type voertuigen over de opgebouwde snelheidscyclussen simuleert en dat als output de uitgestoten emissies en het energieverbruik (zowel globaal als per km) geeft.

Hieruit dienen snelheidsprofielen gedefinieerd te worden overeenstemmend met de te bestuderen verkeerstechnische maatregel. De snelheidsprofielen worden zo gedefinieerd dat de weglengte en rijduur behouden blijft, maar dat het voertuig volgens bepaalde instelbare acceleraties deze weg aflegt. Bovendien kan het rijgedrag van de bestuurder door de keuze van het profiel in rekening worden gebracht. Daarnaast heeft men ook de keuze om de ogenblikken dat de bestuurder naar een andere versnelling schakelt in te stellen.

- **Emicon:** deze laatste module (TRIPS) dient om een visuele weergave van de resultaten te kunnen opstellen, zoals geïllustreerd in Figuur 10.



**Figuur 10: voorstelling emissiewaarden in GIS-omgeving.**

Voor meer info wordt verwezen naar de programme en user manual die op de VUB verkrijgbaar zijn.

## **3 Keuze en Instrumentatie meetvoertuig**

### **3.1 *Selectie meetvoertuig voor opmeting Verkeerssituaties-snelheidscycli***

Teneinde de verschillende snelheidscycli op te meten op de baan werd een meetvoertuig geselecteerd, een Opel Vectra met een 1600cc benzinemotor van de nieuwste Euro 3 emissieklasse. Dit type voertuig werd reeds gebruikt bij het opmeten van snelheidscycli in het project 'Files en Emissies'. Het is een voertuig dat geklasseerd kan worden als 'normaal', te verstaan de gulden middenweg tussen krachtige voertuigen (bijzonder geschikt voor sportief rijgedrag op te meten) en te zwakke voertuigen waardoor de snelheidscycli niet genoeg dynamiek vertonen voor de later te testen zwaarder uitgeruste voertuigen. Bovendien geldt dit voertuig als zeer representatief voor de huidige en toekomstige generaties benzinevoertuigen, met een krachtige doch relatief kleine motor, met een lage trekkracht bij lage toerentallen, een elektronische gasklepbediening en zeer geavanceerde uitlaatgasbehandeling waardoor het voertuig al voldoet aan de Euro 4 emissie-eisen die pas vanaf 2005 verplicht zijn. Euro 4 zal echter gebruik maken van een nieuwe testcyclus. De huidige voertuigen die de absolute emissiewaarden van deze strengere norm reeds halen, weliswaar op de Euro 3 cyclus worden ook wel eens Euro3+ genaamd, om hun milieuvoordeel aan te duiden.

In het project 'Driving Style, Fuel Consumption and Tailpipe Emissions' zijn de snelheidscycli opgemeten met de verschillende voertuigen die getest werden in het onderzoek, teneinde de koppelkarakteristiek op te nemen in de verschillende cyclussen. Voor het opmeten van de verschillende verkeerssituaties is dit echter minder noodzakelijk. De verkeerssituaties hebben immers net als bedoeling een bepaald rijgedrag op te leggen, zij het weliswaar op lokaal niveau. De invloed van de verschillende voertuigen zou bijgevolg veel minder zichtbaar zijn als bij rijstijlenonderzoek.

### **3.2 *Selectie meetvoertuig voor opmeting Rijgedrag-snelheidscycli***

Om dezelfde redenen als vermeld in de vorige paragraaf zijn voor het opmeten van de rijgedrag-snelheidscycli dezelfde Opel Vectra 1.6 16V benzine en een Opel Vectra 2.0 Dti diesel gebruikt. Deze diesel is gekozen, naast het feit dat het algemeen veel voorkomend model is, vanwege zijn relatief hoge vermogen en toepassing van moderne technologie als turbo-oplading, 16-kleps technologie, elektronisch gestuurde directe injectie en een oxidatie katalysator teneinde aan de Euro 3 norm te kunnen voldoen.

### **3.3 *Instrumentatie***

Om data te vergaren wordt er gebruik gemaakt van een datalogger die de gegevens lokaal opslaat. De datalogger die gebruikt werd tijdens de metingen is een instrument dat reeds in andere projecten [1,5] zijn diensten heeft bewezen. De datalogger werd voor deze metingen geconfigureerd om snelheid, toerental van de motor en gasklepstand te registreren op een in de datalogger te plaatsen geheugenkaart. Via een seriële kabel kan men dan de gegevens transfereren voor verdere verwerking.

TNO heeft twee meetsystemen ter beschikking teneinde snelheidscycli op te meten.

Het eerste systeem telt de pulsen die komen van de ABS-sensor. Dit betekent dat men werkt met discrete signalen zodat de snelheidscycli getrapt zullen zijn in eerste instantie. Deze rimpels kunnen dan uiteraard alvorens ze te gebruiken op de rollenbank weggefilterd worden. TNO heeft hiermee reeds goede ervaring uit het verleden.

Een tweede keuze voor het opmeten van de verschillende snelheidscycli is het Datron-Correvit meetstelsel. Dit stelsel trekt echter meer de aandacht van de bestuurders in de omgeving van het meetvoertuig gezien het op het voertuigkoetswerk gemonteerd moet worden.

De uiteindelijke metingen gebeurden deels met beide systemen en deels met het ABS-systeem alleen. In de verdere verwerking werden echter enkel de metingen van het ABS-systeem weerhouden, gezien deze van een betere kwaliteit bleken te zijn.

### **3.4 Hoe komen tot een bruikbare cyclus**

#### **3.4.1 Opnemen van de data**

De data werden met behulp van het reeds eerder beschreven datalogstelsel aan een frequentie van 1 Hz geregistreerd. Naast de gegevens van de wagen zelf (snelheid, toerental, gasklepstand) werden er ook notities genomen die het verkeer en de verkeersinfrastructuur beschreven teneinde de bruikbare gedeeltes eruit te kunnen halen en de verdere verwerking en vergelijking van de verschillende situaties te vergemakkelijken.

#### **3.4.2 Verwerken van de data**

Ter bepaling van emissiefactoren van personenauto's past TNO op hoofdlijnen een wereldwijd toegepaste en geaccepteerde methode toe, waarbij eerst ritpatronen worden geregistreerd met een voertuig op de weg, waarna deze ritten, of delen daarvan, met meerdere voertuigen worden nagereden op een rollenbank, terwijl de emissies van de voertuigen worden gemeten. TNO heeft aan deze methode een aantal verfijningen aangebracht, waardoor het mogelijk wordt, met een beperkte testinspanning op de rollenbank, representatief te testen voor een grote hoeveelheid ritdata. Deze verfijningen worden aangebracht met behulp van een vorm van datacompressie met als doel de totale testduur op de rollenbank te beperken. De methodiek die hiervoor gebruikt is, is ontwikkeld door C.J.T. van de Weijer [18]. Deze methodiek bestaat uit het berekenen van representatieve parameters die de totale rit beschrijven, gevolgd door de berekening van deze parameters voor een gedeelte van de totale rit. Het gedeelte van de totale rit (minicyclus) dat het beste overeenkomt met de totale data wordt vervolgens statistisch bepaald met behulp van de Chi<sup>2</sup> methode. Op deze manier kan een minicyclus worden bepaald van een willekeurige lengte. Om representatieve resultaten uit de rollenbankmetingen te verkrijgen wordt in de praktijk een minimum lengte van 6 minuten aangehouden.

De parameters die worden gebruikt bij het karakteriseren van een rit staan in Tabel 6. Met name RPA heeft zich in eerdere onderzoeken bewezen als een belangrijke parameter bij het karakteriseren van een ritpatroon.

De aldus verkregen minicycli moeten vervolgens nog wel worden geëvalueerd op bruikbaarheid voor rollenbankmetingen. In de praktijk blijkt deze methode niet altijd een minicyclus te geven die naar de mening van experts een goede afspiegeling vormt van de totale data. Vandaar dat ervoor wordt gekozen om voor elk geval twee minicycli te bepalen: één waarbij de Chi<sup>2</sup> methode wordt toegepast op alle bovenstaande parameters, en één waarbij de Chi<sup>2</sup> methode wordt toegepast op de parameters die betrekking hebben tot snelheid en acceleratie. Dit geeft de onderzoeker de mogelijkheid om op basis van 'expert judgement' uit beide cycli de meest bruikbare te kiezen, waarbij in geval van gelijkwaardigheid de eerste minicyclus de voorkeur zal hebben. De constructie van een versnellings/acceleratie (V/A) matrix is hierbij een bruikbaar visueel hulpmiddel.

**Tabel 6: Karakteristieke parameters**

Nummer	Parameter	Eenheid	Opmerking
1	Aantal versnellingwisselingen	-	
2	Gemiddelde snelheid	m/s	Snelheid > 0 m/s
3	Gemiddeld motortoerental	Toeren per minuut	Snelheid > 0 m/s
4	Gemiddelde gaspedaalstand	%	Snelheid > 0 m/s
5	Gemiddeld toerental waarbij geschakeld wordt	Toeren per minuut	
6	Gemiddelde acceleratie	m/s <sup>2</sup>	
7	Gemiddelde deceleratie	m/s <sup>2</sup>	
8	RPA (relatieve positieve acceleratie)	m/s <sup>2</sup>	Maat voor de dynamiek van een ritpatroon: $\int_0^T (v_i * a_i^+) dt / x$
9	PKE (positieve kinetische energie)	m/s <sup>2</sup>	Acceleratie energie benodigd in een bepaald ritpatroon: $\sum (v_f^2 - v_s^2), dv/dt > 0 / x$
10	Rit duur	s	Duur van de gehele rit
11	Rit lengte	m	Lengte van de gehele rit
12	Percentage stop tijd	%	Percentage van de tijd dat $v \leq 0$
13	Gemiddelde duur van een stop	s	
14	Gemiddelde duur van een 'sequence'	s	'sequence' = tijd tussen twee stops
15	Maximale acceleratie	m/s <sup>2</sup>	
16	Maximale deceleratie	m/s <sup>2</sup>	
17	Percentage acceleratie	%	
18	Percentage deceleratie	%	
19	STD acceleratie vermogen	W	standaard deviatie
20	Aandrijf energie	kJ/km	Energie benodigd om het voertuig aan te drijven

## 4 Verkeerssituaties

Binnen deze paragraaf zullen de verschillende cycli geselecteerd worden die uiteindelijk zullen worden nagedren op de rollenbank.

### 4.1 Verkeersplateaus

De opmetingen ten behoeve van het ontwikkelen van de minicycli voor verkeersplateaus vonden plaats in Letterhoutem en Affligem. Het gaat hier om opeenvolgingen van 6 respectievelijk 7 plateaus die in beide richtingen zijn gereden.

Met behulp van de aanwijzingen van de testrijders is een reconstructie gemaakt van de Verkeersplateaucyclus Affligem en Letterhoutem. In Tabel 7 en Tabel 8 is een beschrijving gegeven van beide situaties.

Na consultatie van de heer J. Vandeputte (Administratie Wegen en Verkeer), verkeerskundige, werd besloten om een cyclus te ontwikkelen voor de situatie binnen de bebouwde kom. Te Letterhoutem lagen alle verkeersplateaus binnen de bebouwde kom, zodat hier slechts de demi tours, die buiten de bebouwde kom lagen, hoefden te worden verwijderd uit de data. Te Affligem lagen plateaus 1, 6 en 7 buiten de bebouwde kom, en deze zijn derhalve uit de data verwijderd.

In de onderstaande tabel staan de karakteristieke parameters van de totale data set en de twee best passende mini cycli van 360 seconden: één minicyclus die de totale data voor alle parameters het best representeert en één cyclus die de data het best representeert voor snelheid en acceleratie.

**Tabel 7: Beschrijving traject te Affligem**

plateau nr.	binnen (BI) of buiten (BU) bebouwde kom	Opmerking
1	BU	200m voorhet binnenrijden bebouwde kom
2	BI	Kruispunt
		Tussen 2 en 3 nog een kruispunt zonder verkeersplateau
3	BI	Kruispunt
		Tussen 3 en 4 nog een kruispunt zonder verkeersplateau
4	BI	Kruispunt
5	BI	Kruispunt; 200 m hierna eindigt de bebouwde kom
		Tussen 5 en 6 nog een kruispunt zonder verkeersplateau
6	BU	Snelheidsremmer
7	BU	Snelheidsremmer

**Tabel 8: Beschrijving traject te Letterhoutem-Vlierzele**

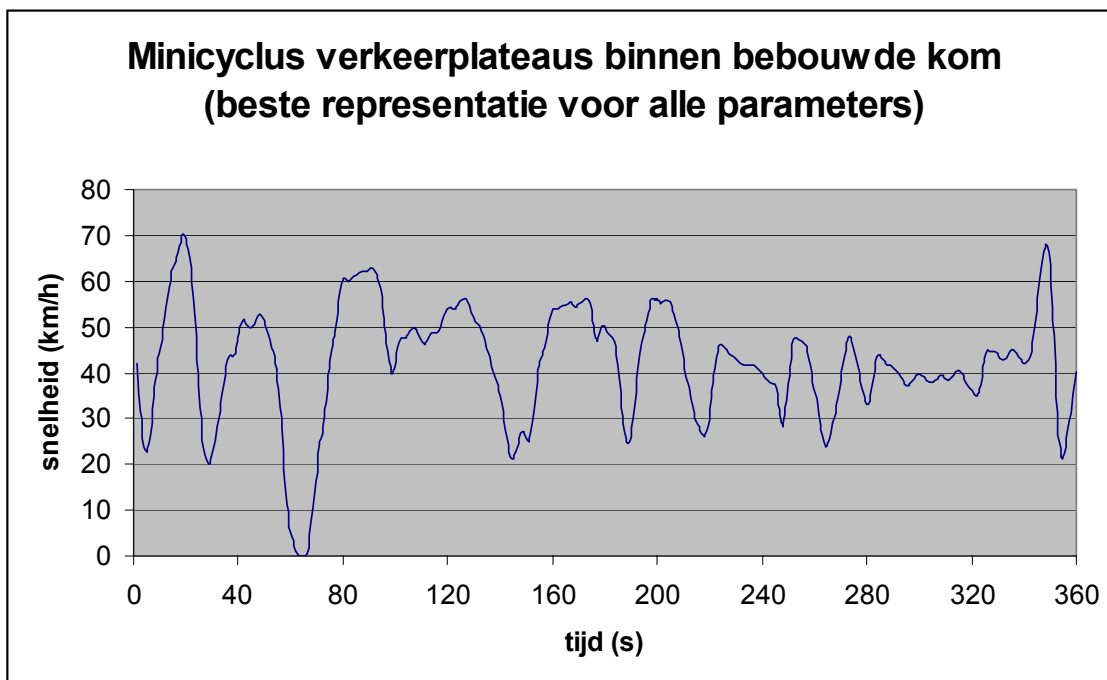
plateau nr.	binnen (BI) of buiten (BU) bebouwde kom	Opmerking
1	BI	Bij het binnenrijden bebouwde kom
2	BI	oversteekplaats voor voetgangers nabij basisschool
		Uitrijden bebouwde kom Vlierzele
3	BU	Kruispunt
		Tussen 3 en 4 nog een kruispunt zonder verkeersplateau
4		kruispunt, binnenrijden bebouwde kom Letterhoutem
5		Snelheidsremmer
		Tussen 5 en 6 nog een kruispunt zonder verkeersplateau (zeer klein wegje)
6		Snelheidsremmer
7		Kruispunt
		Uitrijden bebouwde kom

Tabel 9: Karakteristieke parameters voor de verkeersplateaus

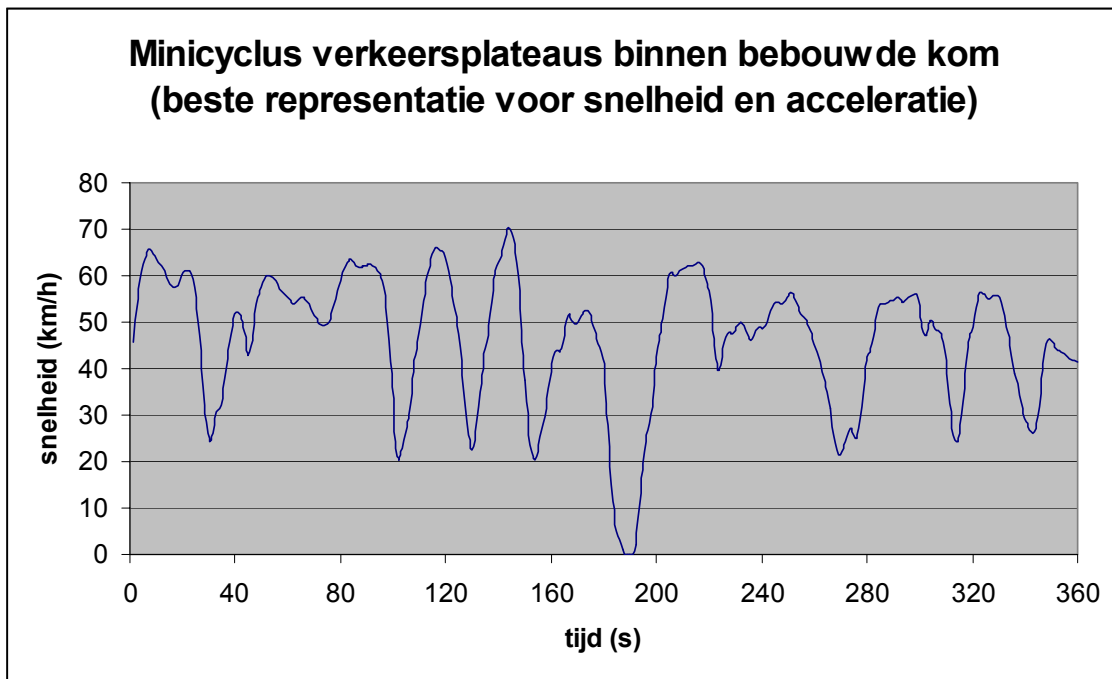
	General window	Minicyclus 1 Beset representatie (alle parameters)	Minicyclus 2 Beste representatie voor snelheid en acceleratie
no.of gearshifts	468	32	41
v_gem [km/h]	46.7	42.5	46.9
n_gem [rpm]	2051	1985	1986
throttle_gem [%]	16.3	16.3	16.3
Shiftrpm_gem [rpm]	1871	1998	1955
av.acceleration [m/s <sup>2</sup> ]	0.58	0.57	0.58
av.deceleration [m/s <sup>2</sup> ]	-0.59	-0.57	-0.60
RPA [m/s <sup>2</sup> ]	0.27	0.27	0.27
PKE [m/s <sup>2</sup> ]	0.55	0.56	0.55
Cycletime [sec]	4738	360	360
Cycledistance [m]	61414	4216	4648
per.stop time [%]	0.0	0.3	0.3
av.dur.stop [sec]	1	1	1
av.dur.seq [sec]	1026	293	168
StdDev speed [m/s]	13.53	12.73	14.24
max.acceleration[m/s <sup>2</sup> ]	2.04	1.92	1.73
max.deceleration[m/s <sup>2</sup> ]	-3.56	-3.56	-2.74
per.accelerating [%]	50.8	49.4	50.8
per.decelerating [%]	49.1	50.3	49.2
StdDev accpower[m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> ]	9.27	9.19	9.38
Propulsion energy (kj/km)	540	534	542

Volgende figuren geven beide minicycli grafisch weer.

Figuur 11: Minicycli verkeersplateaus







Beide minicycli overlappen elkaar gedeeltelijk. Vanwege het feit dat de laatste circa 80 seconden van de eerste cyclus een vrij constant patroon laten zien, gaat hier de voorkeur uit naar de tweede cyclus die vrijwel over de gehele lengte een duidelijk repeteerbaar patroon van verkeersplateaus laat zien.

## 4.2 Referentie voor verkeersplateaus

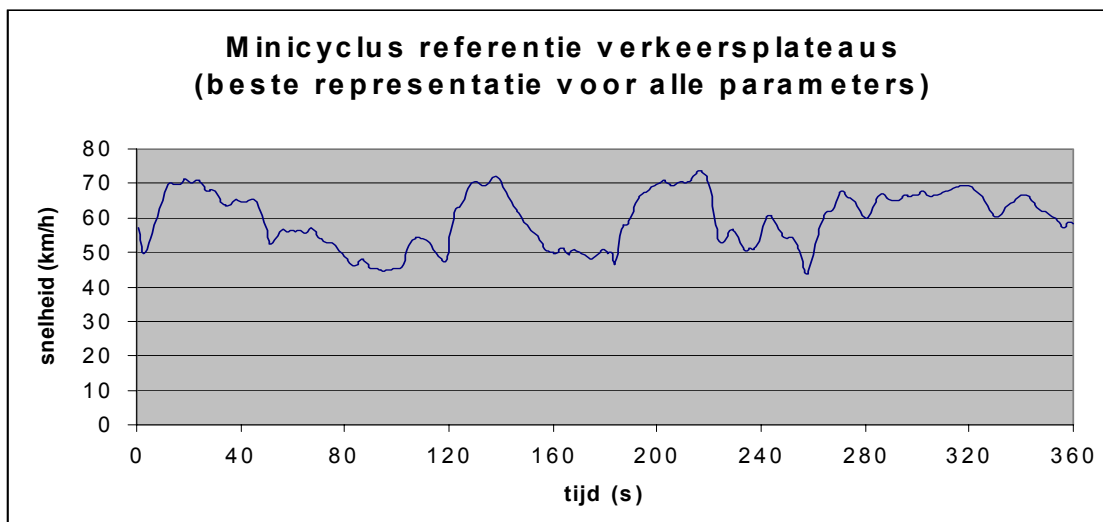
Verkeersplateaus worden toegepast als snelheidsremmende maatregel in een hoofdroute door de bebouwde kom. Gezien er niet direct een afdoende referentie binnen het bereikt ligt; werd er een artificiële minicyclus worden geconstrueerd als referentie voor de verkeersplateaus. Deze referenticyclus, die als vergelijking moet dienen voor de Verkeersplateaucyclus te Affligem, geeft aan dat het rijgedrag van een bestuurder indien deze op het zelfde traject geen verkeersplateaus zou zijn tegengekomen, vrijwel ongewijzigd blijft. De bestuurder zal zijn snelheid slechts matig reduceren. Gezien de moeilijkheid om een vergelijkbaar traject in de praktijk te vinden, is er voor gekozen om deze cyclus uit de opmetingen samen te stellen. Van alle voorhanden praktijkdata zijn op aanwijzing van de verkeerskundigen ongehinderde stukken met snelheden tussen 45 en 70 km/h geïsoleerd, vanwege de veronderstelling dit er binnen de bebouwde kom waar een snelheidslimiet geldt van 50 km/h, zonder verkeersremmende maatregelen veelvuldig te hard zal worden gereden (tot 70 km/h). Als ondergrens van de te isoleren stukken werd een lengte van 60 seconden gehanteerd, die vervolgens aan elkaar werden geconstrueerd.

De berekening van beide minicycli gaf, op drie seconden na, vrijwel het gelijke ritgedeelte voor zowel alle parameters als voor snelheid en acceleratie, zodat de keuze zeer eenvoudig werd. De onderstaande tabel geeft de parameters aan voor beide cycli alsook voor de volledige cyclus.

**Tabel 10: Karakteristieke parameters voor referenticyclus verkeersplateaus**

	General window	Minicyclus 1 Beset representatie (alle parameters)	Minicyclus 2 Beste representatie voor snelheid en acceleratie
no.of gearshifts	235	14	13
v_gem [km/h]	60.2	59.8	59.8
n_gem [rpm]	1997	1899	1899
throttle_gem [%]	13.8	13.2	12.9
Shiftrpm_gem [rpm]	2073	2013	2051
av.acceleration [m/s <sup>2</sup> ]	0.25	0.24	0.25
av.deceleration [m/s <sup>2</sup> ]	-0.24	-0.24	-0.23
RPA [m/s <sup>2</sup> ]	0.12	0.12	0.12
PKE [m/s <sup>2</sup> ]	0.25	0.25	0.25
Cycletime [sec]	6683	360	360
Cycledistance [m]	111683	5977	5979
per.stop time [%]	0.0	0.0	0.0
av.dur.stop [sec]	0	0	0
av.dur.seq [sec]	0	0	0
StdDev speed [m/s]	7.32	7.98	7.96
max.acceleration[m/s <sup>2</sup> ]	1.46	1.13	1.13
max.deceleration[m/s <sup>2</sup> ]	-2.19	-2.07	-1.44
per.accelerating [%]	49.1	49.2	48.9
per.decelerating [%]	50.6	50.6	50.8
StdDev accpower[m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> ]	5.40	5.66	5.40
Propulsion energy (kj/km)	348	347	347

De volgende figuur geeft het patroon weer van de beste representatie voor alle parameters.

**Figuur 12: Verkeersplateau-referenticyclus**

### 4.3 Zone 30 te Mechelen

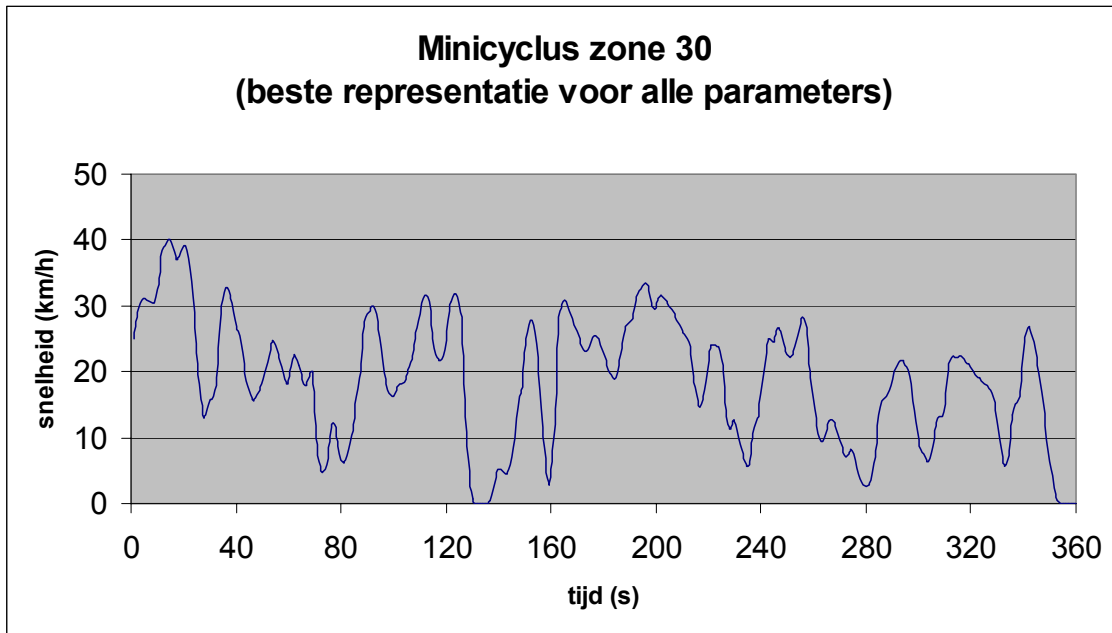
De metingen konden vrijwel in hun geheel verwerkt worden. Voor de zone 30 werd de minicyclus representatief voor alle parameters weerhouden, mede door de sterke acceleratie op het einde van de tweede cyclus, terwijl de eerste eindigt bij een stop. Overigens bleken beide cycli slechts op een kleine verschuiving van 16 seconden na met elkaar overeen te stemmen.

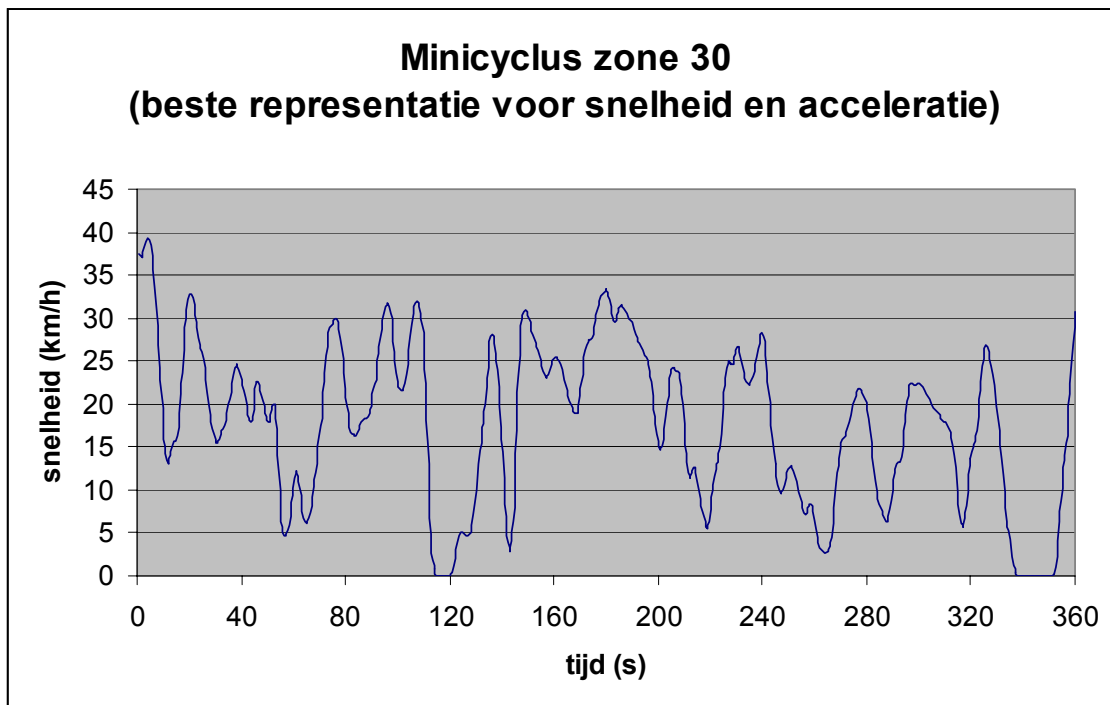
**Tabel 11: Karakteristieke parameters voor zone 30**

	General window	Minicyclus 1 Beset representatie (alle parameters)	Minicyclus 2 Beste representatie voor snelheid en acceleratie
no.of gearshifts	460	34	34
v_gem [km/h]	18.5	19.7	18.9
n_gem [rpm]	1467	1440	1407
throttle_gem [%]	9.3	9.2	9.4
Shiftrpm_gem [rpm]	1442	1440	1420
av.acceleration [m/s <sup>2</sup> ]	0.48	0.45	0.47
av.deceleration [m/s <sup>2</sup> ]	-0.46	-0.47	-0.48
RPA [m/s <sup>2</sup> ]	0.23	0.22	0.23
PKE [m/s <sup>2</sup> ]	0.47	0.44	0.47
Cycletime [sec]	6085	360	360
Cycledistance [m]	29862	1895	1784
per.stop time [%]	3.5	2.5	4.7
av.dur.stop [sec]	4.7	4.5	8.5
av.dur.seq [sec]	120	216	111.5
StdDev speed [m/s]	9.99	9.48	9.41
max.acceleration[m/s <sup>2</sup> ]	2.42	2.42	2.42
max.deceleration[m/s <sup>2</sup> ]	-2.75	-2.36	-2.36
per.accelerating [%]	47.7	47.8	47.5
per.decelerating [%]	49.2	49.7	48.3
StdDev accpower[m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> ]	3.20	3.27	3.27
Propulsion energy (kj/km)	460	437	451

De karakteristieke parameters voor beide cycli zijn vermeld in Tabel 11.

Volgende figuren geven beide minicycli grafisch weer.

**Figuur 13: Minicycli zone 30**



Toevalligerwijs betreft het hier vrijwel exact dezelfde cycli (verschil van 16 seconden). Het geselecteerde stuk is dus blijkbaar de representatie voor zowel alle parameters als snelheid en acceleratie. Vanwege het feit dat de eerste minicyclus eindigt met een stop, heeft deze de voorkeur.

#### **4.4 Referentiemeting zone 30 te Aalst**

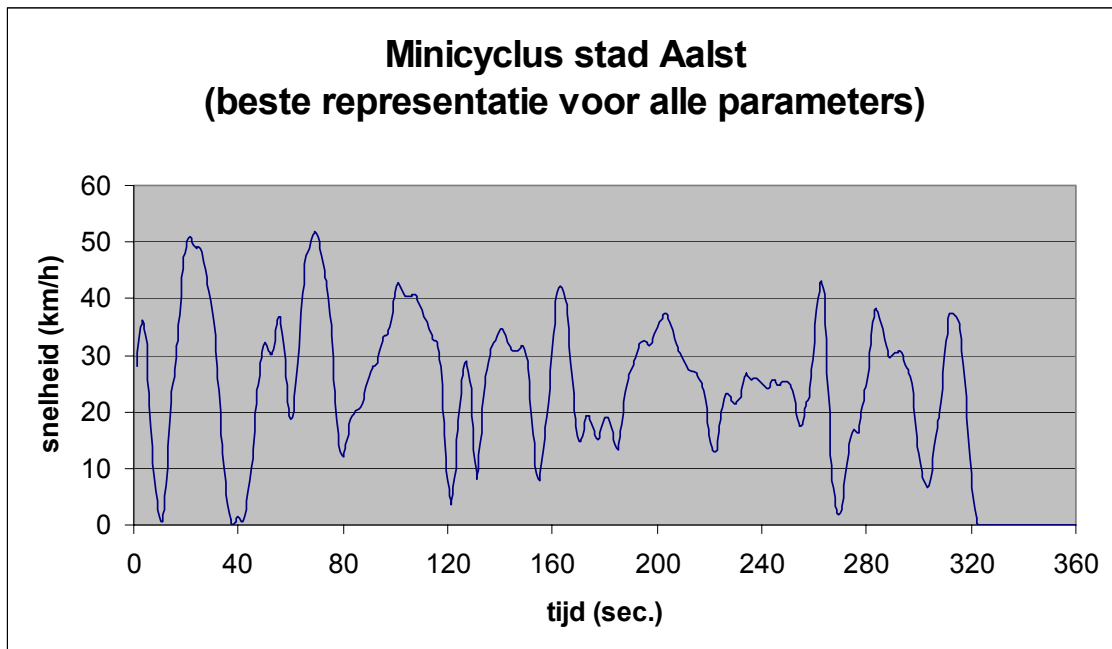
De metingen te Aalst moeten dienst doen als referentie voor de zone 30 opgemeten te Mechelen. In eerste instantie werd er ook gedacht deze te gebruiken als referentiebasis voor de verkeersplateaus, maar op basis van de berekeningen die TNO uitvoerde, blijkt dit geen goede oplossing (zie §4.2) te zijn. De twee situaties, verkeersplateaus en stadse omgeving zijn te verschillend wat verkeersdoorstroming en verkeersintensiteit betreft. De referentiemeting zelf kon eveneens in zijn volledige vorm, zelf zonder bepaalde stukjes er tussenuit te moeten knippen gebruikt worden. De vergelijking van de twee geproduceerde minicycli leert ons dat deze die de beste representatie geeft voor alle parameters de beste keuze is.

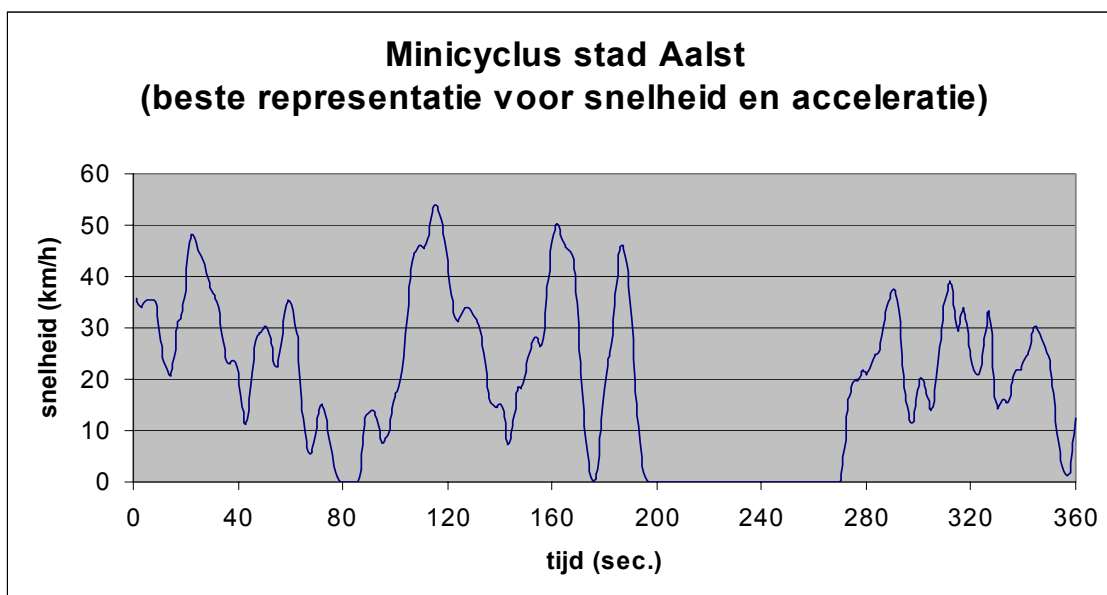
Opnieuw kan men in de onderstaande tabel de karakteristieke parameters van de aldus geconstrueerde totale data set en de twee best passende minicycli van 360 seconden vinden.

**Tabel 12: Karakteristieke parameters voor de stadsverkeer**

	General window	Minicyclus 1 Beset representatie (alle parameters)	Minicyclus 2 Beste representatie voor snelheid en acceleratie
no.of gearshifts	827	27	29
v_gem [km/h]	25.4	25.8	25.2
n_gem [rpm]	1743	1821	1659
throttle_gem [%]	11.8	12.3	11.6
Shiftrpm_gem [rpm]	1595	1682	1655
av.acceleration [m/s <sup>2</sup> ]	0.65	0.68	0.65
av.deceleration [m/s <sup>2</sup> ]	-0.67	-0.69	-0.70
RPA [m/s <sup>2</sup> ]	0.32	0.31	0.32
PKE [m/s <sup>2</sup> ]	0.66	0.64	0.66
Cycletime [sec]	10007	360	360
Cycledistance [m]	61363	2303	1947
per.stop time [%]	12.2	9.7	21.9
av.dur.stop [sec]	17.7	17.5	26.3
av.dur.seq [sec]	125	284	65
StdDev speed [m/s]	14.18	13.54	15.30
max.acceleration[m/s <sup>2</sup> ]	2.67	2.02	1.81
max.deceleration[m/s <sup>2</sup> ]	-3.38	-3.15	-2.44
per.accelerating [%]	44.9	43.9	39.4
per.decelerating [%]	43.3	46.1	39.2
StdDev accpower[m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> ]	5.69	6.05	5.56
Propulsion energy (kj/km)	605	598	602

Volgende figuren geven beide minicycli grafisch weer.

**Figuur 14: Minicycli stadsverkeer**



In het tweede geval is het percentage stop trouwens veel groter dan het gemiddelde.

## 4.5 Groene Golf te Brugge

De Groene Golf cyclus is modulair opgebouwd uit een basiscyclus en een aanvullende cyclus teneinde een bruikbare cyclus op de rollenbank te verkrijgen. Deze laatste kan naargelang de gewenste lengte van de groene golf worden herhaald. Er is dus een grote flexibiliteit in de toepasbaarheid van de Groene Golf cyclus.

De ritparameters en emissiefactoren van deze samengestelde cyclus kunnen worden vergeleken met die van een even lange weg zonder groene golf, bijvoorbeeld een weg voorzien van een repeterend stoplichtenpatroon, of waarvan de kruispunten worden voorzien van rotondes. Zo kan worden vergeleken welke verkeersmaatregel voor een bepaald traject de grootste reductie in emissies zal opleveren. (Wellicht zal er ook een verschil waar te nemen zijn welke verkeersmaatregel het meest gunstige effect heeft op welke emissiecomponent.)

### 4.5.1 Samenstelling van de Groene Golf Brugge cyclus.

Tijdens het opnemen van praktijkritten zijn verschillende stukjes groene golf opgenomen in de regio Brugge. Veel van deze stukjes betreffen groene golf trajecten die herhaaldelijk zijn gereden. Over het algemeen werd er weinig verkeershinder ondervonden zodat het typische groene golf rijden dat is gevonden toegeschreven kan worden aan de verkeersmaatregel groene golf, ongehinderd door een eventueel capaciteitsprobleem van de route.

#### a) Typering van het groene golf rijden

Uit de opgenomen ritten blijkt dat zich tijdens het groene golf rijden een kenmerkend patroon voordoet: zodra men in een groene golf terecht komt, begint men met het vertragen voor het eerste stoplicht, dat óf op groen springt waarbij een acceleratie van 10 a 30 km/h plaatsvindt naar de toegestane snelheid (in dit geval 70 km/h), óf er dient te worden gestopt (gemiddeld 6.4 seconden). Vervolgens kan de groene golf probleemloos worden afgewerkt waarbij lichte acceleraties en deceleraties optreden. Deze acceleraties en deceleraties ontstaan door het meestromen in het verkeer en het anticiperen op een aankomend stoplicht.

## **b) File in de groene golf**

Tijdens het opnemen van de ritten heeft zich nauwelijks een verzadigde verkeerssituatie voorgedaan (in slechts één deelperiode trad een lichte filevorming op). Aangezien de doelstelling is om het effect op de emissies van verschillende verkeersmaatregelen te vergelijken, zijn bij het ontwikkelen van een geschikte cyclus geen stukken met file opgenomen. File is namelijk het effect van een onvoldoende capaciteit van het beschouwde traject. Indien file zou worden opgenomen bij het ontwikkelen van een cyclus voor de groene golf, worden eventueel hogere emissiefactoren ten onrechte toegeschreven aan de verkeersmaatregel groene golf. Ter illustratie kan worden bedacht dat een 2-baans weg met een groene golf kan worden uitgebreid naar 3-baans weg met groene golf, om doorstroming te bevorderen. Het groene golf rijden zal dan weer het typische rijgedrag veroorzaken.

## **c) De basiscyclus**

De stukjes groene golf die zijn gedestilleerd uit de totaal opgenomen rit zijn relatief kort: gemiddeld 158 seconden. De individuele stukjes groene golf kunnen aaneengesloten worden zodat er een lange cyclus wordt verkregen. Hierbij worden kop- en staartstukjes licht gewijzigd om een vloeiend geheel te verkrijgen, wat 'rijdbaar' zou zijn voor het gebruikte testvoertuig.

Twee volgorden van de deelperioden zijn tevens onderzocht (zie Figuur 15 pag.33). Hiervan zijn de ritparameters opgenomen in Tabel 13(pag.32).

Op de aaneengesloten cyclus is gezocht naar een cyclus van 150 seconden ( $\pm$  de gemiddelde deelperiode-tijd). Een langere cyclustijd is geen optie omdat er dan meerdere stops en/of sterke deceleraties zullen voorkomen. Gezien de typering van het groene golf rijden lijkt dit niet realistisch.

Het gekozen gedeelte bevat een stop, die aangeeft dat ofwel bij het binnenrijden ofwel bij het buitenrijden van een groene golf men geregeld een stop of quasi stilstand te verwerken heeft.

## **d) De aanvullende cyclus**

De aanvullende cyclus is het cyclusedeelte nadat men een aantal verkeerslichten is gepasseerd. Houdt men zich aan de voorgeschreven snelheid dan zal men een licht dynamische rit rijden, voornamelijk veroorzaakt door het anticiperende rijgedrag van de bestuurder op de verkeerslichten die worden genaderd. Dit kan in principe tot in het oneindige worden voortgezet.

Voor het aanvullende gedeelte van de groene golf Brugge cyclus is een stuk rit gekozen waarvan de ritparameters een goede representatie vormen voor het gemiddelde van het rijden in een groene golf waarin het verkeer min of meer ongehinderd doorstroomt. Er is niet gekozen voor de gebruikelijke methode, daar de kunstmatige overgangen die worden gecreëerd bij het aaneenschakelen van de losse units een relatief grote dynamiek zouden introduceren ten opzichte van de gemiddelde dynamiek. Mocht het venster dat wordt gekozen een dergelijk kunstmatig stukje rit bevatten met een relatief grote acceleratie, dan kunnen juist hier relatief grote emissies optreden.

### **4.5.2 Groene golf minicyclus**

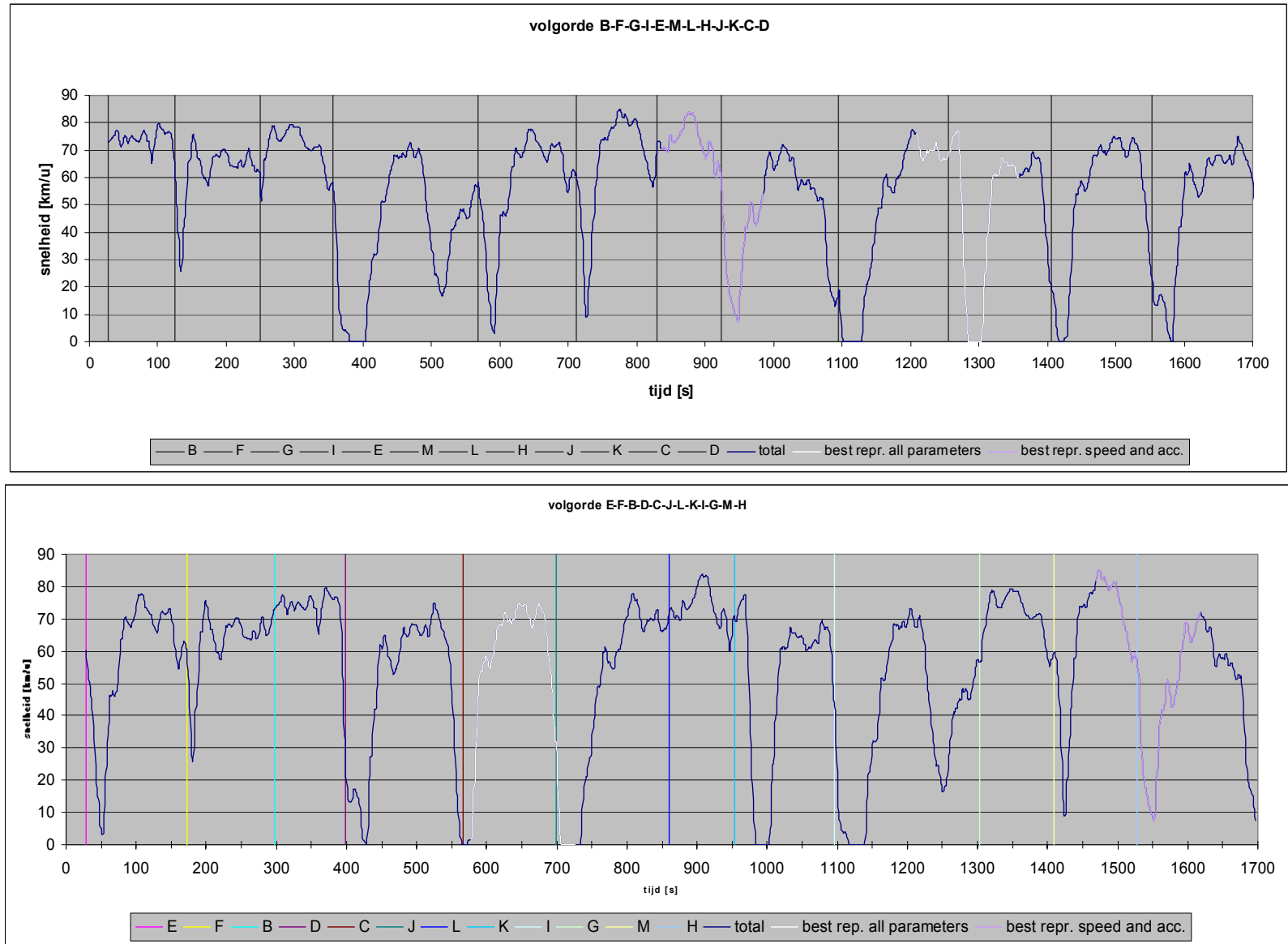
#### **a) Minicyclus met verlenging**

Figuur 16 laat de groene golf cyclus zien zoals deze is samengesteld. In deze figuur zijn tevens de tijdstippen waarop verkeerslichten gepasseerd worden aangegeven. De basiscyclus bevat 4 verkeerslichten, waarvan de derde op rood staat. Het basisedeelte is 2172 m lang. Het aanvullende gedeelte is 1811 m lang, en bestaat uit 3 stoplichten, die steeds op groen staan. Door de flexibiliteit van de groene golf cyclus kunnen de ritparameters worden bepaald als functie van de lengte van de groene golf. In Figuur 17 is dit weergegeven voor de gemiddelde snelheid en de RPA. Het is eveneens mogelijk om op een zelfde wijze (relatieve) emissiefactoren als functie van de lengte van de groene golf.

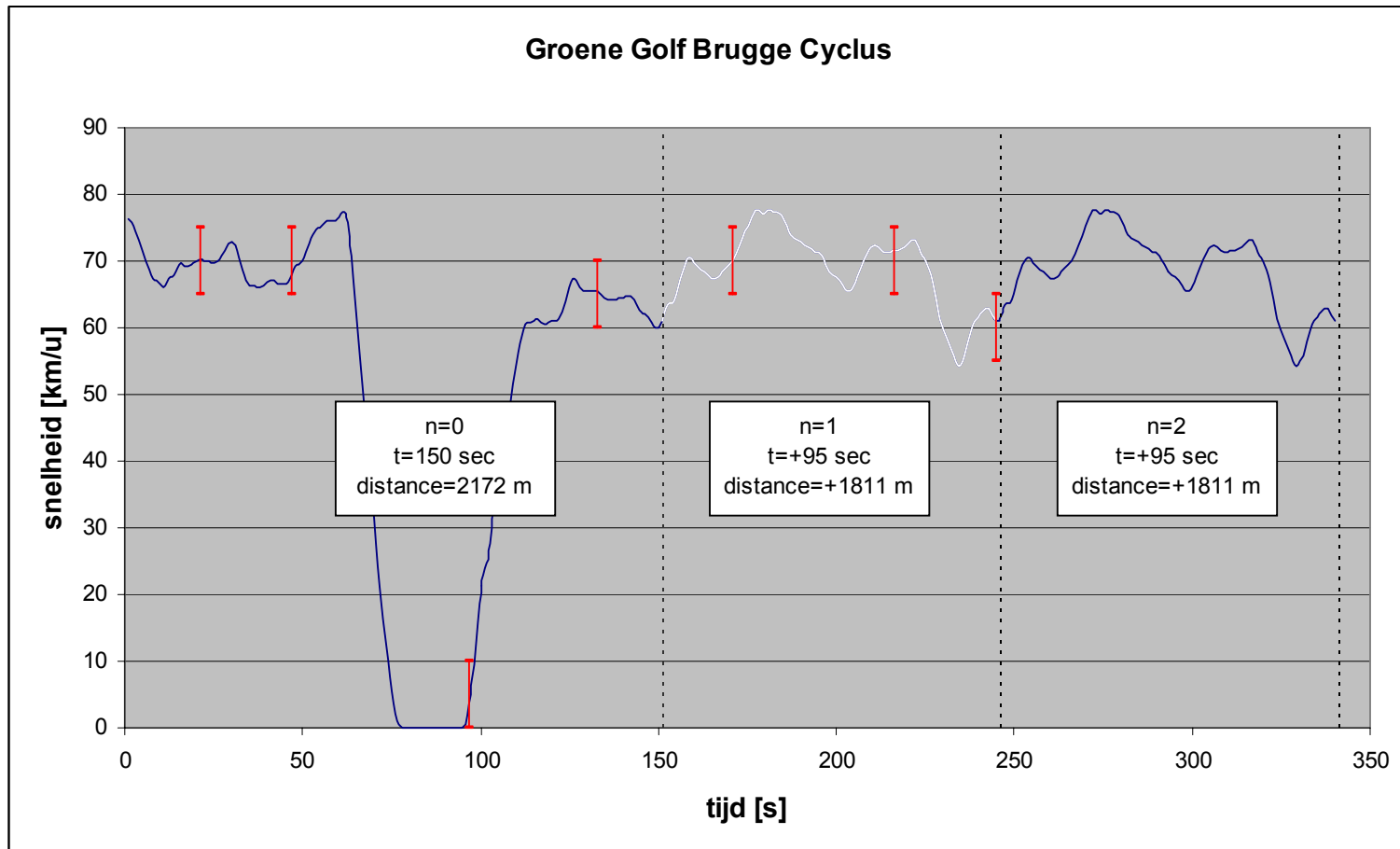
**Tabel 13: ritparameters van gehele cycli en minicycli voor twee volgordes**

	Volgorde 1			Volgorde 2		
	general	best repr. all parameters	best repr. speed and acc.	general	best repr. all parameters	best repr. speed and acc.
no.of gearshifts	103	9	12	112	8	12
v_gem [km/h]	57.23633	57.94991	55.74654	56.65942	59.24057	56.98186
n_gem [rpm]	1955.252	1870.197	1966.094	1944.409	1929.306	1918.102
throttle_gem [%]	13.01344	13.28487	11.32378	12.85246	13.07409	14.26546
shiftrpm_gem [rpm]	1676.948	1493.697	1806.943	1627.351	1690	1783.055
av.acceleration [m/s2]	0.329067	0.363	0.346916	0.333328	0.336134	0.342716
av.deceleration [m/s2]	-0.34595	-0.39257	-0.3439	-0.34348	-0.47576	-0.3443
RPA [m/s2]	0.136173	0.142057	0.136227	0.135558	0.129911	0.130079
PKE [m/s2]	0.280845	0.290798	0.277071	0.280294	0.269451	0.276624
Cycletime [sec]	1667	150	150	1702	150	150
Cycledistance [m]	25327.11	2092.662	2322.773	25433.81	2172.154	2374.244
per.stop time [%]	4.139172	11.33333	0	4.641598	11.33333	0
av.dur.stop [sec]	17.25	17	0	15.8	17	0
av.dur.seq [sec]	263.25	0	0	315.5	53	0
StdDev speed [m/s]	23.17209	26.92798	22.19248	23.71197	25.9317	22.53369
max.acceleration[m/s2]	1.914814	1.646026	1.44446	1.914814	1.699783	1.44446
max.deceleration[m/s2]	-2.14247	-1.78468	-1.47797	-1.88789	-1.88789	-1.47797
per.accelerating [%]	47.87043	45.33334	47.33333	46.53349	48	46
per.decelerating [%]	47.87043	42.66667	52.66666	48.64865	40	54
StdDev accpower[m2/s3]	5.964324	5.509463	5.740658	5.895291	7.271362	6.063579
Energy propulsion (kj/km)	388.1868	397.7424	368.4066	385.211	395.505	363.045

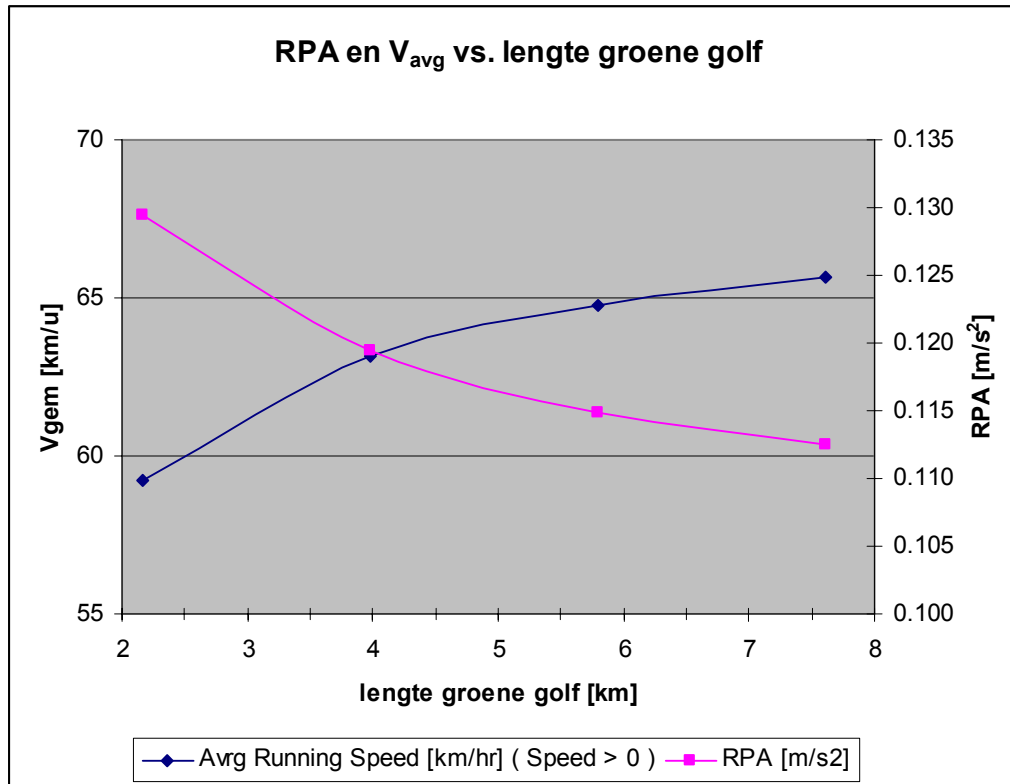




**Figuur 15: Opgenomen ritdata groene golf in twee verschillende volgordes**



Figuur 16: Groene Golf Brugge cyclus voor n=2



**Figuur 17: Effect van lengte Groene Golf Cyclus op RPA en gemiddelde snelheid (alléén  $V > 0$ )**

#### b) Minicyclus zonder verlenging

Een andere mogelijkheid is de basiscyclus te behouden en deze te herhalen. In dat geval simuleert men een traject van verschillende Groene Golven na elkaar. Deze tweede situatie is realistischer, daar in het eerste geval de zijstraten een te lange periode rood zullen krijgen. Hierdoor, indien de Groene Golf lang kan zijn, wordt er eerder geopteerd om een aaneenschakeling van Groene Golven te doen in plaats van één enkele lange Groene Golf. De voorgestelde methodiek die een cyclus met verschillende stops oplevert, geeft op passende wijze de opeenvolging van groene golven met verschillende fasering aan. Uiteindelijk is op aanraden van een verkeerskundige, deze laatste methodiek weerhouden.

## 4.6 Verkeerslichten

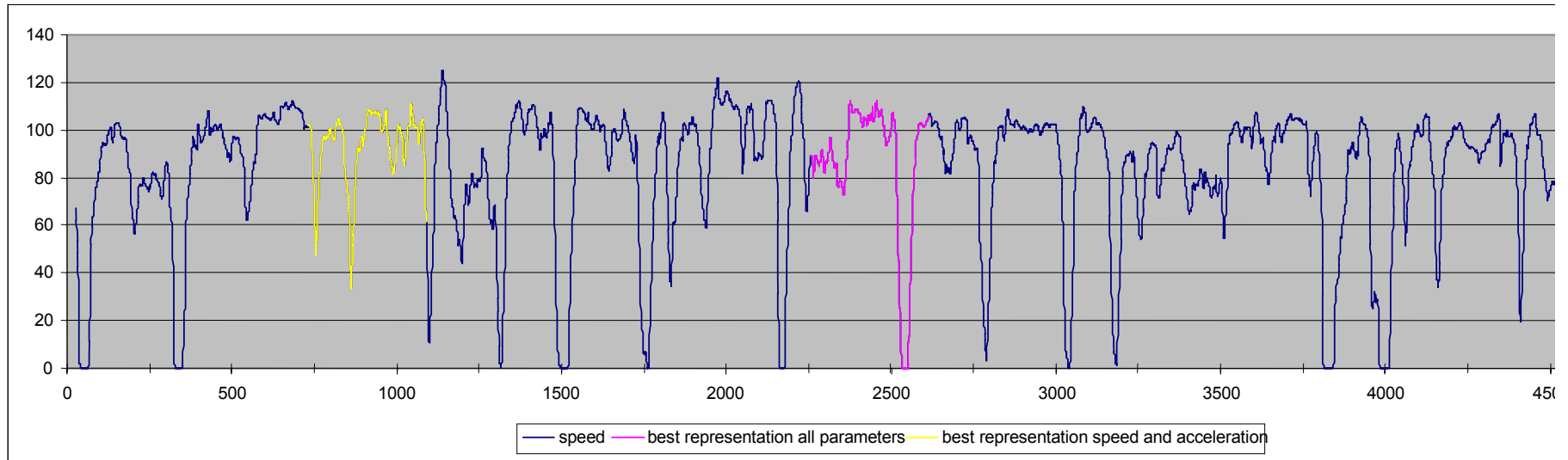
De referenticyclus EKE voor groene golf en rotondes is samengesteld uit de praktijkdata die zijn opgemeten te Eke. In eerste instantie waren deze bedoeld om een rotondecyclus te ontwikkelen, echter na inspectie bleek al snel dat deze data beter dienst kunnen doen als referenticyclus. Het betreft namelijk data waarin om de 10 minuten 2 rotondes worden gepasseerd. Hiertussen bevindt zich een weg met stoplichten die niet op elkaar zijn afgestemd.

De rotondes en de omkeringen zijn uit de data geknipt, en de overige stukken zijn vloeiend aan elkaar vast gemaakt zonder noemenswaardige dynamiek te introduceren. Van de zo verkregen rit is het venster voor beste representatie van alle parameters, alsmede beste representatie voor snelheid en acceleratie bepaald.

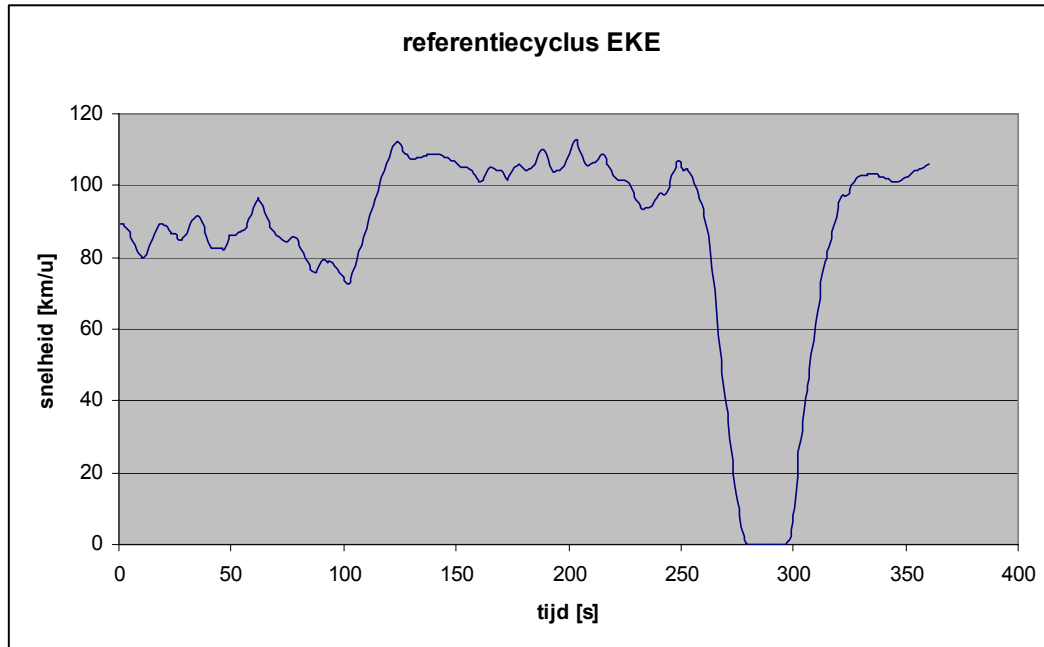
Uiteindelijk is gekozen voor het venster van beste representatie voor alle parameters. Dit omdat hier een stop in voorkomt, wat een wezenlijk onderdeel lijkt van de totale cyclus. Onderstaande tabel geeft een aantal ritparameters voor de hele rit en voor de afzonderlijke minicycli.

**Tabel 14: Karakteristieke parameters voor de verkeerslichten**

	General window	Minicyclus 1 Beste representatie (alle parameters)	Minicyclus 2 Beste representatie voor snelheid en acceleratie
no.of gearshifts	174	13	18
v_gem [km/h]	86.11107	90.43067	92.73711
n_gem [rpm]	2470.083	2556.354	2603.627
throttle_gem [%]	23.0633	26.83325	20.14382
Shiftrpm_gem [rpm]	1945.929	1967.308	2229.74
av.acceleration [m/s <sup>2</sup> ]	0.363199	0.350541	0.355581
av.deceleration [m/s <sup>2</sup> ]	-0.37425	-0.3429	-0.37302
RPA [m/s <sup>2</sup> ]	0.150289	0.149055	0.148113
PKE [m/s <sup>2</sup> ]	0.308302	0.307514	0.303026
Cycletime [sec]	4791	360	360
Cycledistance [m]	110868	8616.034	9273.711
per.stop time [%]	3.026508	4.444445	0
av.dur.stop [sec]	16.11111	16	0
av.dur.seq [sec]	512.3333	62	0
StdDev speed [m/s]	28.08111	28.79363	16.16911
max.acceleration[m/s <sup>2</sup> ]	2.784892	2.3347	1.454583
max.deceleration[m/s <sup>2</sup> ]	-3.15434	-1.87652	-2.21043
per.accelerating [%]	49.25903	48.88889	46.66667
per.decelerating [%]	47.63097	46.11111	53.33334
StdDev accpower[m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> ]	9.809336	9.318362	11.31155
Propulsion energy (kj/km)	506.0017	513.8202	495.9366



**Figuur 18: Cyclus Verkeerslichten**



**Figuur 19: Minicyclus verkeerslichten**

## 4.7 Rotondes

De rotondemetingen hebben zich op verschillende plaatsen voltrokken (zie Hoofdstuk 2 van het eindverslag).

### 4.7.1 Metingen te Geel

Te Geel bevinden zich vier rotondes op de ringweg. In de meetdata worden deze rotondes opgevolgd door een demi tour, zodat voorafgaand aan de berekening van de minicycli deze uit de data verwijderd zijn en de verschillende stukjes aan elkaar geplakt zonder extra veel dynamiek te introduceren.

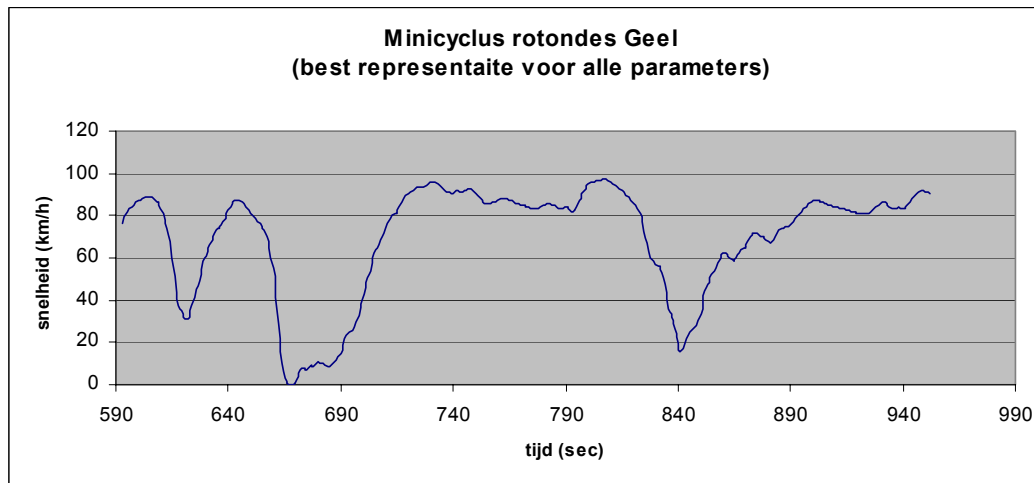
In de onderstaande tabel staan de karakteristieke parameters van de totale data set en de twee best passende minicycli van 360 seconden: één minicyclus die de totale data voor alle parameters het best representeert en één cyclus die de data het best representeert voor snelheid en acceleratie.

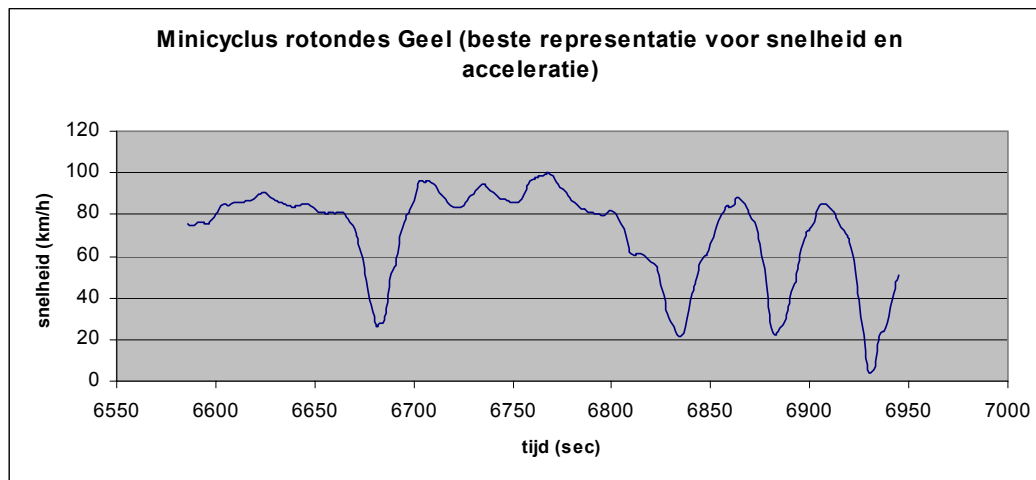
Tabel 15: Parameters rotondes Geel

	General window	Minicyclus 1 Beset representatie (alle parameters)	Minicyclus 2 Beste representatie voor snelheid en acceleratie
no.of gearshifts	466	18	23
v_gem [km/h]	69.8	70.0	71.1
n_gem [rpm]	2233	2161	2255
throttle_gem [%]	17.9	17.9	16.8
Shiftrpm_gem [rpm]	1966	1947	2081
av.acceleration [m/s <sup>2</sup> ]	0.47	0.40	0.49
av.deceleration [m/s <sup>2</sup> ]	-0.44	-0.46	-0.46
RPA [m/s <sup>2</sup> ]	0.18	0.18	0.18
PKE [m/s <sup>2</sup> ]	0.37	0.37	0.37
Cycletime [sec]	6977	360	360
Cycledistance [m]	134215	6937	7106
per.stop time [%]	0.5	0.6	0.0
av.dur.stop [sec]	3.8	2	0
av.dur.seq [sec]	628	281	0
StdDev speed [m/s]	26.98	26.05	22.51
max.acceleration[m/s <sup>2</sup> ]	2.23	1.46	1.88
max.deceleration[m/s <sup>2</sup> ]	-3.54	-3.54	-2.33
per.accelerating [%]	48.0	54.7	46.9
per.decelerating [%]	51.3	45.0	53.1
StdDev accpower[m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> ]	9.98	9.51	10.00
Propulsion energy (kj/km)	502	503	472

De volgende figuren geven beide minicycli grafisch weer.

Figuur 20: minicyclus rotonde Geel



**Figuur 21 : Minicyclus rotondes (hele dataset)****a) Ingekorte versie**

Een analyse van deze minicycli leert dat beide op een afstand van ca. 7 kilometer slechts 3 of 4 rotondes bevatten. In een rechtstreekse vergelijking met bijvoorbeeld de Groene Golf cyclus blijkt dat dit lage aantal bezwaarlijk is aangezien aldaar de stoplichten een veel grotere frequentie hebben. Om het aantal rotondes (per km) in de minicycli op een vergelijkbaar niveau te krijgen aan de frequentie van de (groene) stoplichten tijdens de Groene Golf cyclus dient de opgenomen data verdere bewerking te ondergaan. In de aanpak hiervan is ervoor gekozen om de stukken tussen rotondes waar met een constante snelheid gereden werd drastisch in te korten. Bij deze bewerking is er steeds naar gestreefd om het aantal inbreuken op de originele data tot een minimum te beperken en de overgangen vloeiend te houden.

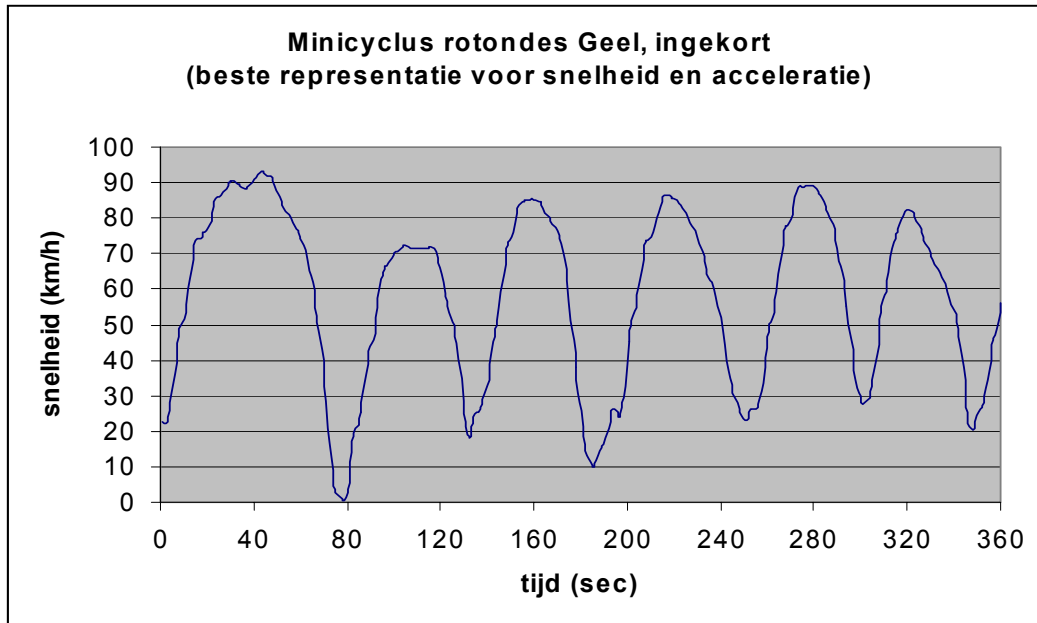
**Tabel 16: Parameters rotondes Geel ingekort**

	General window	Minicyclus 1 Beset representatie (alle parameters)	Minicyclus 2 Beste representatie voor snelheid en acceleratie
no.of gearshifts	347	40	52
v_gem [km/h]	57.0	54.7	58.1
n_gem [rpm]	2088	2069	2203
throttle_gem [%]	17.9	20.3	17.4
Shiftrpm_gem [rpm]	1912	1885	1945
av.acceleration [m/s <sup>2</sup> ]	0.69	0.73	0.69
av.deceleration [m/s <sup>2</sup> ]	-0.64	-0.66	-0.64
RPA [m/s <sup>2</sup> ]	0.30	0.33	0.30
PKE [m/s <sup>2</sup> ]	0.60	0.66	0.60
Cycletime [sec]	3250	360	360
Cycledistance [m]	50693	5413	5813
per.stop time [%]	1.2	0.8	0.0
av.dur.stop [sec]	3.8	3	0
av.dur.seq [sec]	295	326	0
StdDev speed [m/s]	28.24	28.52	24.57
max.acceleration[m/s <sup>2</sup> ]	2.15	2.05	1.89
max.deceleration[m/s <sup>2</sup> ]	-3.54	-3.19	-2.24
per.accelerating [%]	47.4	50.0	50.0
per.decelerating [%]	51.5	49.4	49.7
StdDev accpower[m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> ]	12.24	12.66	11.55
Propulsion energy [kj/km]	604	651	602

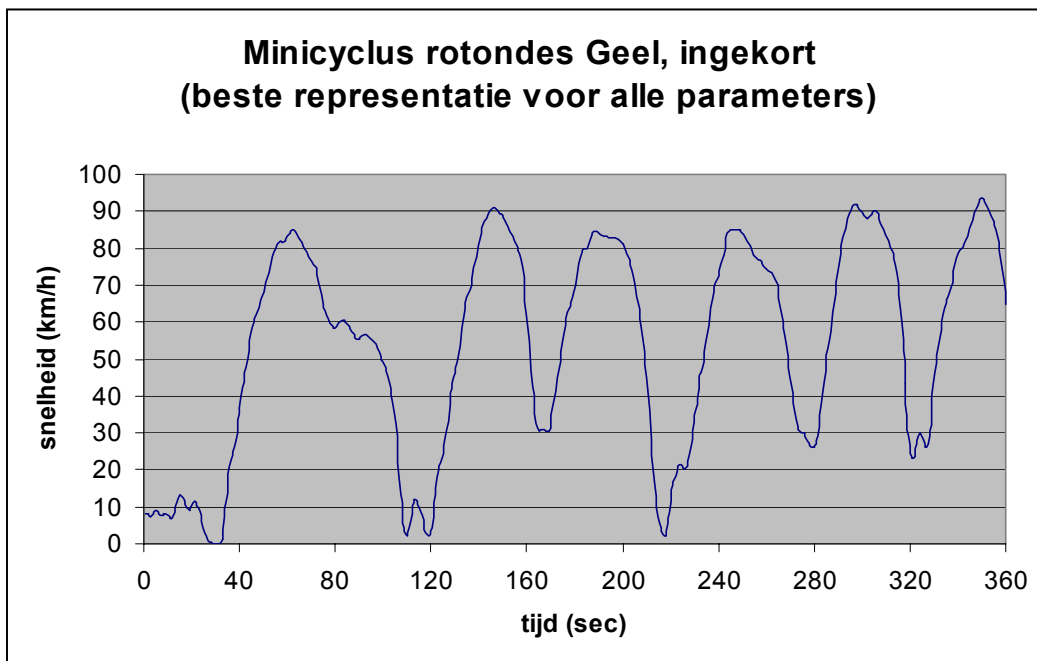


De volgende figuren geven beide minicycli grafisch weer.

**Figuur 22 : Rotonde Geel**



**Figuur 23: Rotonde Geel ingekort**



Het resultaat voor beide cycli is dat de onderlinge afstand tussen rotondes is teruggebracht tot onder de één kilometer. Uit het oogpunt van vergelijkbaarheid met bv. De Groene Golf zou een verdere reductie gewenst zijn, maar dit zou ontoelaatbaar veel ‘verminking’ van de originele data met zich meebrengen. De onderzoekers zijn van mening dat met deze cycli het uiterste is gerealiseerd. In de onderlinge keuze tussen beide cycli gaat de voorkeur uit naar de tweede vanwege het feit dat er hier minder (bijna) stops in zijn verwerkt die moeilijk op de rollenbank na te rijden zijn. Bovendien wordt de eerste cyclus voorafgegaan door een stukje fileverkeer, dat wellicht niet zo representatief is voor rotondes.

## 4.7.2 Metingen te Vilvoorde

### a) Onverzadigde toestand

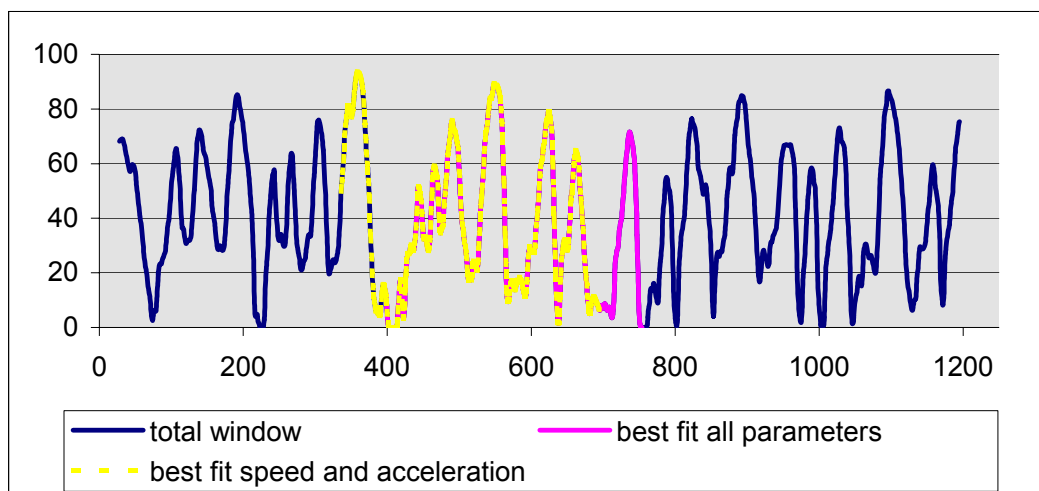
De metingen te VILVOORDE geven na verwerking enigszins te tendens aan van deze te Geel, zij het dat deze laatste iets rustiger gereden is (minder dynamiek). De oorzaak hiervan kan deels gelegen zijn door het aaneenschakelen van zeer kleine stukjes rit. Daarom zullen deze gegevens niet gebruikt worden in de meetcampagne op de rollenbank.

Tabel 17: Metingen te Vilvoorde in onverzadigde toestand

	General window	Minicyclus 1 Beset representatie (alle parameters)	Minicyclus 2 Beste representatie voor snelheid en acceleratie
no.of gearshifts	149	46	46
v_gem [km/h]	41.1	37.2	41.4
n_gem [rpm]	2011	1885	1983
throttle_gem [%]	17.8	16.7	17.6
Shiftrpm_gem [rpm]	1830	1768	1783
av.acceleration [m/s <sup>2</sup> ]	0.70	0.68	0.70
av.deceleration [m/s <sup>2</sup> ]	-0.71	-0.72	-0.71
RPA [m/s <sup>2</sup> ]	0.35	0.36	0.35
PKE [m/s <sup>2</sup> ]	0.70	0.74	0.70
Cycletime [sec]	1165	360	360
Cycledistance [m]	13070	3600	4026
per.stop time [%]	1.4	2.5	2.5
av.dur.stop [sec]	4	4.5	9
av.dur.seq [sec]	236.5	339	281
StdDev speed [m/s]	24.15	24.80	26.94
max.acceleration[m/s <sup>2</sup> ]	2.44	2.07	2.07
max.deceleration[m/s <sup>2</sup> ]	-3.19	-3.19	-3.19
per.accelerating [%]	49.7	49.2	46.9
per.decelerating [%]	49.0	48.3	50.8
StdDev accpower[m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> ]	10.60	10.89	11.53
Propulsion energy (kj/km)	654	688	671

De volgende figuur geeft de toestand grafisch weer :

Figuur 24: Onverzadigde toestand



## b) Verzadigde toestand

De verzadigde toestand werd eveneens geëvalueerd te Vilvoorde. In overleg met AWW werd er overeengekomen dat dit niet de normale toestand is van een rotonde en bijgevolg niet karakteristiek is ervoor. Reeds bij de aanleg van een rotonde zal men immers kijken naar de file die ze kan veroorzaken tijdens bvb de spitsuren; en dit vergelijken met deze die zouden ontstaan bij verkeerslichten. Hiervoor bestaan er gespecialiseerde programma's. Over vergroting van een rotonde is het zo dat de capaciteit niet spectaculair stijgt met het aantal rijstroken. De capaciteit voor 1-vaks bedraagt 1400voertuigen/uur; voor 2-vaks is dit 1800 voertuigen/uur<sup>1</sup>. De rotonde in verzadigde toestand gaan bekijken is geen goed idee daar de rotondes slechts gedurende vrij korte periodes van de dag verzadigd zijn. Wanneer men dit toch aan het project zou toevoegen kan er nagegaan worden in hoeverre de verzadiging te vergelijken is met één of andere onderverdeling bij het 'Files en Emissies' project, en hieruit eventuele conclusies trekken. Karakteristiek voor het oprijden van een rotonde in verzadigde toestand is een vrij lage constante snelheid. Het bevestigt de stelling dat men de maatregel moet beoordelen in functie van het doel waarvoor hij ontworpen is.

### 4.7.3 Metingen te Eke

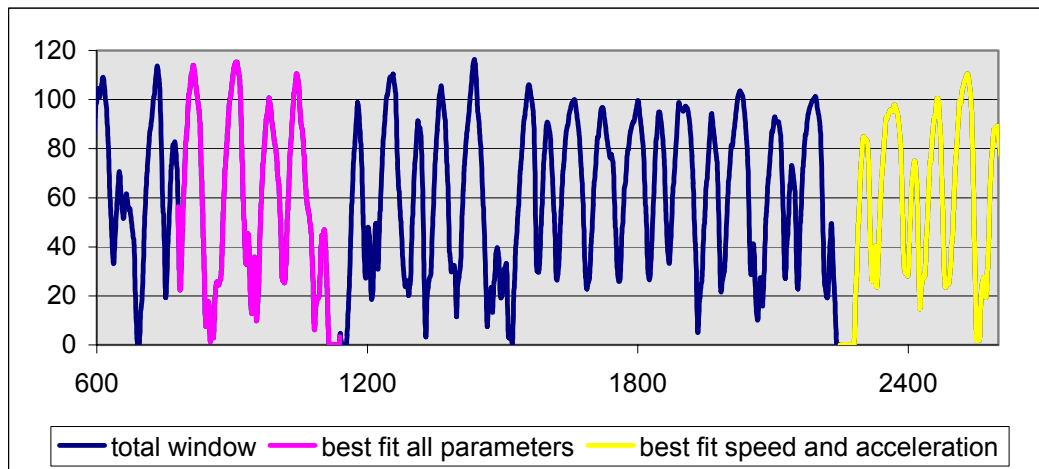
De metingen te Eke bleken na evaluatie minder bruikbaar daar ze per 'geknipt' stukje slechts twee rotondes bevatten. Hierdoor zijn de stukjes die aan elkaar moeten geplakt worden, net als in Vilvoorde aan de korte kant. Tabel 1 vat de karakteristieke parameters samen.

**Tabel 18: Parameters te Eke**

	General window	Minicyclus 1 Beset representatie (alle parameters)	Minicyclus 2 Beste representatie voor snelheid en acceleratie
no.of gearshifts	296	46	39
v_gem [km/h]	61.2	59.8	61.9
n_gem [rpm]	2268	2286	2301
throttle_gem [%]	27.36	28.72	24.81
Shiftrpm_gem [rpm]	2030.28	1933.70	2375.73
av.acceleration [m/s <sup>2</sup> ]	0.69	0.72	0.69
av.deceleration [m/s <sup>2</sup> ]	-0.88	-0.91	-0.88
RPA [m/s <sup>2</sup> ]	0.3529	0.354410666	0.353956315
PKE [m/s <sup>2</sup> ]	0.7129	0.714177089	0.716670401
Cycletime [sec]	2612.0	360.0	360.0
Cycledistance [m]	43190	5649.084683	5691.892442
per.stop time [%]	2.3354	4.722222328	4.722222328
av.dur.stop [sec]	8.71	8.50	17.00
av.dur.seq [sec]	354.86	1.00	164.00
StdDev speed [m/s]	32.06	36.36	33.53
max.acceleration[m/s <sup>2</sup> ]	2.3	1.9	2.1
max.deceleration[m/s <sup>2</sup> ]	-3.2	-2.8	-3.0
per.accelerating [%]	54.48	50.56	54.72
per.decelerating [%]	43	45	38
StdDev accpower[m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> ]	15.023	14.884914	14.92300749
Propulsion energy (kj/km)	721.99	715.0381885	744.1074123

Hieruit blijkt ook dat er ondanks het vele knipwerk een vrij goede overeenkomst is tussen deze metingen en de metingen te Geel. Figuur 25 geeft een gedeelte van de metingen weer.

<sup>1</sup> Een autosnelweg heeft ter vergelijking een capaciteit van 1800voertuigen/uur/rijstrook.

**Figuur 25: Rotondemetingen te Eke**

#### 4.7.4 Metingen te Kortrijk

Tijdens de meetcampagnes is het duidelijk geworden dat het in 1 cyclus verwerken van grote rotondes die voorkomen op gewestwegen en provinciale wegen met de kleine stadsrotondes niet verantwoord zou zijn. De snelheidslimieten liggen enerzijds anders, de draaicirkel is groter ten behoeve van zwaar verkeer op de grote rotondes, acceleratie bij verlaten is verschillend. Daarom is er geopteerd geweest om de cycli apart te houden. Bovendien kan men bij kleine rotondes moeilijk spreken van een echt verzadigde toestand (file om de rotonde op te rijden). Indien er verzadiging optreedt, is dit eerder het gevolg van een verzadiging na de rotonde dan eerder een capaciteitsgebrek van de rotonde zelf. Daarentegen bij de grote rotondes is een verschil zeer zeker aanwezig.

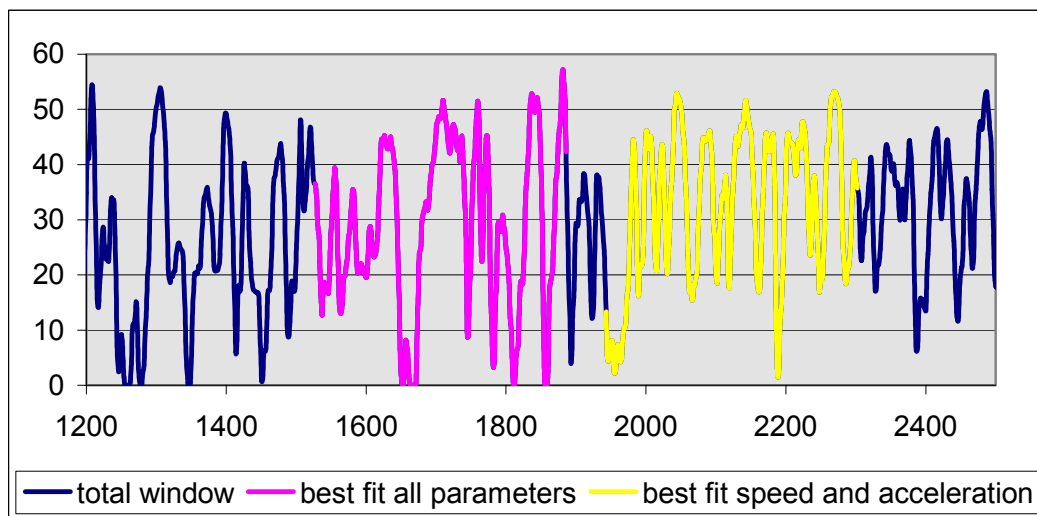
Onderstaande tabel geeft de karakteristieke parameters weer voor de Kortrijkse opmetingen.

Tabel 19: Parameters in Kortrijk

	General window	Minicyclus 1 Beset representatie (alle parameters)	Minicyclus 2 Beste representatie voor snelheid en acceleratie
no.of gearshifts	421	38	49
v_gem [km/h]	31.4	30.1	32.6
n_gem [rpm]	1709	1757	1682
throttle_gem [%]	11.61	12.59	12.26
Shiftrpm_gem [rpm]	1565.60	1524.26	1589.90
av.acceleration [m/s <sup>2</sup> ]	0.53	0.53	0.54
av.deceleration [m/s <sup>2</sup> ]	-0.60	-0.60	-0.60
RPA [m/s <sup>2</sup> ]	0.2705	0.261192248	0.271378542
PKE [m/s <sup>2</sup> ]	0.5555	0.538881536	0.558139694
Cycletime [sec]	3529.0	360.0	360.0
Cycledistance [m]	29560	2889.650873	3263.843152
per.stop time [%]	3.4571	2.5	0
av.dur.stop [sec]	10.17	2.25	0.00
av.dur.seq [sec]	235.83	54.25	0.00
StdDev speed [m/s]	14.93	15.02	13.59
max.acceleration[m/s <sup>2</sup> ]	2.0	1.9	1.8
max.deceleration[m/s <sup>2</sup> ]	-2.9	-2.8	-2.9
per.accelerating [%]	51.37	52.50	54.17
per.decelerating [%]	45	46	46
StdDev accpower[m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> ]	6.304	5.869502935	6.354734054
Propulsion energy (kj/km)	528.71	519.8331123	531.8308327

De snelheidscycli zien er uit als volgt.

Figuur 26: Snelheidsprofiel te Kortrijk



Gezien deze metingen gebeurden in een stadse omgeving is er vrij goede overeenkomst met de metingen te Aalst. De verschillen bevinden zich in de dynamiek die in Kortrijk lager ligt alsook in de gemiddelde snelheid die hoger ligt in Kortrijk. Hierdoor is te verwachten dat de emissies in een dergelijk gebied lichtjes gereduceerd worden ten opzichte van de stadse situatie. Ze zal niet weerhouden worden.

## 5 Beschrijving van het Vlaams Wagenpark

### a) Inleiding

Volgende bronnen werden geraadpleegd voor het beschrijven van het Vlaamse wagenpark:

1. Informatie bekomen via we website van FEBIAC: [www.febiac.be](http://www.febiac.be)
  - beschikbare data van 1999
  - niet in functie van gewicht
  - geen kilometrage data
2. Informatie werd opgevraagd bij DIV (via AMINAL). Verkregen info:
  - beschikbare data van 1998 en 1999
  - niet in functie van gewicht
  - geen kilometrage data
3. Informatie opgevraagd bij NIS. Verkregen info:
  - beschikbare data van 2000
  - niet in functie van gewicht
  - geen kilometrage data

### b) Verdeling per voertuigcategorie

De onderstaande tabel schetst de verdeling van de voertuigen per categorie in functie van de herkomst van de gegevens. De FEBIAC gegevens zijn geldig voor België die van DIV en NIS voor Vlaanderen:

**Tabel 20: Verdeling per voertuigcategorie**

	Febiac (1999)	DIV (1999)	NIS (2000)
PV	4547236	2734673	2764125
LDV	378366	225953	229888
HDV	152728	102097	193746
Bus	40611	46778	7895
MRW	257899	156561	165981
andere	241556	124693	30584
<b>TOTAAL</b>	<b>5618396</b>	<b>3390755</b>	<b>3392219</b>

### c) Verdeling personen voertuigen per brandstof

**Tabel 21: Verdeling personen voertuigen per brandstof**

	(Febiac-1999)	(NIS-2000)
Benzine:	60.4%	58.4%
Diesel:	38.2%	39.9%
LPG:	0.9%	1.26%
andere:	0.4%	0.4%

#### d) Verdeling personen voertuigen per cilinderinhoud (Febiac-1999)

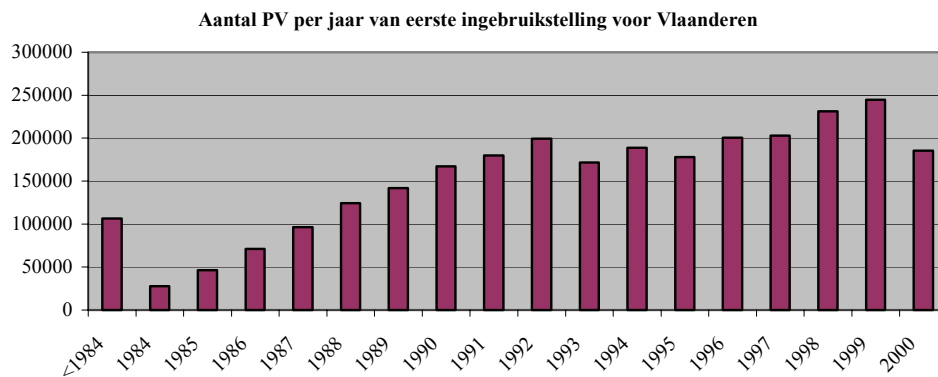
Tabel 22: Verdeling personen voertuigen per cilinderinhoud

	1999 (%)	1995-1999 (%)
< 1000 cc	32.4	- 26.2
1000 cc - 1399 cc	23.6	- 13.8
1400 cc - 1699 cc	22.7	- 7.6
1700 cc - 2099 cc	40.0	+ 24.6
2100 cc - 2599 cc	8.6	- 11.2
2600 cc - 3099 cc	1.8	- 13.5
3100 cc en meer	0.9	- 1.1

#### e) Gemiddelde leeftijd personen voertuigen

De gemiddelde leeftijd van de personen voertuigen bedraagt 7 jaar, 4maand en 21 dagen (Febiac-1999)

Volgende grafiek geeft het aantal personen voertuigen (PV) per jaar van eerste ingebruikstelling weer (NIS-2000).



Figuur 27: aantal personen voertuigen (PV) per jaar van eerste ingebruikstelling

## f) Verdeling per merk

Tabel 23: Verdeling per merk

	Procentueel aandeel (Febiac- 1999)	Meest verkochte (NIS-2000)		Procentueel aandeel (Febiac- 1999)	Meest verkochte (NIS- 2000)
Volkswagen	12.89	Golf	Audi	3.52	80
Opel	10.75	Astra	Fiat	2.71	Punto
Ford	9.86	Fiesta	Mazda	2.55	323
Renault	8.19	Clio	Volvo	2.50	V40
Peugeot	7.14	205	Mitsubishi	2.02	Colt
Toyota	6.12	Corolla	Honda	1.72	Civic
Citroën	5.77	Xantia	Seat	1.37	Ibiza
Mercedes	5.25	190	Suzuki	1.24	Swift
Nissan	4.36	Sunny	Alfa Romeo	0.87	155
BMW	3.76	316	Rover	0.73	214

## g) Meest verkochte wagen (NIS-2000)

Tabel 24: Meest verkochte wagen

<i>Merk</i>	<i>Model</i>	<i>België</i>	<i>Vlaanderen</i>	<i>Merk</i>	<i>Model</i>	<i>België</i>	<i>Vlaanderen</i>
Volkswagen	Golf	276176	174437	Volkswagen	Golf	276176	174437
Opel	Astra	140835	85860	Opel	Kadet	72494	48219
Ford	Escort	118169	75646	Peugeot	205	77409	45849
Ford	Fiesta	129751	74945	Ford	Mondeo	57184	40780
Opel	Corsa	122846	67026	Renault	Clio	77638	38372
Toyota	Corolla	113596	65401	Audi	80	57015	36602
Volkswagen	Passat	95342	58764	Nissan	Sunny	60802	36457
Volkswagen	Polo	121207	57841	Peugeot	306	62913	32652
Opel	Vectra	78529	53463	Renault	Megane	63988	32373
BMW	316	73337	50113	Toyota	Starlet	53822	28821

## h) Jaarlijks gemiddeld afgelegde afstand (Febiac-1999)

15 187 km. Dit is echter een globaal aantal, een gemiddelde over de verschillende categorieën personenvoertuigen. Het werkelijk afgelegde aantal kilometers per categorie (brandstoftype, motorisatie) is sterk afhankelijk van de criteria gebruikt voor de indeling.

## i) Correlatie gewicht - cilinderinhoud

Ter berekening van de effecten op globaal niveau diende het Nederlandse Parkmodel te worden gevuld met Vlaamse wagenparkgegevens. De gegevens over de samenstelling van het Vlaamse wagenpark zijn ontleend aan referentie [19]. Hierin staat het Vlaamse wagenpark gedetailleerd beschreven van het jaar 1998. Vandaar dat de globale berekeningen in het vervolg voor dit jaar zullen worden uitgevoerd. In de onderstaande tabellen staan de gegevens over aantallen en jaarkilometrages zoals ze aan referentie [19] ontleend zijn.



**Tabel 25: Vlaams wagenpark: aantal wagens**

ouderdom	benzine			diesel		LPG	
	t/m 1400 cc	1400 – 2000	> 2000 cc	t/m 2000 cc	> 2000 cc	t/m 2000 cc	> 2000 cc
0	55838	40068	8840	103914	20343	579	103
1	49994	38023	8724	85023	20056	990	217
2	49997	47317	9101	76905	21223	1235	235
3	41835	42738	7804	70817	18872	1012	293
4	44542	52885	9533	69860	19277	1444	477
5	36324	65238	9967	56501	15574	1788	595
6	47076	83300	12542	58326	17803	2366	827
7	48603	75741	10308	51714	15243	2476	809
8	48887	69596	8143	53084	16223	2529	570
9	50180	50977	7392	49643	15615	1846	575
10	63640	44197	9414	35865	12939	1598	655
11	50501	35073	7471	28461	10267	1268	520
12	36542	25378	5406	20594	7429	918	376
13	25045	17394	3705	14115	5092	629	258
14	16013	11121	2369	9024	3256	402	165
15	61587	42772	9111	34709	12521	1546	634
16	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0

Het Vlaamse wagenpark bestond in 1998 uit bijna 2,7 miljoen personenwagens.

**Tabel 26: Vlaams wagenpark: aantal kilometers**

ouderdom	benzine			diesel		LPG	
	t/m 1400 cc	1400 – 2000	> 2000 cc	t/m 2000 cc	> 2000 cc	t/m 2000 cc	> 2000 cc
0	13948	16977	22902	26009	26853	23488	37206
1	14186	17267	23293	26454	27312	23889	37842
2	14067	17122	23097	26231	27082	23689	37524
3	13709	16687	22510	25565	26394	23086	36570
4	13709	16687	22510	25565	26394	23086	36570
5	12517	15236	20553	23342	24099	21079	33390
6	12755	15526	20944	23786	24558	21480	34026
7	11921	14510	19574	22230	22951	20075	31800
8	10610	12914	17421	19785	20426	17867	28302
9	10014	12188	16442	18673	19279	16863	26712
10	9775	11898	16051	18229	18820	16462	26076
11	8941	10883	14681	16673	17213	15056	23850
12	9894	12043	16246	18451	19049	16662	26394
13	7749	9432	12723	14450	14918	13049	20670
14	8225	10012	13506	15339	15836	13852	21942
15	6557	7981	10766	12227	12623	11041	17490
16	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0

In totaal legde het Vlaamse wagenpark in 1998 ongeveer 46 miljard kilometer af.

De Vlaamse voertuigregistratie geschiedt op basis van motorinhoud van het voertuig, en niet op basis van leeggewicht. Vandaar dat er voor het Vlaamse Parkmodel een vertaalslag heeft plaatsgevonden van motorinhoud naar leeggewicht. Hierbij is gezocht naar een statistische correlatie tussen motorinhoud en voertuigleeggewicht op basis van gegevens uit het Nederlandse steekproefcontrole programma. De volgende correlaties werden hierbij gevonden:

benzine tot 1400 cc:	Massa = -6.12 * [ouderdom] +866	[kg]
benzine 1400 tot 2000 cc:	Massa = -15.76 * [ouderdom] +1201	[kg]
benzine boven 2000 cc:	Massa = -29.36 * [ouderdom] + 1611	[kg]
diesel tot 2000 cc:	Massa = -29.47 * [ouderdom] +1259	[kg]
diesel boven 2000 cc:	Massa = -8.3 * [ouderdom] + 1398	[kg]

Vanwege het gebrek aan gegevens over LPG voertuigen wordt hiervoor de correlaties van benzine voertuigen gebruikt.

## Referenties en artikels

- [1] Gense, N.L.J.; "Driving style, fuel consumption and tail pipe emissions"; Delft, TNO Wegtransportmiddelen, maart 2000, rapportnummer 00.OR.VM.021.1/NG
- [2] <http://www.emis.vito.be/mobiliteit/autoverbruik/spaarzaamrijden-frames.htm>
- [3] <http://www.hetnieuwerijden.nl/>
- [4] <http://www.novem.nl/>
- [5] Gense, N.L.J., Burgwal, H.C. van de en Bremmers, D.A.C.M.; "Emissies en file-Bepalen van emissiefactoren", Eindrapportage fase 2; Delft, TNO Wegtransportmiddelen, mei 2001, rapportnummer 01.OR.VM.043.1/NG
- [6] "MEET : Methodologies for Estimating air pollutant emissions from transport"; Transport research; 4<sup>e</sup> kader programma; Europese Commissie; DGVII
- [7] "COPERT II computer programme to calculate emissions from road transport: methodology and emissions factors"; European Environment Agency
- [8] "Methodologies for Estimating air pollutant emissions from transport (MEET): Emission factors for future road vehicles"; LAT report No 9829; deliverable 26; Aristotle university Thessaloniki
- [9] Y. Toussaint, "Metropol, un outil d'évaluation de la consommation et des émissions des véhicules automobiles. Application aux véhicules thermiques et électriques" PhD thesis, Université de Liege, Belgium, December 1999
- [10] H. Ishitani, university of Tokyo, "Evaluation of energy efficiency of a commercial HEV, PRIUS, at city driving"; proceedings EVS-16; 12-16 oktober 1999, Beijing, China
- [11] J. Van Mierlo, G. Maggetto, "Multiple purpose simulation programme for electric and hybrid vehicles : simulation vs. experimental results", EVS13 Conference, 13-16 October 1996, Osaka (Japan), Session 3F, Paper no. 33
- [12] J. Van Mierlo, G. Maggetto, "Vehicle Simulation Programme", Autotech, I Mech E, 7-9 september 1995, Birmingham, V.K.
- [13] J. Van Mierlo, G. Maggetto, "Modular Simulation Programme for Electric and Hybrid Vehicles", EVT 95, 13-15 november 1995, Parijs, Frankrijk
- [14] J. Van Mierlo, G. Maggetto, "How to compare and evaluate Electric and Thermal Vehicles?", EPE-97, 8-10 september 1997, Trondheim, Noorwegen
- [15] J. Van Mierlo, G. Maggetto, "Development of a software tool to evaluate the energetic and environmental impact of Electric and Hybrid Vehicles in Brussels", EVS-14, 15-17 december 1997, Orlando, Florida USA
- [16] J. Van Mierlo, B. Kamba Bimbi, G. Maggetto, "Comparison of power algorithms in Hybrid Vehicles", EVS-15, 1-3 oktober 1998, Brussel, België
- [17] J. Van Mierlo, G. Maggetto, "Simulation of a complex parallel-series hybrid drive train", EVS-16, 12-16 oktober 1999, Beijing, China
- [18] Weijer, C.J.T. van de; "Heavy Duty emission factors, Development of representative driving cycles and prediction of emissions in real-life"; Dissertatie aan de Technische Universiteit van Graz; Delft, oktober 1997

- [19] De Keukeleere, D., et al.; “Evaluatie reductiepotentieel van mogelijke aanvullende maatregelen rond milieuvriendelijke motorvoertuigen- en brandstoffen”; Vito rapportnummer 2001/ETE/R041; Mol, België, Mei 2001