

---

# SLIMME KILOMETERHEFFING IN DE PROEFTUIN LEUVEN

Eindverslag voor:  
**T!NC vzw (Telematics INCubator)**  
Auguste Reyerslaan 80  
1030 Brussel

3 juli 2012

---



**TRANSPORT & MOBILITY LEUVEN**  
**DATA ENRICHMENT GROUP**  
DIESTSESTEENWEG 57  
3010 KESSEL-LO (LEUVEN)  
BELGIUM  
TEL +32 (16) 31 77 30  
FAX +32 (16) 31 77 39  
<http://www.tmlleuven.be/expertise/deg/>

Projectnummer:  
09.20

Auteurs:  
Sven Maerivoet  
Eef Delhaye

## Inhoudstafel

Inhoudstafel .....	2
Lijst van figuren .....	5
<b>1. Inleiding .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Opzet van de proeftuin .....</b>	<b>10</b>
2.1 Wie waren de deelnemende partijen?.....	10
2.2 Wat waren de doelstellingen voor de Stad Leuven? .....	10
2.3 Hoe hebben we de proeftuin opgevat?.....	12
2.3.1 Een demonstratie van technologie en beleid .....	12
2.3.2 Hoe werkte het hele systeem? .....	12
2.4 Hoe gingen we om met privacy en security? .....	14
2.4.1 Wat verstonden we onder ‘privacy’?.....	14
2.4.2 Wat verstonden we onder ‘security’?.....	15
2.4.3 Hoe pasten we deze concepten toe op de proeftuin?.....	16
2.4.4 Welke manieren zijn er nog voor security? .....	17
<b>3. Uitwerking van een slimme kilometerheffing .....</b>	<b>19</b>
3.1 Files als graadmeter voor mobiliteitsproblemen .....	19
3.1.1 Wat zijn files? .....	19
3.1.2 Hoelang staat iemand gedurende zijn carrière in de file? .....	22
3.1.3 Hoeveel file staat er nu? .....	24
3.2 Externe kosten van wegverkeer als achtergrond.....	26
3.2.1 Wat zijn de tijdskosten ten gevolge van files?.....	27
3.2.1.1 Verzameling en opkuising van gegevens .....	27
3.2.1.2 Berekening economische congestiekost .....	29
3.2.1.3 Enkele typische economische tijdskosten .....	32
3.2.2 Welke soorten externe kosten bestaan er?.....	32
3.2.2.1 Kosten doordat je tijd verliest .....	32
3.2.2.2 Milieu (luchtvervuiling en klimaatverandering) .....	33
3.2.2.3 Ongevallen.....	34
3.2.2.4 Geluid.....	34
3.2.2.5 Infrastructuur .....	35
3.2.3 Overzicht van de marginale externe kosten .....	36
3.3 Maatschappelijke discussiepunten .....	37
3.3.1 Er heerst een maatschappelijk misverstand .....	37
3.3.2 De brandstoftaksen zijn ontoereikend .....	37
3.3.3 De files worden niet verplaatst.....	37
3.3.4 Pendelverkeer heeft er baat bij.....	37
3.3.5 De privacy wordt niet geschonden .....	38
3.3.6 Bedrijfswagens vormen geen uitzondering .....	38
3.3.7 De maatregel kan sociaal rechtvaardig gemaakt worden.....	39
3.4 Wat verstonden we onder een slimme kilometerheffing? .....	40
3.4.1 Onderscheid naar de plaats waar men reed.....	41
3.4.1.1 Opsplitsing in verschillende wegcategorieën .....	41
3.4.1.2 Regionale afbakening van het gebied voor de slimme kilometerheffing.....	42
3.4.2 Onderscheid naar het tijdstip waarop men reed.....	45
3.4.3 Onderscheid naar het type voertuig waarmee men reed.....	46
3.5 Hoe berekenden we de tariefschema’s?.....	49
3.5.1 Berekeningsmethode voor de tariefschema’s.....	49
3.5.1.1 Berekening van de afgelegde afstanden per wegtype en tijdsperiode .....	49
3.5.1.2 Wegen van de tarieven op basis van de externe kosten.....	51
3.5.2 Overzicht van de tariefschema’s .....	53
3.5.3 Vergelijking met het SRE proefproject.....	55
3.5.4 Vergelijking met het reëel geobserveerde gedrag van de proefpersonen .....	55
3.5.5 Nastreven van kostenneutraliteit .....	56

3.5.6	Wat met internalisering van externe kosten? .....	57
<b>4.</b>	<b>Opzet van het gedragsexperiment.....</b>	<b>60</b>
4.1	Hoe selecteerden we de proefpersonen?.....	61
4.1.1	Typering en recrutering van de proefpersonen .....	61
4.1.2	Informatie en opvolging van de proefpersonen.....	62
4.1.3	Demografische kenmerken van de proefpersonen .....	64
4.2	Fase 0 (voorbereiding met kerntesters) .....	66
4.2.1	OBU criteria .....	67
4.2.2	OBU + back-end server criteria.....	67
4.2.3	Back-end server criteria .....	67
4.3	Fase 1 (referentieperiode met nulmeting) .....	68
4.3.1	De proefpersonen met het systeem vertrouwd maken .....	68
4.3.2	In kaart brengen van het verplaatsingsgedrag per proefpersoon.....	71
4.3.2.1	Globaal overzicht per week voor alle proefpersonen .....	71
4.3.2.2	Overzicht van de algemene ritgegevens per proefpersoon .....	72
4.3.2.3	Overzicht van alle herkomsten en bestemmingen per proefpersoon.....	73
4.3.2.4	Overzicht van alle verdelingen per proefpersoon.....	76
4.3.3	Vaststelling van het referentiepatroon per proefpersoon .....	76
4.3.3.1	Berekening van de genormaliseerde ritkosten .....	77
4.3.3.2	Vorbewerking van de ritgegevens voor het representatief verplaatsingsgedrag .....	77
4.3.3.3	Voorbeeld van het referentiepatroon van een proefpersoon.....	81
4.4	Fase 2 (wedstrijd met beloning).....	82
4.4.1	Beprijzen, belonen of een budget?.....	82
4.4.2	Praktische uitwerking van de wedstrijd.....	83
4.4.3	Advies tot verbetering van het persoonlijk verplaatsingsgedrag.....	85
4.5	Fase 3 (nagedrag).....	86
4.5.1	Analyse van de genormaliseerde ritkosten.....	87
4.5.2	Nabespreking met de proefpersonen.....	87
<b>5.</b>	<b>Resultaten .....</b>	<b>88</b>
5.1	Waar werden de ritten geregistreerd?.....	89
5.2	Globale statistieken.....	92
5.2.1	Overzicht van het verplaatsingsgedrag .....	92
5.2.2	Overzicht van de gereden snelheden op alle wegen .....	95
5.2.3	Analyse van de gemiddelde snelheden per rit.....	98
5.2.4	Evolutie van het gebruik van de verschillende wegtypes en tijdsperiodes.....	100
5.2.5	Berekening van de prijselasticiteit.....	109
5.2.6	Analyse van het GSM dataverkeer.....	110
5.3	Analyse van de herkomsten en bestemmingen .....	113
5.4	Evolutie van de gemaakte genormaliseerde ritkosten per fase .....	115
5.5	Uitslag van de wedstrijd .....	118
5.6	Resultaten kwalitatieve bevraging van de proefpersonen .....	121
<b>6.</b>	<b>Welke systemen bestaan er in andere steden?.....</b>	<b>123</b>
6.1	Mechelen (België).....	123
6.2	Londen (Verenigd Koninkrijk) .....	124
6.3	Singapore (Zuid-Oost Azië).....	125
6.4	Stockholm (Zweden).....	126
6.5	Nederland.....	127
6.5.1	Anders Betalen voor Mobiliteit.....	127
6.5.2	Sensor City Assen.....	127
6.5.3	Spitsvrij.....	128
<b>7.</b>	<b>Slotbevindingen en aanbevelingen.....</b>	<b>129</b>
7.1	Directe resultaten van het gedragsexperiment .....	129
7.2	Bedenkingen en kanttekeningen .....	130
7.3	Aanbevelingen voor een vervolgproject.....	135
<b>8.</b>	<b>Referenties .....</b>	<b>138</b>
<b>Appendix A: Berichtgeving in de pers .....</b>		<b>141</b>

A.1	Contacten .....	141
A.1.1	Transport & Mobility Leuven .....	141
A.1.2	NXP .....	141
A.1.3	IBM Belgium .....	141
A.1.4	Touring .....	141
A.1.5	Mobistar.....	142
A.2	Persbericht.....	142
A.3	Overzicht persartikels.....	144
A.4	Overzicht voordrachten.....	145
<b>Appendix B: Showcase slimme kilometerheffing .....</b>		<b>146</b>
<b>Appendix C: Visuele spatio-temporele snelheidsanalyses .....</b>		<b>150</b>

## Lijst van figuren

Figuur 1: Enkele prioriteiten in het mobiliteitsbeleid van de Stad Leuven. Merk vooral (b) en (f) op, waarin enerzijds de aansluiting van de stad op het autosnelwegennet werd weergegeven, en anderzijds een onderscheid in functie tussen de west- en oostkant van de ring rond Leuven werd gemaakt.....	11
Figuur 2: Conceptueel overzicht van de technologische werking van de proeftuin.....	12
Figuur 3: De concepten van privacy en security uitgewerkt in de proeftuin. ....	16
Figuur 4: Een typisch verkeerskundig fasediagram met een hysteresiseffect ( <i>links</i> ). Verkeersmetingen langs een autosnelweg vertonen hetzelfde effect ( <i>rechts</i> ). ....	20
Figuur 5: Macroscopisch verband tussen de filelengte en het aantal voertuigverliesuren. ....	21
Figuur 6: Overzicht van de totale hoeveelheid file waar iemand tijdens zijn carrière in staat tijdens het pendelen.....	22
Figuur 7: Grafisch overzicht van de pendeltrajecten die het meeste filegevoelig zijn.....	23
Figuur 8: Overzicht van de evolutie van het aantal voertuigverliesuren op het Belgische autosnelwegennet. ....	24
Figuur 9: Toename van de verliestijden bij ongewijzigd beleid in 2020. ....	25
Figuur 10: Voorspelling van de filelengte [km] tegen 2020. ....	25
Figuur 11: Samenhang tussen de private kosten (PK), taksen (TKS) en externe kosten (EK) die we maken als een individu ( <i>links</i> ) en in groep ( <i>rechts</i> ).....	26
Figuur 12: Een voorbeeld van inductieve lussen ingebed in het wegdek [Mae06]. ....	27
Figuur 13: Overzicht van de locaties van de dubbele lusdetectoren in het meetnet van de Vlaamse Overheid. ....	28
Figuur 14: Illustratieve opdeling van het wegennet in wegsegmenten.....	28
Figuur 15: Marginale externe kosten van het personenvervoer (Vlaanderen, 2000 en 2008) in euro per 100 personenkilometer.....	36
Figuur 16: Marginale externe kosten van het goederenvervoer (Vlaanderen, 2000 en 2008) in euro per 100 tonkilometer. ....	36
Figuur 17: Relatieve percentages van de vernieuwingen van de Belgische voertuigvloot in 2015, opgesplitst naar Euro normen. De zwarte lijn duidt op het gemiddelde van ruim 6%.....	39
Figuur 18: Overzicht van de autosnelwegen in Vlaanderen (de zwarte kader duidt het gebied aan waarin de slimme kilometerheffing actief was).....	42
Figuur 19: Overzicht van alle autosnelwegen in België.....	42
Figuur 20: Een wegenkaart van een deel van het studiegebied tijdens de showcase.....	43
Figuur 21: Het gedetailleerde studiegebied met autosnelwegen (blauw), secundaire wegen (rood) en lokale wegen (grijs).....	43
Figuur 22: Verschillende tarifiëringen van de ring rond Leuven; het noord-westelijk deel viel onder het W1 tarief (autosnelwegen), het oostelijk deel onder het W2 tarief (secundaire wegen). ....	44
Figuur 23: De invloedssfeer van wonen en werken in het gebied rond Leuven. ....	44
Figuur 24: Verschil in piekperiodes tijdens de ochtend- en avondspitsen op de N2, N3 en de E40 Brussel-Luik. ....	45
Figuur 25: Procentuele verdeling van personenwagens volgens brandstoftype, gebaseerd op de grootte van het voertuigenpark voor alle in België ingeschreven personenwagens per 1 augustus 2011 [FOD11].....	46
Figuur 26: Verband tussen de Ecoscore en de cilinderinhoud op basis van de Belgische vloot in 2009. ....	47
Figuur 27: Overzicht van de gebruikte gemiddelde verkeersbelastingen voor de verschillende types fiscale PKs. ....	48
Figuur 28: Grafisch overzicht van alle tariefschema's per type voertuig in de proeftuin. ....	53
Figuur 29: Grafisch overzicht van alle tariefschema's per type weg in de proeftuin.....	54
Figuur 30: Principe achter een internalisering van de externe kosten, waarbij men komende van een gebruikersevenwicht gebaseerd op louter de marginale private kosten (punt A), een tol heft die rekening houdt met de marginale sociale kosten (punt B) zodat een nieuw sociaal optimum (punt C) bereikt wordt. ....	57
Figuur 31: Internalisering van de marginale externe kosten (MEK) voor personenwagens (diesel), uitgedrukt per type externe kost in euro per 100 km voor Vlaanderen over de periode 2000 – 2008.....	59
Figuur 32: Schematisch overzicht van de verschillende fasen in het project.....	60
Figuur 33: De flyer die gebruikt werd voor de recruitering van de proefpersonen.....	62

Figuur 34: De persoonlijke informatie voor contact en opvolging van de proefpersonen (voorbeeld voor 'LEUVEN102').....	63
Figuur 35: Het aantal voertuigen met een bepaalde cilinderinhoud in de proeftuin ( <i>links</i> ). Het aantal voertuigen volgens de classificatie uit Sectie 3.4.3 ( <i>rechts</i> ).....	64
Figuur 36: Het gemiddeld aantal jaarlijks afgelegde kilometers door alle proefpersonen ( <i>links</i> ). Het aantal dagen per week dat de proefpersonen pendelden (23 respondenten) ( <i>rechts</i> ).....	65
Figuur 37: Een overzicht van de geografische spreiding van alle verplaatsingspatronen tussen de thuis- en werklocaties van alle proefpersonen (in vogelvlucht tussen postcodes).....	65
Figuur 38: Inlogprocedure op de persoonlijke pagina van een proefpersoon (voorbeeld voor 'LEUVEN102') op de back-end server.....	69
Figuur 39: Het overzicht van de virtuele facturen van een proefpersoon (voorbeeld voor 'LEUVEN102'), per maand samengevat.....	69
Figuur 40: Het overzicht van de virtuele facturen per rit van een proefpersoon (voorbeeld voor 'LEUVEN102').....	70
Figuur 41: Het overzicht van de verschillende ritsegmenten van een rit van een proefpersoon (voorbeeld voor 'LEUVEN102'), waarbij de overgangen tussen de verschillende tariefzones expliciet doorheen de tijd worden aangegeven.....	70
Figuur 42: De gedetailleerde positioneringsinformatie op een digitale wegenkaart van een rit van een proefpersoon (voorbeeld voor 'LEUVEN102'). De overgangen tussen de verschillende tariefzones worden door middel van gekleurde iconen weergegeven (de rode '\$' duiden op het verlaten van een bepaalde tariefzone in ruimte en tijd, de groene '\$' op het betreden van een volgende).....	71
Figuur 43: Een voorbeeldoverzicht van het aantal gereden ritten per week per proefpersoon. De individuele cellen werden gekleurd volgens het aantal: blauwe cellen duiden op een laag aantal gereden ritten, groene op een gemiddeld aantal en rode op een hoog aantal gereden ritten.....	72
Figuur 44: Overzicht van de algemene ritdetails per proefpersoon (voorbeeld voor 'LEUVEN102').....	73
Figuur 45: Algemene herkomst-bestemmingstabel voor een individuele proefpersoon waarin voor elke combinatie van postcodes het aantal gereden ritten wordt weergegeven (voorbeeld voor 'LEUVEN103').....	74
Figuur 46: Algemene herkomst-bestemmingstabel voor een individuele proefpersoon waarin voor elke combinatie van postcodes de totale ritkost wordt weergegeven (voorbeeld voor 'LEUVEN103').....	74
Figuur 47: Algemene herkomst-bestemmingstabel voor een individuele proefpersoon waarin voor elke combinatie van postcodes de totaal afgelegde afstand wordt weergegeven (voorbeeld voor 'LEUVEN103').....	75
Figuur 48: Algemene herkomst-bestemmingstabel voor een individuele proefpersoon waarin voor elke combinatie van postcodes de totaal gereden reistijd wordt weergegeven (voorbeeld voor 'LEUVEN103').....	75
Figuur 49: Statistische analyse van de verdelingen van de totaal afgelegde afstanden, kosten en reistijden van alle ritten per proefpersoon (voorbeeld voor 'LEUVEN102').....	76
Figuur 50: Overzicht van het van week tot week aantal gereden ritten per proefpersoon in fase 1. Witte balkjes duiden op geen gereden ritten, blauwe en groene op weinig gereden ritten en gele en rode op veel gereden ritten.....	78
Figuur 51: Detectie van uitschieters in het van week tot week aantal gereden ritten per proefpersoon; witte balkjes duiden op normaal verplaatsingsgedrag, grijze op te weinig gereden ritten en rode op helemaal geen gereden ritten.....	79
Figuur 52: Overzicht van het van week tot week aantal gereden ritten per proefpersoon in fase 1, na detectie en vervanging van uitschieters. Witte balkjes duiden op geen gereden ritten, blauwe en groene op weinig gereden ritten en gele en rode op veel gereden ritten.....	79
Figuur 53: Statistische boxplots van alle wekelijks totaal gereden ritten per proefpersoon gedurende fase 1, na detectie en vervanging van uitschieters.....	80
Figuur 54: Overzicht van het oorspronkelijk totaal aantal ritten per proefpersoon (blauw gekleurde balkjes) en het extra aantal ritten na aanpassing en opschaling (rood gekleurde balkjes).....	81
Figuur 55: Volledig geactiveerd OBU scherm met daarop onder andere de aanduiding van het huidige tarief. De 'blauwe' OBUs met zichtbare GPS en GSM antennes ( <i>links</i> ). De 'grijze' OBUs waar de antennes in de behuizing verwerkt zitten ( <i>rechts</i> ).....	84
Figuur 56: Volledig overzicht van alle absoluut gemaakte ritkosten voor alle proefpersonen gedurende fase 2 (wedstrijd). Donkere kleuren duiden op lagere ritkosten, heldere kleuren op hogere ritkosten.....	86

Figuur 57: Illustratief overzicht van de samenhang tussen de verschillende databanken (met ritgegevens, genormaliseerde ritgegevens, aangepaste weekgegevens en GPS posities), de bewerkingen erop en de resultaten daarvan.....	88
Figuur 58: Verdeling van het aantal GPS records per proefpersoon.....	89
Figuur 59: De volledige geografische dekking door alle geregistreerde GPS posities van alle proefpersonen. Het gebied waar de kilometerheffing van kracht was, werd aangeduid met de zwarte rechthoek. ....	90
Figuur 60: Een ingezoomd beeld op het Gewest Vlaanderen van de geografische dekking door alle geregistreerde GPS posities van alle proefpersonen. Het gebied waar de kilometerheffing van kracht was, werd aangeduid met de zwarte rechthoek. ....	90
Figuur 61: Overzicht van alle geregistreerde GPS posities binnen het gebied van de kilometerheffing. Er waren grote concentraties te zien in het Leuvense enerzijds, en in de buurt van de Brusselse vijfhoek anderzijds. Daarnaast was ook te zien hoe alle autosnelwegen, secundaire en lokale wegen bereden werden.....	91
Figuur 62: Alle geregistreerde GPS posities in het Leuvense, waarbij de ring rond Leuven ingesloten ligt tussen de E40 en E314 autosnelwegen.....	91
Figuur 63: Een gedetailleerder beeld van alle geregistreerde GPS posities binnen de ring rond Leuven, waarbij bepaalde straten regelmatig gebruikt werden dan de meer sporadisch gebruikte stadsstraten.....	92
Figuur 64: De verdelingen van de totale afstanden, genormaliseerde kosten en duurtijden van elke rit.....	93
Figuur 65: Overzicht van het aantal ritten ( <i>linksboven</i> ), de afgelegde afstanden ( <i>rechtsboven</i> ), de effectief gemaakte ritkosten ( <i>linksonder</i> ) en de duurtijden ( <i>rechtsonder</i> ) per uur van de dag.....	94
Figuur 66: Analyse van de start- en eindtijden van alle ritten doorheen de dag, opgesplitst naar werkdagen ( <i>boven</i> ) en weekends ( <i>onder</i> ). Ritten in de dalperiodes werden blauw gekleurd; ritten tijdens de piekperiodes (enkel op werkdagen) werden rood gekleurd.....	95
Figuur 67: Overzicht van alle geregistreerde mediane snelheden (per minuut geaggregeerd) in het gebied rond Vlaanderen (rood duidt op traag rijdend verkeer, geel en groen op zo'n 70 km/u en blauw tot donkerblauw op 110 tot en met 150 km/u).....	96
Figuur 68: Overzicht van alle geregistreerde mediane snelheden (per minuut geaggregeerd) in het gebied waar de kilometerheffing actief was (rood duidt op traag rijdend verkeer, geel en groen op zo'n 70 km/u en blauw tot donkerblauw op 110 tot en met 150 km/u). ....	96
Figuur 69: Overzicht van alle geregistreerde mediane snelheden (per minuut geaggregeerd) in het gebied rond Leuven (rood duidt op traag rijdend verkeer, geel en groen op zo'n 70 km/u en blauw tot donkerblauw op 110 tot en met 150 km/u).....	97
Figuur 70: Overzicht van alle geregistreerde mediane snelheden (per minuut geaggregeerd) binnen de ring rond Leuven (rood duidt op traag rijdend verkeer, geel en groen op zo'n 70 km/u en blauw tot donkerblauw op 110 tot en met 150 km/u).....	97
Figuur 71: Overzicht van de verdeling van de gemiddelde snelheid per rit voor alle ritten in de hele geografische dekking.....	98
Figuur 72: De verdelingen van de gemiddelde snelheid per rit uitgesplitst naar het type voertuig ( <i>boven</i> : type 1, <i>midden</i> : type 2, <i>onder</i> : type 3). De medianen worden aangeduid met de groene stippellijn; de mediane afwijkingen (MAD) door de cyane stippellijnen.....	99
Figuur 73: De verdelingen van de gemiddelde snelheid per rit uitgesplitst naar de fiscale PKs (van boven naar onder: FP = 8 tot en met FP = 13). De medianen worden aangeduid met de groene stippellijn; de mediane afwijkingen (MAD) door de cyane stippellijnen.....	99
Figuur 74: Weggebruik door alle proefpersonen, per wegtype en fase. Voor de hele geografische dekking ( <i>boven</i> ). Voor het gebied waar de kilometerheffing actief was ( <i>onder</i> ). ....	101
Figuur 75: Overzicht van de verdeling van het aantal ritten per uur van de dag per proefpersoon, telkens voor fase 1 (blauw), fase 2 (rood) en fase 3 (zwarte stippellijn).....	104
Figuur 76: Overzicht van de verdeling van het aantal ritten per uur van de dag, telkens voor fase 1 (blauw), fase 2 (rood) en fase 3 (zwarte stippellijn). Het gedragseffect van rekeningrijden is voornamelijk te zien aan de vermindering van het aantal ritten in de piekperiodes, en de toenames erbuiten. Merk op dat fase 3 niet representatief is wegens de te korte duur en het te lage absoluut aantal gereden ritten. ....	105
Figuur 77: Het weggebruik per seconde voor alle geregistreerde GPS posities in het gebied waar de kilometerheffing actief was (het gebruikte rooster heeft vakjes van 10.000 m <sup>2</sup> ).....	106
Figuur 78: Het weggebruik per seconde voor alle geregistreerde GPS posities in het gebied rond het Leuvense (het gebruikte rooster heeft vakjes van 2.500 m <sup>2</sup> ).....	106

Figuur 79: Het weggebruik per seconde voor alle geregistreerde GPS posities in het gebied binnen de ring rond Leuven (het gebruikte rooster heeft vakjes van 625 m <sup>2</sup> ).....	107
Figuur 80: Verschil in het weggebruik per seconde tussen fase 2 (wedstrijd) en fase 1 (nulmeting) in het gebied waar de kilometerheffing actief was (groene en rode kleuren duiden op een afgenomen, respectievelijk toegenomen, weggebruik).....	107
Figuur 81: Verschil in het weggebruik per seconde tussen fase 2 (wedstrijd) en fase 1 (nulmeting) in het gebied rond het Leuvense (groene en rode kleuren duiden op een afgenomen, respectievelijk toegenomen, weggebruik). ....	108
Figuur 82: Verschil in het weggebruik per seconde tussen fase 2 (wedstrijd) en fase 1 (nulmeting) binnen de ring rond Leuven (groene en rode kleuren duiden op een afgenomen, respectievelijk toegenomen, weggebruik). ....	108
Figuur 83: Aantal megabyte aan gegevens dat per fase door de OBU's ontvangen en verstuurd werd. ....	110
Figuur 84: Aantal megabyte ontvangen en verstuurd gegevens per SIM-kaart gedurende de hele periode. ....	111
Figuur 85: Percentage aan ontvangen en verstuurd gegevens per SIM-kaart per fase.....	112
Figuur 86: Overzicht van de aantallen verplaatsingen tussen herkomsten en bestemmingen, gebaseerd op groepen postcodes (blauw/rood duidt op weinig/veel verplaatsingen).....	113
Figuur 87: Overzicht van de aantallen verplaatsingen tussen alle beschikbare herkomsten en bestemmingen afzonderlijk (blauw/rood duidt op weinig/veel verplaatsingen).....	113
Figuur 88: Overzicht van de aantallen verplaatsingen tussen alle beschikbare herkomsten en bestemmingen afzonderlijk (ingezoomd beeld) (blauw/rood duidt op weinig/veel verplaatsingen).....	114
Figuur 89: Geordend overzicht van het aantal verplaatsingen per herkomst-bestemmingspaar. ....	115
Figuur 90: Overzicht van de correlaties tussen de totaal afgelegde afstand per rit en de overeenkomstige genormaliseerde kost die daarbij gemaakt werd, opgesplitst naar ritten tijdens de dalperiodes (blauwe punten) en piekperiodes (rode punten).....	116
Figuur 91: Overzicht van het aantal ritten per proefpersoon per fase. ....	116
Figuur 92: Statistische boxplots van de verdelingen van de totale genormaliseerde absolute kosten per proefpersoon per fase ( <i>links</i> ) en de mediane genormaliseerde relatieve kosten per kilometer per proefpersoon per fase ( <i>rechts</i> ).....	118
Figuur 93: Overzicht van de procentuele verandering van de totale absolute kost van fase 1 (nulmeting) naar fase 2 (wedstrijd) voor alle proefpersonen gerangschikt (= criterium C1).....	119
Figuur 94: Overzicht van de relatieve kost per kilometer van fase 2 (wedstrijd) voor alle proefpersonen gerangschikt (= criterium C2). ....	119
Figuur 95: Een fijner afgestemde tariefbepaling bij een cordontol in Stockholm; tijdens en rond de piekuren is het tarief hoger, daarbuiten is het gradueel lager. ....	126
Figuur 96: Groei van het wegennet versus de afgelegde afstanden in het verkeer, uitgedrukt als een percentage ten opzichte van 1980.....	132
Figuur 97: Verdeling van de uitstoot van PM <sub>10</sub> fijn stof ( <i>links</i> ) en PM <sub>2,5</sub> ( <i>rechts</i> ) per sector; transport (het donkerblauw gedeelte) heeft een bijdrage van zo'n 24%.....	134
Figuur 98: Overzicht van de per seconde gereden snelheid (blauw) en versnelling (rood) gedurende een bepaald traject horende bij een rit voor proefpersoon 'LEUVEN102'. ....	136
Figuur 99: Overzicht van de statistische verdelingen van de snelheid (blauw) en versnelling (rood) voor proefpersoon 'LEUVEN102'. De afgelijnde pieken zijn een gevolg van het vaak rijden met cruisecontrole. ....	137
Figuur 100: De verschillende routes van de showcase via de autosnelweg (groen), de secundaire wegen (geel) en de lokale wegen (rood). ....	147
Figuur 101: De noordelijke route via de N2 (Leuvense-/Brusselsesteenweg). ....	148
Figuur 102: De centrale route via de E40.....	148
Figuur 103: De zuidelijke route via de N3 (Tervuursesteenweg). ....	149
Figuur 104: De noordelijke route via de N2 (Leuvense-/Brusselsesteenweg) en een stuk als sluiptweg binnendoor. ....	149



# 1. Inleiding

In de publieke sector van de mobiliteit treedt er typisch een marktfalen op. Reizigers veroorzaken externe kosten aan zowel andere reizigers als aan de rest van de maatschappij. Zij houden hier zelf geen rekening mee en betalen er bijgevolg ook grotendeels niet voor [Bae12, DDCM10, Mae10]. Dit maakt dat er congestie op het wegennet ontstaat, wat vanuit economisch standpunt kan gezien worden als een inefficiënt gebruik van de infrastructuur door het verkeer. De hoofdoorzaak van deze inefficiëntie is terug te vinden in het eigenbelang van de mensen, wat leidt tot een gebruikersoptimum in plaats van een systeemevenwicht [Mae06]. Een mogelijke oplossing hiervoor is de internalisering van de externe kosten, gekoppeld aan diverse evenwaardige alternatieven (zoals bijvoorbeeld de uitbouw van een geschikte openbaar vervoersnetwerk met goede dienstverlening, meer flexibiliteit qua tijdstippen en plaatsen om te werken, idem voor de dienstensector, ...). Een manier om dit te bereiken is door een kilometerheffing voor alle voertuigen in te voeren, welke ideaal gezien deel van een groter maatregelenpakket uitmaakt. De rationale achter deze vorm van rekeningrijden is dat de bewustmaking over deze kosten een weerslag heeft op de beslissing van de reizigers om bepaalde ritten met privé, openbaar vervoer of niet te maken. Hiermee richt beprijzing zich op gebruik en niet het bezit van de wagen.

In dit project keken we op een kleine schaal door middel van een testomgeving (*'proof-of-concept'* opstelling) na wat de effecten van een kilometerheffing op individuele personen zijn. In een eerste stap stelden we een groep van proefpersonen samen, die allemaal met een privé- of bedrijfswagen rondreden, uitgerust met een *'on-board unit'* (OBU). Deze OBU mat continu de GPS-positie van het voertuig, stuurde deze informatie via het GSM/GPRS netwerk door naar een back-end server die vervolgens bepaalde op welke weg en tijdstip het voertuig reed. Daarna werd, aan de hand van tariefschema's, berekend wat de kostprijs was om met dat type voertuig op dat moment op die plaats te rijden, waarna deze informatie terug naar de reiziger gestuurd werd en op het scherm van de OBU kon afgelezen worden. Op het einde van de rit kon elke proefpersoon de totale kostprijs van elk door hem of haar gemaakte rit raadplegen.

Het project zelf verliep in 3 opeenvolgende fasen, waarbij we in de eerste fase een nulmeting deden en voor elke individuele proefpersoon diens referentiegedrag vaststelden. In de tweede fase werd een wedstrijdelement geïntroduceerd, waarbij het de bedoeling was dat de proefpersonen zich elk zo goedkoop mogelijk verplaatsten. In de derde en laatste fase namen we het wedstrijdelement weg en keken we na in welke mate de eventuele gedragsverandering bij de proefpersonen een blijvend karakter had. In dit verslag lichten we toe hoe Transport & Mobility Leuven het gedragsexperiment begeleidde en alle verdere analyses uitvoerde, inclusief een bespreking van de resultaten.

Het project maakte het concept van een slimme kilometerheffing zeer tastbaar. Het was een concreet afgebakende testomgeving, waarbij de technologie meer dan volwassen en getest is, wat allerlei mogelijkheden biedt. De hoofdresultaten waren dat een slimme kilometerheffing als gepersonaliseerd instrument het gedrag van de bestuurders wijzigt, dat dit voor de overheid sturend werkt en dat het aansluit op het mobiliteitsbeleid. De maatschappelijke kosten verlaagden, er waren minder tijdsverliezen en files, minder sluipverkeer op lokale wegen en in de piekperiode en een verhoogde leefbaarheid en verkeersveiligheid langs de lokale wegen.

*Dr. Sven Maerivoet*  
*Transport & Mobility Leuven*

## 2. Opzet van de proeftuin

### 2.1 Wie waren de deelnemende partijen?

Het project ontstond medio 2009 toen een consortium van bedrijven mee inschreven op een 'Proeftuindossier' van de Vlaamse Overheid (IWT & IBBT). De groep werd getrokken door de Telematics Incubator (T!NC<sup>1</sup>), een zusterorganisatie van ITS Belgium. De bedrijven waren:

- NXP.
- MagicView.
- IBM Belgium.
- NSL.
- T!NC.
- Touring.
- Mobistar.
- Transport & Mobility Leuven.



Nadat het projectvoorstel tot 2 maal toe niet in behandeling werd genomen, besloten de bedrijven alsnog door te zetten, op eigen initiatief en hoofdzakelijk met eigen middelen. Zij ontvingen evenwel financiële rugsteun van de Stad Leuven waar de proeftuin werd uitgebouwd.

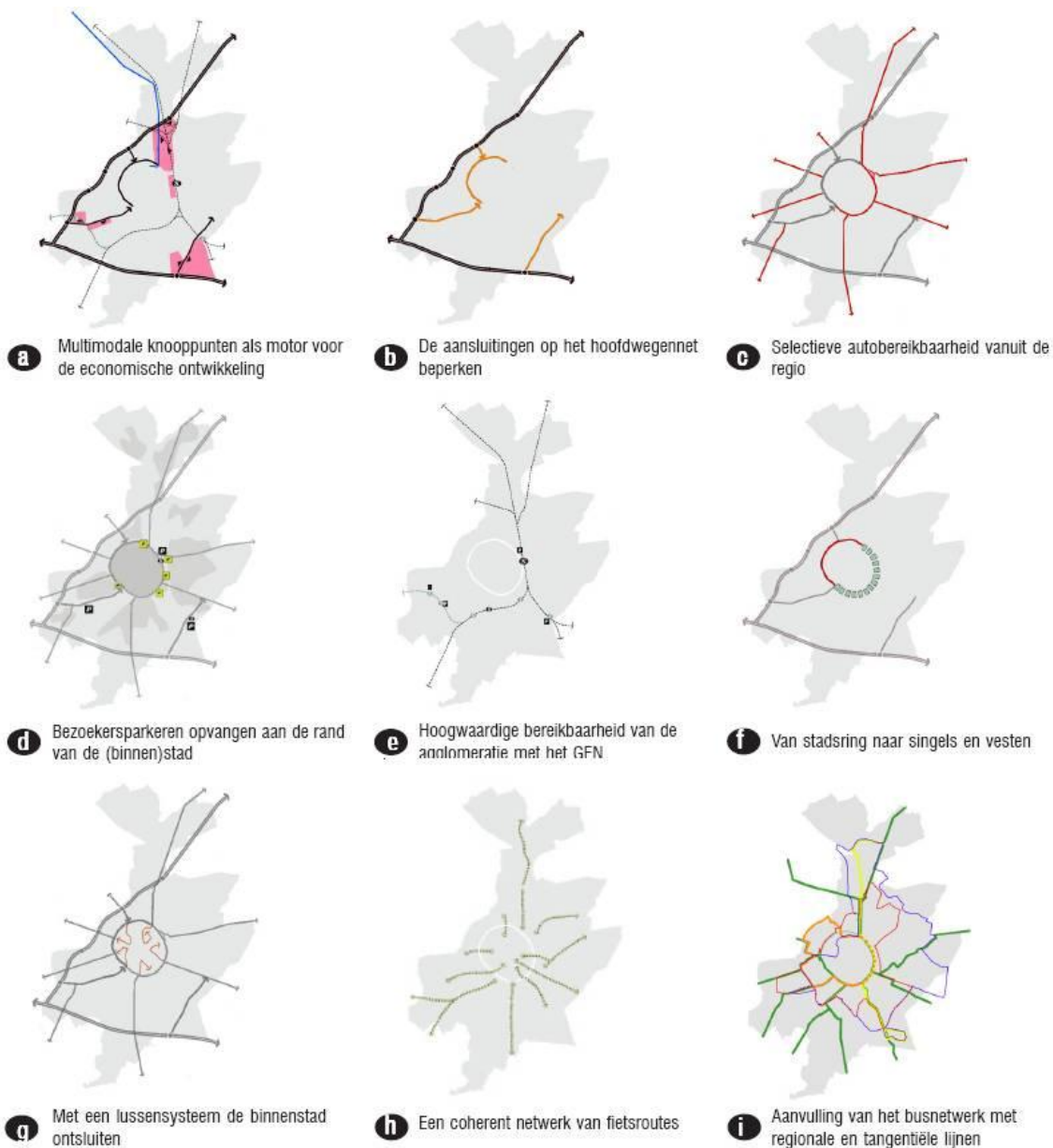
### 2.2 Wat waren de doelstellingen voor de Stad Leuven?

De Stad Leuven stemde toe om enerzijds als locatie voor de proeftuin te dienen, en was anderzijds bereid tot financiële steun aan het consortium. Daarnaast had zij volgende doelstellingen voor ogen:

- De stad positioneren als plaats voor een innovatief platform voor mobiliteitsprojecten.
- 'Meten is weten': zicht krijgen op de verplaatsingen in en rondom de stad.
- Bereidheid om samen met de overheid en de privésector na te denken over mobiliteitsoplossingen:
  - Een slimme kilometerheffing als onderdeel van een maatregelenpakket waarmee de verplaatsingen vergemakkelijken door hun totale weerstanden te verminderen.
  - Een verhoging van onder andere de leefbaarheid en de verkeersveiligheid.

<sup>1</sup> <http://www.its.be/tinc/>

Op basis van het Ruimtelijk Structuurplan Leuven (RSL) werd een deel van het mobiliteitsbeleid in deze proeftuin mee in rekening gebracht [Leu]. Hierin werd de gewenste ruimtelijke structuur voor mobiliteit vastgelegd. Leuven zit 'ingesloten' in de 'kapstok' die wordt gevormd door de E314 en E40 autosnelwegen, waarbij congestie van en naar Brussel tot in het Leuvense te voelen is. Een overzicht van enkele prioriteiten in het mobiliteitsbeleid werd weergegeven in Figuur 1. Een aantal voor deze proeftuin relevante aspecten zijn de functionele aansluiting van de stad op het autosnelwegennet, en een onderscheid in functie tussen de west- en oostkant van de ring rond Leuven.



Figuur 1: Enkele prioriteiten in het mobiliteitsbeleid van de Stad Leuven. Merk vooral (b) en (f) op, waarin enerzijds de aansluiting van de stad op het autosnelwegennet werd weergegeven, en anderzijds een onderscheid in functie tussen de west- en oostkant van de ring rond Leuven werd gemaakt.

## 2.3 Hoe hebben we de proeftuin opgevat?

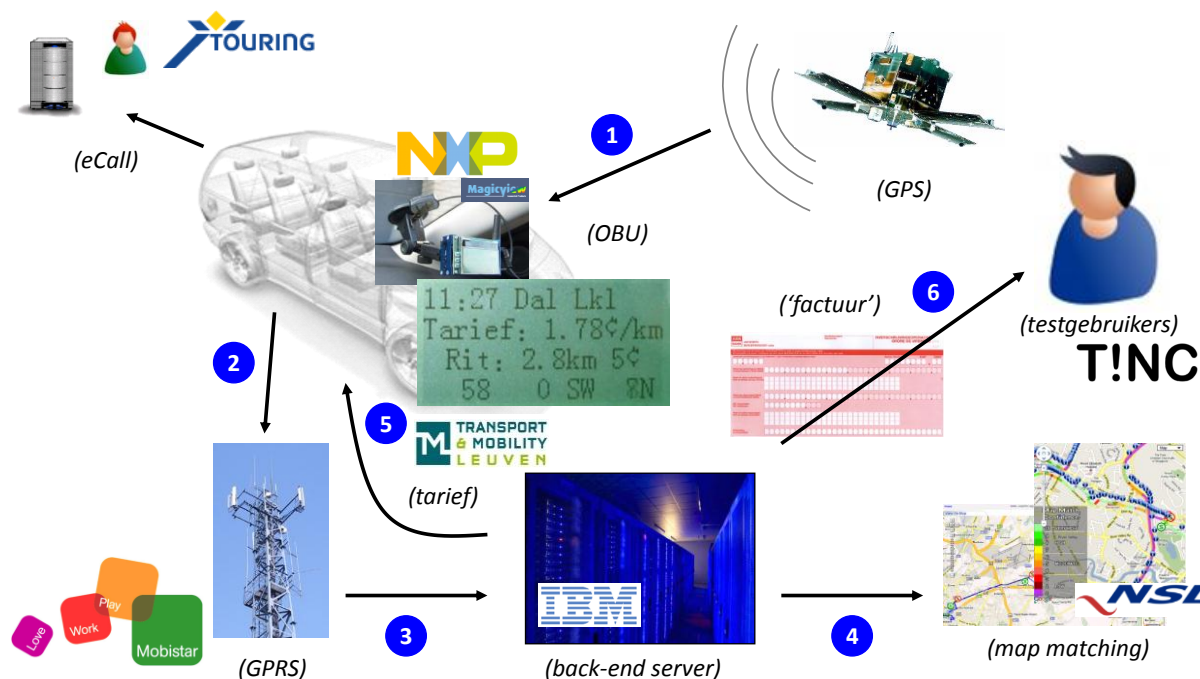
### 2.3.1 Een demonstratie van technologie en beleid

De proeftuin concentreerde zich op 2 belangrijke aspecten:

- Een demonstratie van technologie:
  - Het was een concreet afgebakende testomgeving (*'proof-of-concept'*).
  - Er werd aangetoond dat de technologie meer dan volwassen en getest is, wat allerlei mogelijkheden biedt.
- Een demonstratie van beleid:
  - Een slimme kilometerheffing (in dit project uitgewerkt met een wedstrijd als experiment) kan dienen als gepersonaliseerd instrument om het mobiliteitsgedrag van mensen te sturen (bijvoorbeeld recreatief verkeer mijdt de spits).
  - Door een beprijzing wordt de nadruk gelegd op het gebruik in plaats van het bezit van een wagen.
  - Door de nauwe samenwerking met de Stad Leuven sloot de proeftuin ook aan op het mobiliteitsbeleid van de stad.

### 2.3.2 Hoe werkte het hele systeem?

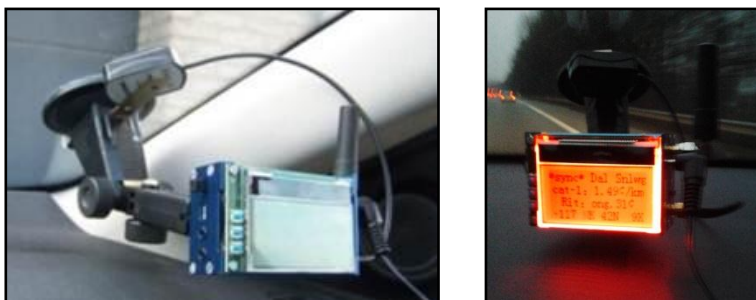
Het hele systeem bestond uit een reeks componenten, afkomstig van de verschillende bedrijven, die met elkaar samenwerkten, zoals te zien in Figuur 2.



Figuur 2: Conceptueel overzicht van de technologische werking van de proeftuin

Verwijzend naar het conceptuele overzicht, werkte het systeem grosso modo als volgt:

- 1) In het voertuig zat een kastje (de *'on-board unit'* of afgekort OBU<sup>2</sup>) dat elke seconde zijn GPS positie registreerde<sup>3</sup> (merk op dat het kastje met volledige eCall functionaliteit uitgerust werd). Het kastje werd met zuignappen aan de voorruit in het voertuig bevestigd en op de 12V-aansteker aangesloten<sup>4</sup>; het bevatte ook een batterij, zodat in geval er geen stroom was, het GSM netwerk uitlag, of de back-end server onbereikbaar was, de gegevens nog altijd bijgehouden konden worden.



- 2) Het kastje bevatte ook een SIM-kaart en stuurde zijn informatie in real-time via het GSM/GPRS netwerk door.
- 3) Alle GPS posities kwamen in een centrale computer (dit is de *'back-end'* server) toe.
- 4) Op de back-end server werden de ruwe GPS posities omgezet met behulp van een digitale wegenkaart, zodat vanaf dan geweten was op welke weg elk voertuig op elk moment reed (dit noemt men ook wel de *'map-matching'*).
- 5) Op basis van het type weg waar een voertuig reed, het tijdstip waarop dit voertuig reed en het type voertuig in kwestie, werd een vooraf gedefinieerd tarief per kilometer via het GSM/GPRS netwerk terug naar de OBU gestuurd. De bestuurder kon dan direct in real-time het huidige tarief van het scherm van zijn OBU aflezen, wat hem/haar directe feedback gaf.
- 6) Op het einde van de rit werd alle informatie samengevoegd tot een enkele virtuele afrekening die de bestuurder via Internet kon raadplegen.

Merk op dat in de praktijk stap (3) voor de proeftuin iets meer om het lijf had. Alle gegevens passeerden eerst langs de gateway server van MagicView, waar een snelle indicatieve map-matching gedaan werd, en waarmee de waarde van het huidige tarief werd gassocieerd. Deze werd dan in real-time terug naar het scherm van de OBU gestuurd. IBM's back-end server verwerkte achteraf volledig en gedetailleerd de gegevens zodat een precieze totale tariefbepaling van de rit kon gebeuren. In een finaal systeem kan dit in principe uitgevoerd worden als een bijkomende informatiedienst. Hierbij kunnen telecommunicatiekosten binnen de perken gehouden worden.

<sup>2</sup> Soms ook wel afgekort als OBE, wat staat voor het meer algemene *'on-board equipment'*.

<sup>3</sup> Merk op dat we in deze proeftuin kozen voor het GPS systeem; het was evengoed mogelijk om een ander systeem, zoals bijvoorbeeld Galileo (Europa) of GLONASS (Rusland) te gebruiken.

<sup>4</sup> Bij het opstarten van de OBU gebruikt deze zijn laatste gekende positie om zo diens *'Time To First Fix'* (TTFF) te verminderen.

## 2.4 Hoe gingen we om met privacy en security?

In het proeftuin werden de proefpersonen elke seconde gevolgd. Natuurlijk riep dit allerlei vragen met betrekking tot privacy op. Om hier meer duidelijkheid in te verschaffen, maakten we een onderscheid tussen enerzijds privacy en anderzijds security.

### 2.4.1 Wat verstonden we onder ‘privacy’?

- Hieronder verstonden we de toestemming die een persoon zelf gaf om zijn/haar gegevens te laten gebruiken door anderen.
- Het bleef een fundamenteel recht voor de persoon om te allen tijde de eigen gegevens op te kunnen vragen.
- Er was evenwel een lichte nuanciering: gegevens zouden in principe ook van rechtswege opgevraagd kunnen worden door het Ministerie van Justitie in het kader van een gerechtelijk onderzoek.
- Onder privacy valt ook de vraag of alle gegevens in de OBU blijven en lokaal verwerkt worden, of dat deze verstuurd mogen worden voor verwerking elders.
- Merk tot slot op dat privacy vaak als gevoelsargument gebruikt wordt om bepaalde debatten te ontkrachten, terwijl men in diezelfde discussies blijkbaar geen probleem heeft met de eigen GSM waarvan de locatie continu geweten is, of de overvloedigheid aan informatie die mensen over zichzelf in de sociale media geven. Het onderscheid tussen de privacy op communicatiegebied en de privacy gerelateerd aan persoonlijke data, wordt evenwel in de Europese wetgeving gemaakt. Deze toepassing valt onder de wetgeving aangaande persoonlijke data.
- Bepaalde databanken met informatie, gebruikersgegevens en dergelijke kunnen fysiek en logisch van elkaar gescheiden worden. Ook moeten de gegevens na een bepaalde periode vernietigd worden.

→ Alle proefpersonen hebben hun formele goedkeuring op papier gegeven voor de analyse en het gebruik van hun gegevens in de context van deze proeftuin. Daartoe tekenden zij een *‘vrijwilligersovereenkomst’* bij aanvang van het project. De 2 belangrijkste punten in dit contract waren:

- de vertrouwelijkheid van de informatie in het project (dit maakte deel uit van een *‘geheimhoudingsovereenkomst’*)
- en een regeling omtrent het gebruik en de opslag van de bekomen gegevens.

→ In de proeftuin hadden we, met betrekking tot privacy, een formele scheiding van de databanken die de identiteiten van de proefpersonen en de gelogde GPS-coördinaten bevatten (zie ook Sectie 2.4.3).

Een privacy analyse voor een volledig operationeel systeem werd uitgevoerd in het IBBT *‘NextGenITS’* project. Naast de scheiding der databanken, werd daar ook een verder gaande data-obfuscatie techniek ontwikkeld die de correlatie van ritgegevens naar identiteit onmogelijk maakte. Het al dan niet vereisen van deze techniek is afhankelijk van het niveau van algemene systeem security niveau en de beveiliging van gegevens [IBB11]. De proeftuin implementeerde slechts enkele elementen uit de NextGenITS resultaten.

## 2.4.2 Wat verstonden we onder ‘security’?

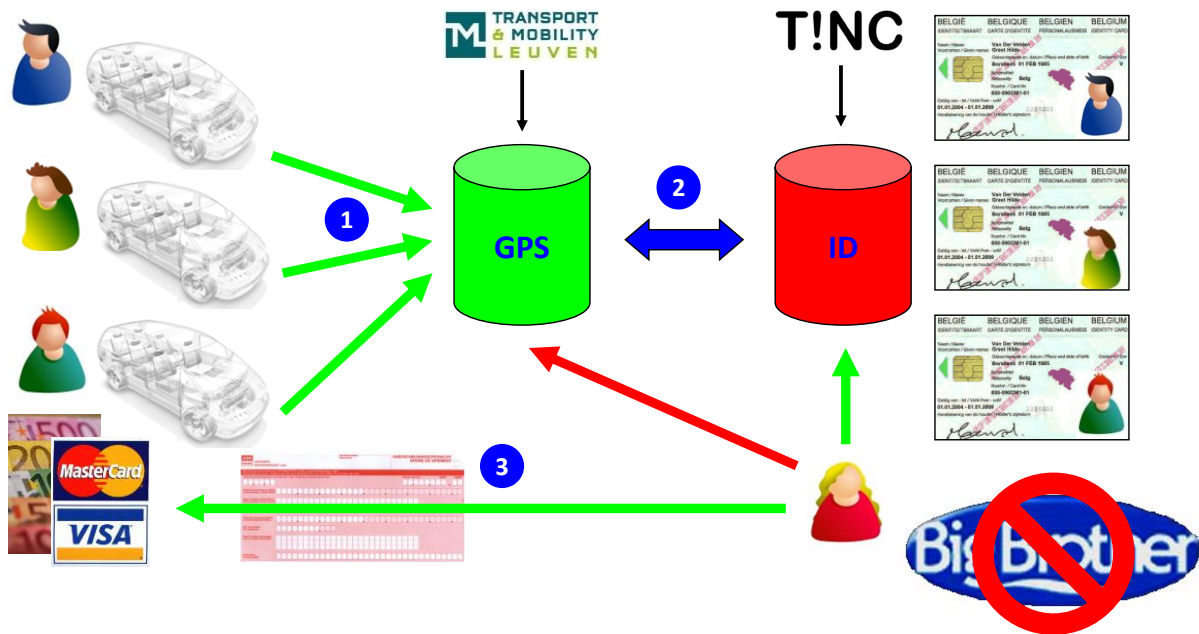
- Hieronder verstonden we de beveiliging en gegevensbescherming die software-, hardware- en beleidsmatig aanwezig was.
- Informatie werd cryptografisch versleuteld zodat deze niet gebruikt kon worden in het geval de gegevens aan piraterij of fraude onderhevig waren (*tamper proof*).
- Verder kunnen ook programmacodes van computers geobfusceerd worden, zodat het moeilijker wordt om *‘reverse engineering’* te doen (hierbij probeert men aan de hand van de werking van een programma de code te achterhalen). Ook heeft dit een ontradingseffect op kwaadwillige wijzigingen. De obfuscatie transformeert alle code op een zodanige manier dat de functionaliteit bewaard blijft, maar dat analyse van de eigenlijke werking moeilijk wordt.
- Fraude kan op verschillende systeemniveaus worden tegengegaan. Voorbeelden zijn detectie van slechte praktijken omtrent de OBU (niet aansluiten, zich anders voordoen dan men is, ...), detectie van afwijkende rijpatronen (vergelijkbaar met een gestolen GSM die plots veelvuldig vanuit een ander continent belt), correlatie technieken op de ontvangen data, ... In deze context is het interessant en efficiënt om uit te gaan van een gecontroleerde preventie in plaats van een intensieve handhaving. Combinaties van technologieën die preventief werken geven een prijs-efficiënte manier om handhaving te doen zonder dat de kosten hiervoor hoog oplopen [MAD09].

➔ In de proeftuin werd security op verschillende niveaus geïntroduceerd en gewaarborgd. Een voorbeelden hiervan was de opsporing van inconsistenties en afwijkingen in het rijgedrag en ritpatronen van de proefpersonen (zowel voor geldige redenen als mogelijks door fraude) tijdens het experiment van de kilometerheffing. Merk tot slot op dat security voor een proeftuin als deze van een ander kaliber was dan deze voor een volledig opgeschaalde regionale of landelijke uitgerolde implementatie. In deze proeftuin werd security eerder als *‘proof-of-concept’* beschouwd om op die manier de mogelijkheden te laten zien.

Een security analyse voor een volledig operationeel systeem werd uitgevoerd in het IBBT *‘NextGenITS’* project [IBB11]. De proeftuin implementeerde slechts enkele elementen uit de NextGenITS resultaten. Het is daarenboven ook mogelijk om privacy en security van in het begin en over de hele technologieketen heen te implementeren als een vereiste van het systeem; deze methode wordt ook wel *‘privacy by design’* genoemd [Cav11].

### 2.4.3 Hoe pasten we deze concepten toe op de proeftuin?

In Figuur 3 lichtten we de principes van privacy en security toe op de proeftuin:



Figuur 3: De concepten van privacy en security uitgewerkt in de proeftuin.

Beschouw hierbij volgende stappen in het proces:

- 1) De anonieme GPS gegevens werden bijgehouden in een centrale databank van IBM waar enkel TML en IBM toegang tot hadden.
- 2) De persoonlijke identiteitsgegevens van alle proefpersonen zaten in een aparte databank waar enkel T!NC toegang tot had. T!NC trad hier als liaison op tussen TML die de gedetailleerde analyses van de ritgegevens deed en feedback aan de proefpersonen gaf, en de proefpersonen zelf. De koppeling tussen beide databanken gebeurde via anonieme identificatie, zodat op geen enkel moment TML toegang tot de persoonlijke gegevens had, noch T!NC toegang tot de gedetailleerde GPS gegevens had. Met andere woorden: TML wist waar mensen reden, maar niet wie het waren, terwijl T!NC wist wie de mensen waren, maar niet waar ze reden.
- 3) In het geval er een virtuele afrekening opgesteld zou worden, dan kon de partij die dit zou doen bijvoorbeeld wel toegang tot de geaggregeerde ritgegevens krijgen, gekoppeld met de persoonsgegevens (om te weten naar wie de afrekening moet gestuurd worden, bijvoorbeeld de eigenaar van het voertuig). De partij in kwestie zou evenwel normaliter geen toegang tot de gedetailleerde GPS gegevens krijgen.

Merk op dat de proefpersonen altijd de volledige inzage in hun eigen gegevens hadden. In een ruimer kader is dit ook belangrijk in het geval er een betwisting zou zijn, waarbij het nodig is dat de overheid aan de proefpersonen dient te bewijzen hoe de hele afrekening samengesteld wordt.



#### 2.4.4 Welke manieren zijn er nog voor security?

In de proeftuin had elke OBU een identificatienummer, wat 1-op-1 gekoppeld werd aan de identiteit van een unieke proefpersoon. Op deze manier kon er feedback van de ritanalyses naar de proefpersonen gestuurd worden. Een verdere stap in deze koppeling kon ook door de OBU met het voertuig zelf te identificeren. Een fraudebestendige manier om dit te doen is door bijvoorbeeld een zelfdestructief **kleefvignet** op de voorruit van het voertuig te voorzien.



Het vignet bevat een elektronische chip, zodat de OBU door middel van 'near-field communication' (NFC) ermee kan communiceren, en weet bijgevolg dan ook in welk voertuig hij zit. Het vignet vormt dan een zogenaamd 'trusted element' en wordt dan ook gebruikt voor cryptografische versleuteling van de te communiceren informatie, waarbij het vignet informatie bevat zoals het type voertuig, de milieukarakteristieken, eventueel de eigenaar, ...

- Het vignet laat ook toe een 'zelfinstallatie' mogelijk te maken. De OBU moet immers in het voertuig aanwezig zijn wil men geldig rekeningrijden. Typisch is een mechanische verankering nodig, wat leidt tot een installatie van de OBU in een (gecertificeerde) garage. Deze handeling is kostbaar en moeilijk. Het vignet kan echter snel op de voorruit gekleefd worden, en daarbij dan visueel aantonen dat de gebruiker lid is van het systeem. Het is enkel door de OBU in de nabijheid van het vignet te houden dat dankzij de NFC een geldige transactie wordt gemaakt. Dit laat ook toe om verdergaande inbreuken op systeemniveau zichtbaar te maken.
- Daarnaast laat deze werkwijze ook toe om bijvoorbeeld defecte OBUs snel te vervangen in service. Extra is ook dat men de OBU preventief veilig kan op bergen wat inbreken ontraadt.
- Voorts kunnen op deze manier ook een groot volume van OBUs direct uitgedeeld worden, door ze ter beschikking te maken via retail. Het idee is dat de OBU en het vignet tot dezelfde 'root of trust' behoren (dit is het elektronisch certificaat van uitgifte door de bevoegde instantie). Zij zullen enkel werken wanneer ze elkaar ontmoeten en elkaar 'herkennen'. Dit concept werd toegepast in het Nederlandse 'Anders Betalen voor Mobiliteit' (ABvM) voorstel.
- De aanwezigheid van de NFC service laat ook toe om via andere contactloze kaarten meerdere authentieke services te laden in de OBU. Op deze manier kan iemand door een identificatiekaartje de rit te betalen die met iemand anders auto werd gemaakt. Een meer directere toepassing van dit principe ligt bij het gebruik van huurwagens van leasing bedrijven.
- Tot slot kan het vignet snel contactloos uitgelezen worden via de voorruit door een applicatie op een smartphone. De OBU kan namelijk ook elektronische data schrijven naar het vignet, wat toelaat om deze te gebruiken als registratie voor (betaald) parkeren.

In een meer realistische context zal het systeem waarschijnlijk zo gebouwd worden, dat de gedetailleerde GPS gegevens ofwel nooit de OBU verlaten (waarbij de berekening dan in de OBU zelf dient te gebeuren), ofwel dat deze zonder menselijke tussenkomst automatisch door computerprogramma's naar een geaggregeerde afrekening omgezet worden. Dit maakt dat afhankelijk van de gewenste specificaties (die in se van overheidswege opgelegd worden) men gaat voor een eenvoudige dan wel een meer gesofistikeerde OBU. In het geval dat de GPS gegevens de OBU niet mogen verlaten, betekent dit dat alle map-matching (cfr. Sectie 2.3.2) in de OBU zelf dient te gebeuren. Voor deze berekeningen heeft die een digitale wegenkaart en tariefschema's nodig, waarna de geaggregeerde informatie naar de overheid gestuurd wordt die dan kan factureren. Een uitgebreidere OBU meer ingebouwde intelligentie heeft ook een hogere kostprijs, waarbij de leveranciers spreken van bedragen tussen de 100 en 400 euro per OBU. Om hier een mouw aan te passen kan men de kostprijs van de OBU beperken tot bijvoorbeeld 5% van de jaarlijkse afrekening, of een maximum bedrag opleggen. Daarnaast zullen leveranciers ook gebruik maken van schaalvoordelen, waardoor ze toegevoegde waardediensten op hun OBUs aanbieden, zoals het kortelings verplichte eCall, of uitgebreidere routenavigatiesystemen (bijvoorbeeld de kortste weg, snelste weg en nu ook goedkoopste weg). Het is ook mogelijk dat de OBU al in het voertuig geïntegreerd zit (OEM), waardoor deze ook toegang heeft tot motorgegevens (verbruik, transmissie, ...).

Merk tot slot ook op dat alle OBUs robuust uitgevoerd werden; zij zijn *'automotive qualified'*. Dit is nodig aangezien zij onder extremere condities moesten blijven werken, zoals bijvoorbeeld temperatuurschommelingen, trillingen van het voertuig, straling, ...

OBUs dienen in een realistisch scenario ook gecertificeerd te worden, waarbij handhaving een belangrijke rol speelt. Dit laatste zal sowieso een deel van het implementatietraject uitmaken, waarbij men bijvoorbeeld steekproefsgewijs de consistentie van de OBUs en de aangerekende kosten nakijkt.

Vermits elk land mogelijks een andere vorm van een (slimme) kilometerheffing zal hanteren, dient men te vermijden dat men voor al die landen een apart type OBU nodig heeft.

Van Europa werd er een richtlijn tot **interoperabiliteit** uitgevaardigd, namelijk *'Directive 2004/52/EC on the interoperability of electronic road toll systems in the EU'* met Decision 2009/750/EC gekend als *'European Electronic Toll Service'* (EETS) [EC04, EC09]. Via deze technische standaarden en randvoorwaarden zorgt de Europese Unie er onder andere voor dat OBUs voor een kilometerheffing in het ene land ook kunnen werken voor de kilometerheffing in een ander land. Daar waar EETS meer de krijtlijnen van een dienst uitzet, was er ook het CESARE IV project<sup>5</sup> (*'Common Electronic Fee Collection System for a Road Tolling European Service'*) waarin een gemeenschappelijk interoperabel EETS kader voor een *'electronic fee collection'* (EFC) systeem werd gespecificeerd, ontworpen, gepromoot en geïmplementeerd.

<sup>5</sup> <http://www.ascap.com/english/projects-cesare4-en.html>

### 3. Uitwerking van een slimme kilometerheffing

In dit deel geven we de praktische uitwerking van de slimme kilometerheffing in de proeftuin. We bekijken eerst hoe files als graadmeter voor mobiliteitsproblemen gebruikt kunnen worden, waarna we alles bekijken vanuit de achtergrond van externe kosten die door het wegverkeer veroorzaakt worden. Vanuit die optiek lanceren we een aantal maatschappelijke discussiepunten die leven omtrent het concept kilometerheffing. Daarna leggen we uit wat het slimme aan de kilometerheffing in deze proeftuin was. Tot slot berekenen we de daarmee overeenkomende tariefschema's (dit is het aantal euro dat per kilometer betaald moet worden) en lichten we het concept van kostenneutraliteit toe.

#### 3.1 Files als graadmeter voor mobiliteitsproblemen

##### 3.1.1 Wat zijn files?

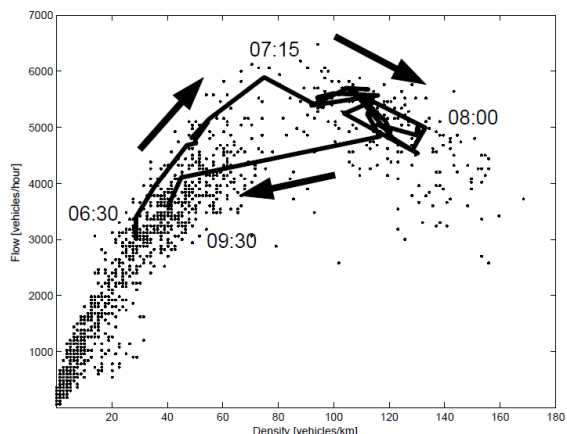
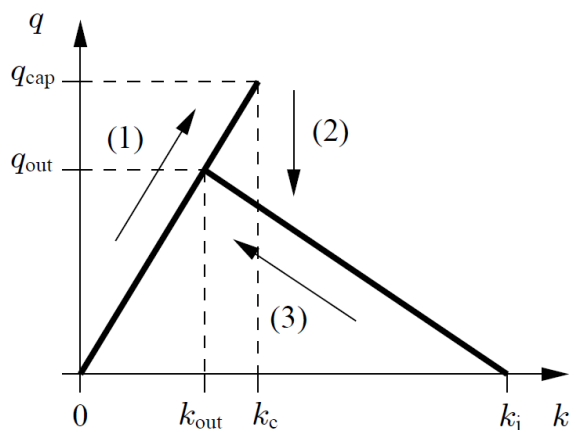
Afhankelijk van welke definitie men hanteert, komt men tot verschillende resultaten. Zoals bijvoorbeeld op 18 oktober 2010, toen er verschillende totale filelengtes in het nieuws gerapporteerd werden [VRT10]:

- Verkeerscentrum: 237 km (autosnelwegen Vlaanderen + Brussel).
- TomTom: 1.295 km (zeer gedetailleerd, ook secundaire wegen).
- Touring Mobilis: 350 km (meer steden, assen, inclusief Wallonië).

Congestie kan op verschillende manieren gekarakteriseerd worden, wat bijgevolg tot verschillende resultaten leidt. Algemeen geldt dat file ontstaat wanneer voertuigen gemiddeld trager gaan rijden. Hierbij rijst de vraag 'Hoeveel trager?'. Voor autosnelwegen is deze vraag nog relatief eenvoudig te beantwoorden: wanneer iemand trager rijdt dan hij of zij normaal in filevrij verkeer kan rijden, dan spreekt men van file. De situatie wordt echter veel complexer op het onderliggend (secundair en lokaal) wegennet: hoe worden bijvoorbeeld files aan kruispunten in steden gedefinieerd, en hoe gaat men in die definitie om met verkeerslichten?

Merk op dat we het hier niet hebben over de oorzaak van een file. Algemeen gezien worden deze veroorzaakt doordat teveel mensen op hetzelfde moment op dezelfde plaats willen rijden. Of anders gesteld: de capaciteit van de wegen is beperkt, waardoor zij niet al het verkeer kunnen verwerken, en er files ontstaan die tot vertragingen leiden. Daarenboven kunnen files ook door ongevallen veroorzaakt worden, en vice versa. Tot slot zijn op de meeste wegen de files een gevolg van de interacties tussen voertuigen (afremmen voor trager rijdende voorliggers, ...), terwijl dit in stedelijke context vaker te maken heeft met kruispunten (en verkeerslichten), dit onafhankelijk van de beschikbare capaciteit.

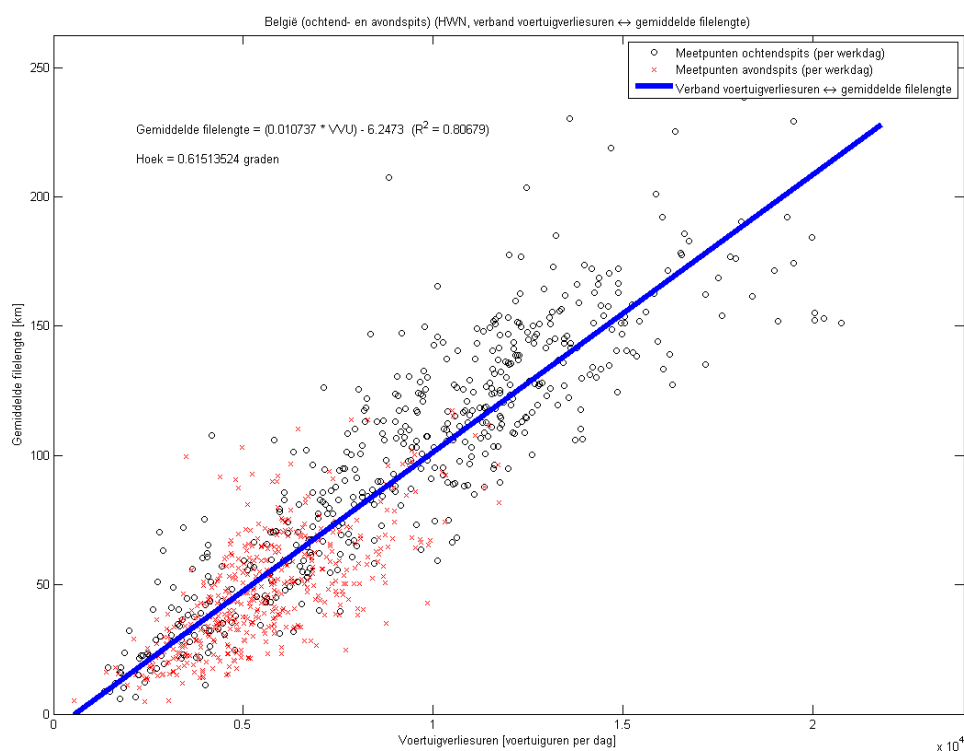
In Figuur 4 zien we links een typisch verkeerskundig fasediagram waarin de verkeersintensiteit ( $q$ ) [uitgedrukt in voertuigen per uur] staat uitgezet tegenover de verkeersdichtheid ( $k$ ) [uitgedrukt in voertuigen per kilometer]. Naarmate het verkeer toeneemt en het drukker wordt, bereikt men sneller de capaciteit (pijl 1), waarna er een capaciteitsval optreedt (pijl 2). Via een hysteresiseffect keert het verkeer uit zware file terug naar een filevrije toestand pas wanneer de verkeersdrukke gevoelig afneemt (pijl 3). In Figuur 4 zien we rechts verkeersmetingen van een camera (CLO3) op de E17 autosnelweg nabij Linkeroever tonen aan hoe het verkeer eerst drukker wordt, een capaciteitsval doormaakt en zich via een hysteresiseffect terug naar een filevrije toestand herstelt. Figuren overgenomen uit [Mae06].



Figuur 4: Een typisch verkeerskundig fasediagram met een hysteresiseffect (*links*). Verkeersmetingen langs een autosnelweg vertonen hetzelfde effect (*rechts*).

Indien men de filelengte uitdrukt in kilometer, dan is dit hoogstens ‘een indicator’ die op zich niet veel zegt. In sommige kortere, hardnekkige files kan men immers meer tijd verliezen dan in langere, meer vlottere files. In de media wordt ook soms de filezwaarte meegegeven, welke wordt uitgedrukt in kilometeruren. Deze indicator is zo mogelijk nog moeilijker te vatten, want bij een filezwaarte van bijvoorbeeld 2 kilometeruren weet je niet of het een file van 1 kilometer was die 2 uren duurde, of de file 2 kilometer lang was en er slechts een uur stond, of ... Filezwaartes zijn hoofdzakelijk nuttig om uitspraken te doen over de evoluties van files over een hele periode en een hele regio, maar zijn niet echt toepasbaar op lokale situaties.

Zelfs indien de filelengte (uitgedrukt in kilometer) gekend zou zijn, dan is het nog niet zo eenvoudig om deze naar voertuigverliesuren om te zetten. Er bestaat weliswaar een grof macroscopisch verband tussen beiden, maar men dient hier op te letten bij het gebruik ervan. In een eerdere studie werd dit verband aangetoond, op basis van metingen uit het START-SITTER systeem tussen 2000 en 2007 [MY08]. In Figuur 5 werd steeds de filelengte (uitgedrukt in kilometer) uitgezet in functie van het aantal voertuigverliesuren (uitgedrukt in aantal voertuiguren per dag), dit tijdens het drukste ochtend- en avonduur (respectievelijk van 8u tot en met 9u en van 17u tot en met 18u) van elke werkdag in deze periode.



Figuur 5: Macroscopisch verband tussen de filelengte en het aantal voertuigverliesuren.

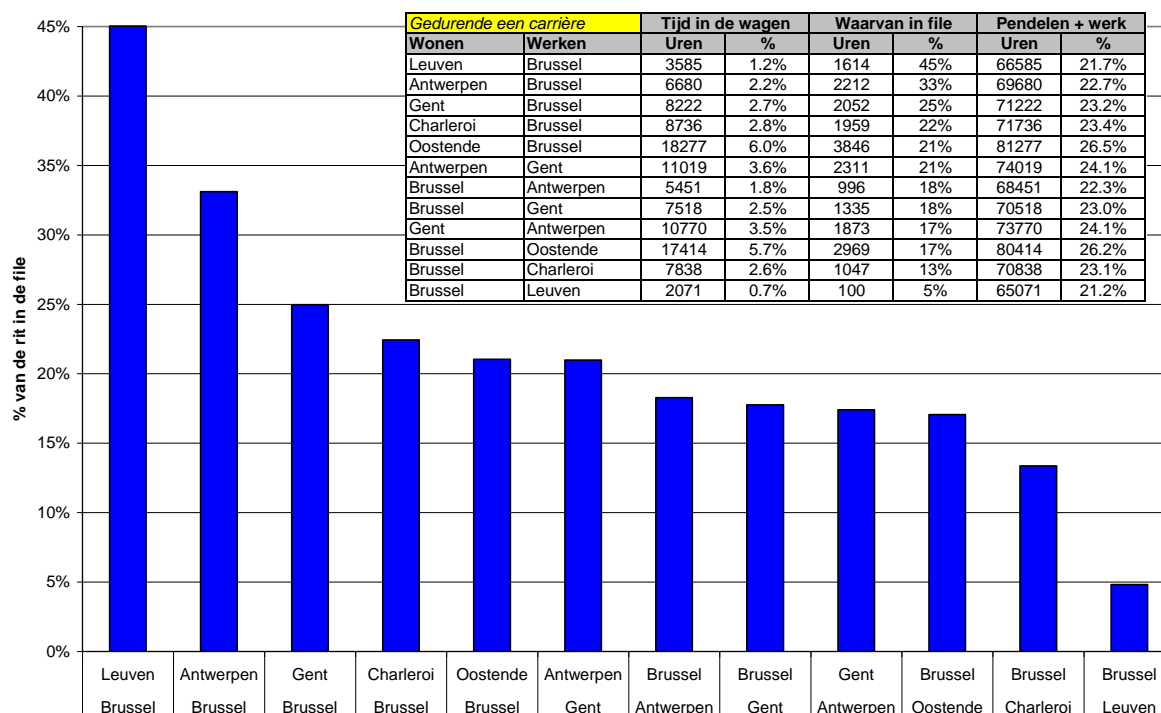
Een dergelijk verband tussen filelengte en het aantal voertuigverliesuren kan voornamelijk gebruikt worden bij extrapolaties naar toekomstige tijdsperiodes maar is niet zo zinnig om verliestijden op korte termijn mee te berekenen.

→ Om de files en hun effecten meer tastbaar te maken, is het daarom aangewezen om te kijken naar **hoeveel tijd mensen extra op de baan** onderweg zijn. De tijd die ze extra rijden, is tijd die ze verliezen tegenover filevrij verkeer; men noemt dit **verliesuren**. Tijd is in dit geval een betere indicatie dan lengte, of een combinatie van beiden. Om de impact van de file in rekening te brengen wordt de verloren tijd daarenboven nog eens vermenigvuldigd met het totaal gemeten verkeersvolume gedurende de periode dat de file er stond. Als bijvoorbeeld 1.000 voertuigen elk 2 uur verliestijd per dag hebben, dan levert dit  $2 * 1.000 = 2.000$  voertuigverliesuren per dag op.

### 3.1.2 Hoelang staat iemand gedurende zijn carrière in de file?

We stelden ons de vraag: “**Hoelang spendeert iemand gemiddeld al pendelend in de wagen, en hoeveel tijd staat hij in de file?**”

Als ‘file’ hanteerden we het criterium dat eerder vermeld werd, namelijk hoeveel tijd mensen verliezen terwijl ze in hun wagen pendelen. We gingen er daarenboven vanuit dat een carrière begin 2010 start en 35 jaar zou duren, gedurende dewelke iemand in dezelfde regio blijft wonen en in dezelfde (andere) regio blijft werken (bijvoorbeeld wonen in Antwerpen, werken in Brussel) [Mae10b]. Dit leverde het overzicht in Figuur 6 (en Tabel) op:

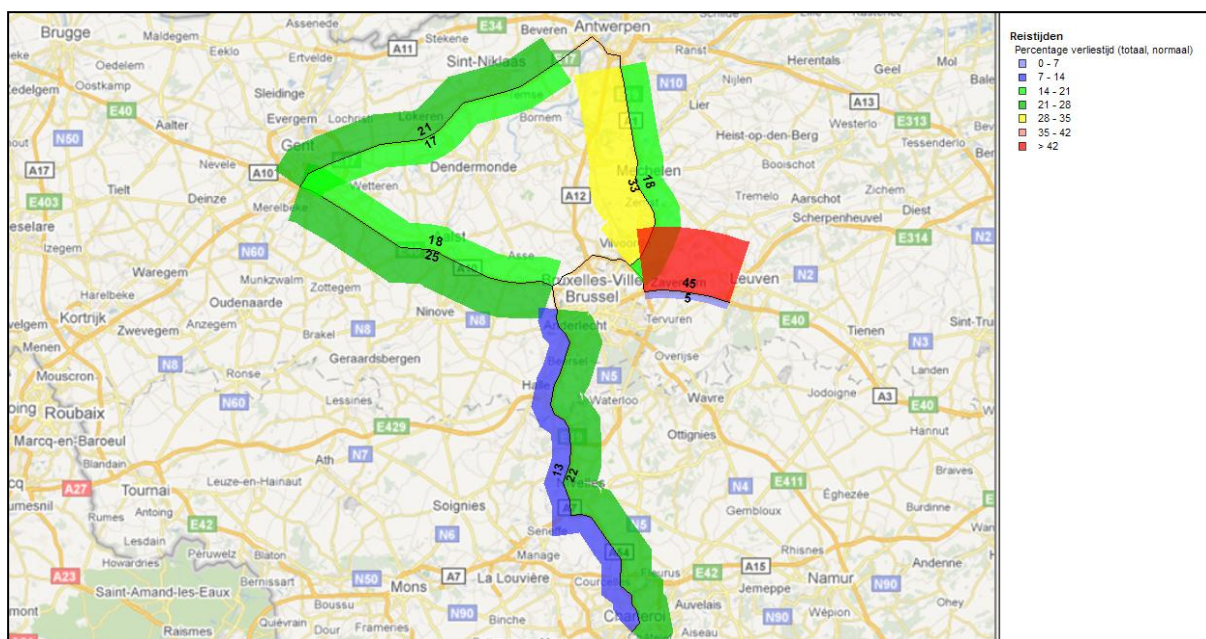


**Figuur 6: Overzicht van de totale hoeveelheid file waar iemand tijdens zijn carrière in staat tijdens het pendelen.**

Keken we bijvoorbeeld naar mensen die in Antwerpen wonen en in Brussel werken (2<sup>e</sup> staafbalk vanaf links, 2 rij in de Tabel), dan zagen we dat ze tijdens hun carrière zo’n 6.680 uren in de wagen van en naar het werk zitten; dit zou op zo’n 2,2% van hun totale tijdsbesteding in die 35 jaren neerkomen. Van die 6.680 uren zouden zij 2.212 uren in de file staan, wat zo’n 33% van hun pendeltijd uitmaakt. In totaal spenderen zij zo’n 69.680 uren aan pendelen en werken, wat overeenkomt met zo’n 22,7% van hun totale tijdsbesteding gedurende 35 jaren.

Frappanter waren zij die in Leuven wonen en Brussel werken; zij spenderen weliswaar ‘slechts’ ruim 3.500 uren in de wagen (de helft van mensen die in Antwerpen wonen), maar staan bijna de helft van hun pendeltijd aan te schuiven in de file. Omgekeerd zijn de mensen die in Brussel wonen en Leuven werken veel beter af, aangezien zij zowel ’s ochtends als ’s avonds tegen de filespitsen inrijden. Zij staan slechts 5% van hun tijd in de files.

We geven dit ook geografisch weer, zoals te zien in Figuur 7:



Figuur 7: Grafisch overzicht van de pendeltrajecten die het meeste filegevoelig zijn.

We hebben de cijfers ook geëxtrapoléerd naar de toekomst toe; we gingen er daarbij vanuit dat mensen hun carrière in 2020 zouden starten. Dit leverde de resultaten in volgende Tabel op:

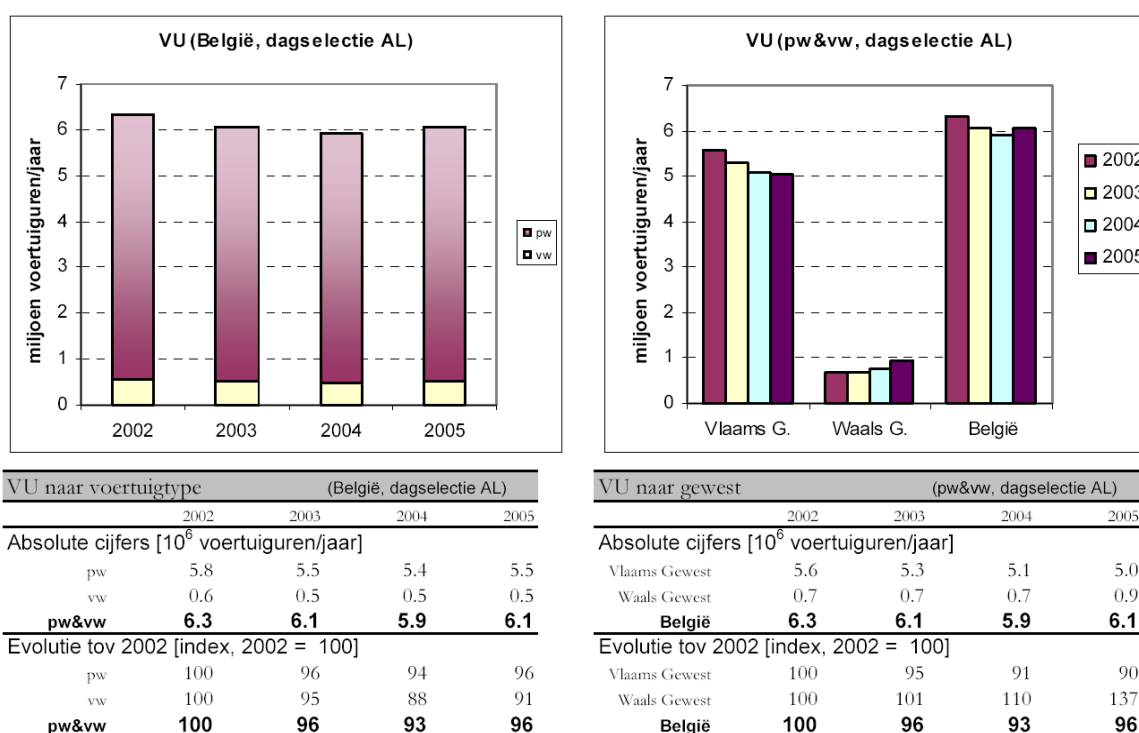
Gedurende een carrière		Tijd in de wagen		Waarvan in file		Pendelen + werk	
Wonen	Werken	Uren	%	Uren	%	Uren	%
Leuven	Brussel	3906	1.3%	1935	50%	66906	21.8%
Antwerpen	Brussel	7120	2.3%	2652	37%	70120	22.9%
Gent	Brussel	8630	2.8%	2460	29%	71630	23.4%
Charleroi	Brussel	8956	2.9%	2179	24%	71956	23.5%
Oostende	Brussel	19042	6.2%	4610	24%	82042	26.8%
Antwerpen	Gent	11478	3.7%	2771	24%	74478	24.3%
Brussel	Antwerpen	5649	1.8%	1194	21%	68649	22.4%
Brussel	Gent	7783	2.5%	1600	21%	70783	23.1%
Gent	Antwerpen	11142	3.6%	2245	20%	74142	24.2%
Brussel	Oostende	18004	5.9%	3559	20%	81004	26.4%
Brussel	Charleroi	7955	2.6%	1165	15%	70955	23.1%
Brussel	Leuven	2090	0.7%	119	6%	65090	21.2%

Merk op de tijdsbesteding in de file overall toenam.

### 3.1.3 Hoeveel file staat er nu?

Het is mogelijk op basis van recente cijfers te kijken naar de lengte van alle files samen. Zoals eerder vermeld, was het belangrijk te weten hoe deze cijfers bekomen werden (zie ook uitleg in Sectie 3.1.1). Touring Mobilis (Be-Mobile) werkte vroeger bijvoorbeeld op basis van anonieme gegevens afkomstig van mobiele telefoons [ML07]; nu werken zij meer op basis van GPS posities van voertuigvloten (bijvoorbeeld leveringsbedrijven). Zij bestaan sinds eind 2006 en hebben mogelijks jaarlijkse statistieken van de gemiddelde dagelijkse filelengtes (uitgedrukt in kilometer), net zoals zij nu in contract met de VRT onder andere een filebarometer op diens website publiceren.

Het is evenwel mogelijk om te kijken naar de **evolutie van het aantal voertuigverliesuren**, zoals in een studie voor de FOD Mobiliteit en Vervoer gedaan werd voor de jaren 2002 tot en met 2005 (de studie werd nadien niet meer geactualiseerd) [Van08]. Hierin werd enkel naar het Belgische autosnelwegennet gekeken, wat samengevat wordt in Figuur 8:

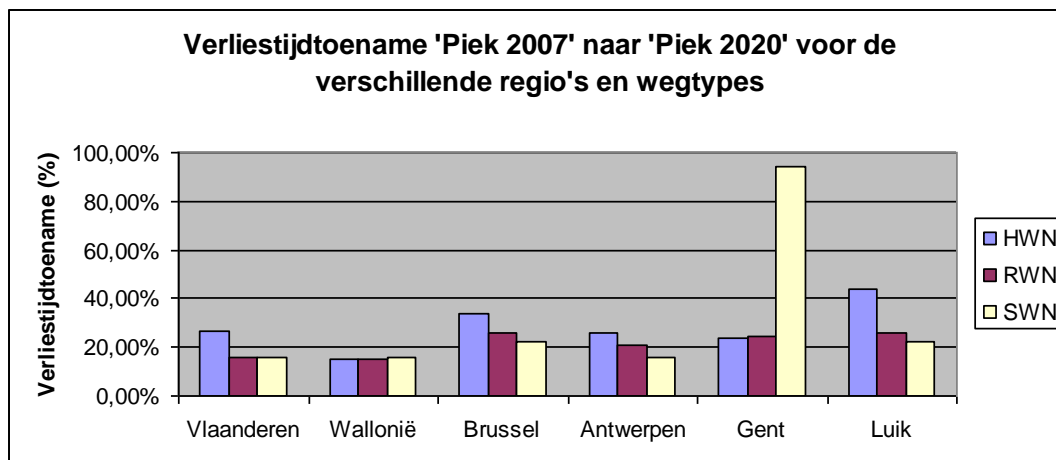


Figuur 8: Overzicht van de evolutie van het aantal voertuigverliesuren op het Belgische autosnelwegennet.

Merk op dat uit voorlopige berekeningen voor 2006 en 2007 bleek dat de voertuigverliesuren zowel in 2006 als 2007 toenamen, resulterend in een niveau dat in 2007 ongeveer 15% boven dat van 2002 gelegen is.



Als we naar de toekomst kijken, dan zullen bij ongewijzigd beleid de verliestijden op zowel het autosnelwegennet (hoofdwegennet, HWN) als het secundaire wegennet (regionale en stedelijke wegennetten, RWN en SWN) toenemen [MY08]. Dit werd grafisch voorgesteld in Figuur 9:

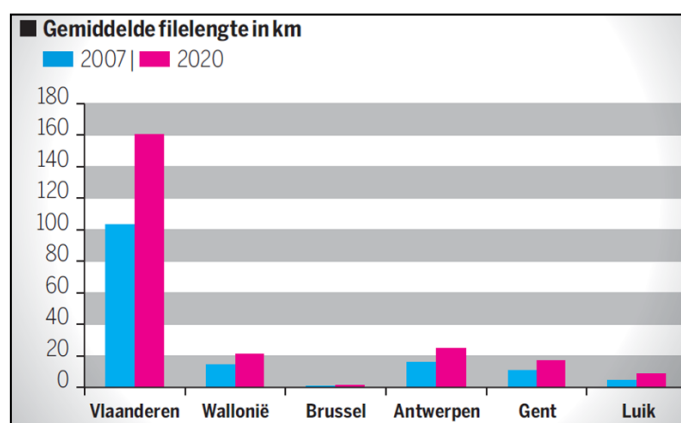


Figuur 9: Toename van de verliestijden bij ongewijzigd beleid in 2020.

Daarnaast hebben we ook gekeken naar de **filelengte op autosnelwegen tijdens het drukste uur in de ochtend- en avondspits**, wat de resultaten in volgende Tabel gaf:

2007 Regio	Gemiddelde filelengtes		Standaardafwijking		
	Ochtendspits	Avondspits	Ochtendspits	Avondspits	
België	139	89	131.6959	131.1348	km
Gewest Vlaanderen	127	79	97.9	94.6	km
Gewest Wallonië	15	15	45.2	56.0	km
Brussels Hoofdstedelijk Gewest	1	1	0.5	0.5	km
Agglomeratie Antwerpen	17	15	12.2	14.9	km
Agglomeratie Gent	12	10	9.9	11.5	km
Agglomeratie Luik	4	5	3.5	4.5	km

Deze files zullen, bij ongewijzigd beleid, in 2020 met de helft langer worden, zoals te zien in Figuur 10:



Figuur 10: Voorspelling van de filelengte [km] tegen 2020.

## 3.2 Externe kosten van wegverkeer als achtergrond

Alle transport brengt kosten met zich mee. De totale transportkosten of de sociale kosten zijn wat het gebruik van de modi kost aan de maatschappij. Deze sociale kosten kunnen we opdelen in twee categorieën [DDCM10]:

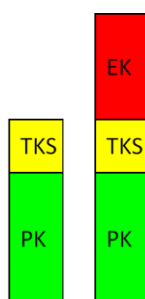
- de private kosten
- en de externe kosten.

De private kosten zijn de kosten waarmee de gebruiker van het transportmiddel rekening houdt bij de beslissing om een rit te maken. Onder deze kosten vallen bijvoorbeeld de aankoopkosten van het voertuig, kosten van verzekering, onderhoud, brandstofkosten, belastingen, de prijs van een ticket, ... De gebruiker van transport is er zich echter wellicht niet altijd van bewust, maar het gebruik van transport veroorzaakt veel hinder. Dit is bijvoorbeeld luchtvervuiling, klimaatverandering, file, geluidshinder, ongevallen en – in het geval van vrachtwagens, spoor, binnenvaart en zeevaart – schade aan de infrastructuur. Deze hinder veroorzaakt de externe kosten van transport. **Deze kosten worden extern genoemd omdat aan elk van die aspecten een prijskaartje hangt dat niet rechtstreeks door de vervuiler betaald wordt, maar door de gehele samenleving.** Ze zijn met andere woorden extern aan de gebruiker.

Voor externe kosten moet men een onderscheid maken tussen gemiddelde en marginale externe kosten.

- **Gemiddelde externe kosten** zijn de kosten die elke gebruiker gemiddeld teweeg brengt gedurende een bepaalde periode, berekend per voertuigkilometer. De gemiddelde externe kosten zijn interessant om weten wanneer men verschillende voertuigen of vervoerswijzen met elkaar gaat vergelijken, in een soort van ‘*top-down*’ verdeling van de totale externe kosten.
- **Marginale externe kosten** zijn de ‘*bottom-up*’ kosten die een extra voertuigkilometer teweegbrengt. In het algemeen zijn de marginale kosten veel hoger dan de gemiddelde kosten. Marginale kosten berekenen is van nut wanneer men optimale taxatie gaat bepalen. Het optimum wordt immers bereikt wanneer de marginale externe kosten gelijk zijn aan de belastingen. Via de belastingen houdt de gebruiker dan wel rekening met de schade die hij veroorzaakt. Met de marginale externe kosten kan men een onderscheid naar plaats, tijdstip en type voertuig maken, waarbij rekening wordt gehouden met niet-lineaire effecten.

We gaven dit grafisch in Figuur 11 weer, waar links de afweging staat die we persoonlijk maken: we houden rekening met onze private kosten (PK), zoals bijvoorbeeld tijd, afstand, ..., en we houden rekening met de taksen (TKS). De effectieve maatschappelijke kost ligt echter nog hoger, waar de externe kosten (EK) er als surplus bijkomen.



Figuur 11: Samenhang tussen de private kosten (PK), taksen (TKS) en externe kosten (EK) die we maken als een individue (*links*) en in groep (*rechts*).

De gebruiker houdt enkel rekening met zijn private kosten en eventuele belastingen en heffingen, maar niet aan de kosten die extern aan de eigen beslissingen zijn. Kijk bijvoorbeeld naar de beslissing om de auto aan de kant te zetten: in de regel doet iemand dit omdat het bijvoorbeeld voor hem/haar persoonlijk te duur wordt wegens hogere aankooprijzen of belastingen (= interne redenen), en niet omdat hij/zij het milieu meer vervuult of meer filelast voor de anderen veroorzaakt (= externe redenen). Omdat we deze externe kosten niet in rekening brengen, leidt dit tot welvaartsverlies.

In dit overzicht bekijken we eerst hoe de tijdskosten van files berekend worden, waarna we een overzicht van enkele van de belangrijkste soorten externe kosten geven.

### 3.2.1 Wat zijn de tijdskosten ten gevolge van files?

De koppeling tussen externe kosten en files wordt onder andere gemaakt op basis van de tijdskosten die in de files oplopen. Om deze te berekenen dienen er verschillende stappen genomen te worden, waaronder de verzameling en opkuising van gegevens, waarna de economische congestiekost van files kan berekend worden.

#### 3.2.1.1 Verzameling en opkuising van gegevens

De economische congestiekost werden reeds berekend op basis van verkeersmetingen die afkomstig zijn van het verkeer op het Belgische autosnelwegennet. Dit wegennet wordt voornamelijk bemeten door middel van **dubbele inductieve lusedetectoren** die zijn ingebed in het wegdek (1 per rijstrook). Deze sensoren zijn eigenlijk lussen van koperdraad die in het asfalt worden gelegd, typisch in een rechthoekige configuratie, zoals te zien in Figuur 12:



Figuur 12: Een voorbeeld van inductieve lussen ingebed in het wegdek [Mae06].



In elk wegsegment ligt een groep lusdetectoren, die allen samen de verkeersafwikkeling op zo goed als het hele autosnelwegennet overzichtelijk in kaart brengen. Per segment worden volgende gegevens gebruikt:

- de lengte van het wegsegment [in km],
- de locatie van het wegsegment [ofwel in latitude/longitude decimale graden, ofwel de kilometerpunten ervan; eventueel ook de plaatscode (bijvoorbeeld E313 Antwerpen-Ranst)],
- de totale voertuigintensiteit [in PAE<sup>7</sup>] voor elke voertuigklasse voor elk uur van de dag
- en de gemiddelde snelheid [in km/u] voor elke voertuigklasse voor elk uur van de dag.

De ruwe meetgegevens op minuutbasis worden gedurende een periode van een jaar geanalyseerd en tot overeenkomstige uurwaarden geaggregeerd. Naar kwaliteit van de metingen toe dienen deze op een correcte en relevante manier voorbereid te worden, bijvoorbeeld met een kwaliteitscontrole en bijhorend validatie algoritme dat zoveel mogelijk foute metingen en gaten in de meetperiode weert, dan wel corrigeert. Nadat alle metingen ontvangen zijn, wordt er een reeks rudimentaire testen op uitgevoerd om te kijken waar zij al dan niet als onbetrouwbaar worden gevlagd. Deze gevlagde metingen worden vervolgens verwijderd en niet vervangen/gecorrigeerd [MYL09].

Merk op dat we meestal geen rekening houden met het onderliggende wegennet, ondermeer omdat dit nog niet voldoende en betrouwbaar bemeten is (dit is wel qua reistijd, maar zeker niet qua volumes, welke hoogstens steekproefsgewijs beschikbaar zijn). Daarnaast zijn de gegevens niet zomaar beschikbaar aangezien deze op een meer commerciële basis via 'floating-vehicle data' (FVD) ingewonnen worden.

### 3.2.1.2 Berekening economische congestiekost

Om de economische congestiekost van het wegvervoer in te schatten, hanteren we voertuigverliesuren als maatstaf, zoals beschreven in Sectie 3.1.1. Deze worden op volgende gangbare en intuïtief begrijpelijke manier berekend:

- We beschouwen de **gemiddelde snelheid** die voertuigen rijden op het wegennet. Indien er geen congestie is, dan kan iedereen aan de eigen lokaal maximaal toegelaten snelheid rijden. Naarmate er meer congestie is, daalt de gemiddelde snelheid die voertuigen rijden.
- Uit de gemiddelde snelheid leiden we vervolgens de **gemiddelde reistijd** per uur van de dag en dit voor alle dagen in de meetperiode af. We kunnen hierbij ook een extra onderscheid maken tussen werkdagen en weekends. Doordat in congestie de gemiddelde snelheid daalt, zijn voertuigen langer onderweg en neemt hun gemiddelde reistijd toe. Hierdoor zal ook de economische kost tengevolge van congestie toenemen.
- Vervolgens vergelijken we deze gemiddelde reistijd met de reistijd die voertuigen hebben indien ze buiten congestie, in filevrij verkeer, zouden rijden. Het absolute verschil van beiden geeft dan de **gemiddelde verliestijd**.
- We weten nu hoeveel tijd mensen extra op de baan onderweg zijn, namelijk de tijd die ze extra rijden bijgevolg verliezen tegenover filevrij verkeer. Naast de berekende verliestijd, houden we ook rekening met het gemeten **verkeersvolume** (uitgedrukt in aantallen personenwagens en vrachtwagens) dat over elk wegsegment rijdt. Deze verkeersvolumes worden vervolgens vermenigvuldigd met de berekende verliestijden, wat ons de totale **voertuigverliesuren** (VVs) oplevert.

<sup>7</sup> PAE = 'personen-auto equivalenten'; deze eenheid wordt als maatstaf gebruikt bij verkeersstromen waarin verschillende types voertuigen rondrijden (dit heet 'heterogeen verkeer') en die de ruimtelijke verschillen tussen de types voertuigen in rekening brengen. Een typisch voorbeeld is een vrachtwagen die als 2 PAE wordt aanzien [Mae06].

Aan elk voertuigverliesuur koppelen we een **tijdswaardering** (*'value of time'*, **VOT**). Deze waarderingen zijn verschillend voor personenwagens en vrachtwagens (*'time is money'*), en daarenboven nog eens afhankelijk van het motief van de verplaatsing. Voor personenvervoer is de tijdskost bijvoorbeeld hoeveel iemand bereid is te betalen om een uur minder lang in de file te staan, of hoeveel iemand zou aanvaarden ter compensatie voor verloren tijd. Voor recreatief verkeer zijn de waarden meestal gebaseerd op onderzoek naar de betalingsbereidheid van mensen (dit zijn de aangegeven versus aan het licht gebrachte voorkeuren, *'stated versus revealed preferences'*). Voor pendelverkeer komt de tijdswaardering ongeveer neer op het uurloon van een werknemer. In het geval van werktijd, is dit voor de personenwagens een opportuniteitskost die hoofdzakelijk door de werkgever gedragen wordt, welke overeenstemt met de brutoloonkost van de werknemer. Iemand die voor zijn of haar werk een uur langer op de baan is, kan immers een uur minder werken, waardoor dit extra geld aan de werkgever kost. De tijdskost is daarenboven ook nog eens afhankelijk van de gebruikte vervoerswijze. De redenering hierbij is dat iemand die bijvoorbeeld in tegenstelling tot met de auto met de trein meerijdt, daar soms ook op kan werken; dit impliceert ook een lagere tijdskost. De tijdskosten staan opgelijst in volgende Tabel, waarbij we onderscheid maken tussen het motief van de verplaatsingen (zakelijk, pendelen of vrijetijd) en de periode gedurende de dag (dal of piek) [TML]:

Motief	Periode	Mio voertuigkm	VOT (euro/voertuiguur)
Zakelijk	Dal	4.566	26,36
	Piek	4.225	26,36
Pendelen	Dal	7.941	13,95
	Piek	8.004	13,96
Vrijetijd	Dal	40.721	7,32
	Piek	18.400	7,31
<b>Gemiddelde</b>			<b>10,58</b>

Uit de Tabel leiden we af dat, rekening houdend met het aantal gereden voertuigkilometer per combinatie van motief en periode, **voor personenvervoer de gemiddelde tijdswaardering zo'n 10,58 euro/uur** bedraagt.

Een analoge redenering geldt voor de kost voor goederenvervoer; hierbij maken we een onderscheid naar het type goederen dat getransporteerd wordt (bulk zoals brandstoffen, bouwgrondstoffen, chemische producten; cargo zoals granen, metalen, plastics, grote machines; of per stuk zoals eetwaren, kleine machines en diverse gefabriceerde goederen), het type vrachtwagen (geklasseerd naar tonnage) en de periode gedurende de dag (dal of piek) [TML]:

Type goederen	Type vrachtwagen	Periode	Mio voertuigkm	VOT (euro/voertuiguur)
Bulk	Zware vrachtwagen (3,5-7,5t)	Dal	399	29,90
		Piek	194	29,81
	Zware vrachtwagen (7,5-16t)	Dal	546	30,37
		Piek	265	30,28
	Zware vrachtwagen (16-32t)	Dal	318	33,26
		Piek	155	33,18
	Zware vrachtwagen (> 32t)	Dal	753	34,23
		Piek	368	34,15
Cargo	Zware vrachtwagen (3,5-7,5t)	Dal	270	30,88
		Piek	132	30,78
	Zware vrachtwagen (7,5-16t)	Dal	371	32,88
		Piek	182	32,79
	Zware vrachtwagen (16-32t)	Dal	429	40,35
		Piek	211	40,33
	Zware vrachtwagen (> 32t)	Dal	608	42,11
		Piek	297	42,14
Per stuk	Zware vrachtwagen (16-32t)	Dal	237	47,89
		Piek	115	47,80
	Zware vrachtwagen (> 32t)	Dal	512	52,71
		Piek	249	23,10
Gemiddelde				36,37

Uit deze cijfers blijkt dat **voor goederenvervoer de gemiddelde tijdswaardering zo'n 36,37 euro/uur** bedraagt. Hierin zit voornamelijk de brutoloonkost van de bestuurder aan de werkgever vervat, en de kost dat het goed op de baan is en nog niet bij de klant aankomt (omdat er dan verlies van economische waarde optreedt) wat gekoppeld is aan de gemiddelde beladingsgraad van het voertuig. Er werd geen rekening gehouden met de brandstofkost, aangezien die component geen werkelijke tijdskost is maar eerder een afstandsgebonden kost; doen we dit wel, dan stijgt deze kost verwacht tot zo'n 50 euro. In de regel geldt ook dat goederen die niet zo gemakkelijk stockeerbaar zijn, eigenlijk 'in transit' worden gestockeerd, waardoor hun VOT hoger komt liggen.

Tijdens een typische piekperiode rijden er gemiddeld zo'n 10% vrachtwagens in de verkeersstroom. Dit geeft een gemiddelde tijdskost per voertuig van zo'n 13,16 euro per uur.

Daarnaast berekenen we ook het aantal gereden **voertuigkilometer** per wegsegment; dit doen we door het aantal voertuigen in een wegsegment te vermenigvuldigen met de lengte van dit wegsegment, waarbij we het verkeersvolume aan vrachtwagens omzetten naar PAEs. Dit geeft ons een extra indicatie voor de drukte tijdens files.

Volgend voorbeeld illustreert deze werkwijze:

*Stel dat we een wegsegment hebben met volgende karakteristieken en metingen gedurende een uur in de piekperiode:*

- Lengte = 10 km.
- Gemeten gemiddelde snelheid = 90 km/u.  
→ Reistijd = 10 km / 90 km/u = 0,1 = 6,7 min.
- Gemiddelde snelheid (filevrij verkeer) = 110 km/u.  
→ Reistijd = 10 km / 110 km/u = 0,09 u = 5,5 min.

*Dit geeft een verliestijd van 6,7 – 5,5 = 1,2 min = 0,02 u. Stel dat op deze sectie 1.500 voertuigen reden, waarvan 1.200 personenwagens en 300 vrachtwagens, dan geeft dit volgend resultaat voor de congestiekost (waarbij we gemakkelijksbalve 11 euro/u en 36 euro/u voor een personenwagen, respectievelijk vrachtwagen, hanteren):*

$$(1200 * 11 \text{ euro/u} * 0,02) + (300 * 36 \text{ euro/u} * 0,02) = 264 + 216 = 480 \text{ euro.}$$

### 3.2.1.3 Enkele typische economische tijdskosten

Pasten we deze redenering toe op de resultaten uit vorige Secties, dan kregen we volgende typische tijdskosten [MY08]:

- In de ochtendspits (genomen van 6u tot en met 9u) tijdens een normale werkdag bedraagt de **gemiddelde filelengte van zo'n 139 kilometer** (enkel op autosnelwegen gemeten).
- In deze files verliezen we zo'n **18.696 uren**.
- Dit komt overeen met een **totale tijdskost van zo'n 245.955 euro**.

Merk op dat deze berekeningen geen rekening hielden met de effecten op het onderliggend wegennet; we gingen er dan ook van uit dat dit niet zo uitgesproken was (in het slechtste geval liggen deze kosten **4 keer hoger dan op het autosnelwegennet**). De gebruikte tijdskosten hielden ook geen rekening met de last die mensen zouden ervaren doordat ze onverwacht te laat op hun werk komen en daardoor vergaderingen en afspraken missen, noch met het feit dat goederen te laat op hun bestemming komen waardoor de logistieke keten in de war wordt gestuurd. Indien we deze ook zouden meegerekend hebben, dan kwamen we op ongeveer het dubbele van de eerder gevonden kost uit.

Ter vergelijking: in februari 2010 hadden we met de **zware sneeuwval** een filekost op het autosnelwegennet van zo'n **2 miljoen euro**. Voor alle wegen bedroeg de economische kost toen zo'n 20 miljoen euro.

Let wel, deze kosten zijn rechtstreeks aan de maatschappij. De totale kosten liggen nog veel hoger (bijvoorbeeld logistieke keten kosten, ...). De doorrekening van indirecte kosten aan de consument werd hier niet in rekening gebracht.

Trekken we deze kosten even door op jaarbasis, dan zagen we dat er in 2005 op het Belgische autosnelwegennet zo'n 6,1 miljoen voertuigverliesuren optraden (zie ook Figuur 8). Als we dit vermenigvuldigen met de eerder berekende gemiddelde tijdskost van 13,16 euro per uur voor een gemiddeld voertuig, dan komt dit in totaal neer op zo'n **80.276.000 (80 miljoen) euro voor heel 2005**. In het slechtste geval komt daar nog eens het onderliggend wegennet bij waar de verliestijden tot 4 keer zo hoog kunnen oplopen. **Dit geeft dan voor 2005 een totale kost op alle wegen in België opgelopen van zo'n 401.380.000 (400 miljoen) euro**.

## 3.2.2 Welke soorten externe kosten bestaan er?

In wat volgt beschrijven we beknopt 5 soorten externe kosten, met het oog op wegverkeer (we beschouwen hier geen trams, treinen, binnenvaartschepen, ...). Voor een compleet overzicht verwijzen we naar een verslag over de verdeling van de externe kosten in Vlaanderen [DDCM10].

### 3.2.2.1 Kosten doordat je tijd verliest

Files zijn een element van de externe kosten van verkeer, omdat de filerijder niet alleen last ondervindt van de file maar haar ook veroorzaakt. **De filerijder neemt de last van de file mee in zijn beslissing, maar het veroorzaken ervan niet**. Congestie treedt op als verschillende reizigers gebruik willen maken van de gelimiteerde transportcapaciteit. Congestiekosten bestaan uit een intern en extern element. Interne of private congestiekosten zijn de gestegen tijds- en operationele kosten die de gebruiker zelf ervaart. De externe kosten bestaan uit de kosten die alle andere weggebruikers ondergaan door de komst van deze gebruiker. Marginale externe congestiekosten treden dan ook op telkens wanneer een extra voertuig op de infrastructuur de snelheid van de andere voertuigen vermindert. Een lagere snelheid heeft als gevolg dat het tijdsverlies en daarbij ook de tijdskosten voor alle weggebruikers toenemen. De totale externe kosten met betrekking tot tijdsverliezen worden gemeten op basis van de verliestijden en de tijdswaarderingen (cfr. Sectie 0).



Merk op dat, gegeven deze definitie, marginale externe congestiekosten het meest relevant zijn voor wegtransport en minder voor geregeld transport zoals spoorvervoer. Voor geregeld transport spreekt men eerder van schaarste van sloten. Een deel van deze schaarste is echter al geïnternaliseerd.

### 3.2.2.2 Milieu (luchtvervuiling en klimaatverandering)

De milieuschadetekosten zijn de kosten door **klimaatverandering** (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O) en **luchtverontreiniging** (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NMVOS, zware metalen, PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub>). Wat betreft de emissies dienen we een onderscheid te maken tussen de uitlaatemissies en de niet-uitlaatemissies. Deze laatste ontstaan door wrijving van de banden met het wegdek; voor fijn stof (bijvoorbeeld roetdeeltjes) en zware metalen worden ze ook mee in rekening gebracht bij de berekening van de milieuschadetekosten. Om de marginale externe kosten van luchtverontreiniging en klimaatsverandering te bepalen vermenigvuldigen we voor alle modi de emissies (in ton per voertuigkilometer) met de monetaire waardering van deze emissies (in euro per ton). Het resultaat zijn dan de marginale kosten in euro per voertuigkilometer. Voor de verspreiding van de emissies worden complexe pluimmodellen gebruikt. Hierbij dient men rekening te houden met de totale hoeveelheid verkeer, landschapsgegevens, woningen, bomen, immissies (dit zijn de concentraties aan pollutanten) en achtergrondconcentraties, ...

In de regel worden volgende pollutanten in rekening gebracht:

- Een hoge concentratie stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) vermindert de longfunctie en veroorzaakt ademhalingsproblemen. Bovendien zorgen de stikstofoxiden voor de vorming van ozon in de onderste luchtlagen. Ozon kan ademhalingsproblemen veroorzaken. NO<sub>x</sub> draagt ook bij tot verzuring (samen met SO<sub>2</sub> en NH<sub>3</sub>). Vroeger was de uitstoot van NO<sub>x</sub> groter door benzine- en LPG motoren dan door dieselmotoren, maar hun uitstoot is nu veel minder door het gebruik van katalysatoren. Nu is vooral de dieselmotor nog veroorzaker van NO<sub>x</sub>.
- Sommige niet-methaan vluchtige organische stoffen (NMVOS) zijn kankerverwekkend en zorgen voor de vorming van ozon in de onderste luchtlagen. Een aantal NMVOS zijn bij inademing schadelijk op zich (longfunctie), enkele zijn kankerverwekkend. NMVOS uitstoot komt vooral van oude benzinemotoren.
- Zwaveloxiden (SO<sub>2</sub>) ontstaan door de verbranding van zwaveldeeltjes in brandstoffen. Het zwavelgehalte van de brandstoffen is in de loop der jaren fel gedaald. Een hoge concentratie van SO<sub>2</sub> is schadelijk voor de gezondheid. De verzuring van het leefmilieu is een rechtstreeks gevolg van de emissie van zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>) en stikstofoxides.
- Zowel het verhoogde voorkomen van luchtwegklachten (astma, bronchitis, ...), het aantal ziekenhuisopnames voor hart- en luchtwegklachten als vervroegde sterfte zijn in epidemiologische studies geassocieerd met de fijn stof fracties (PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub>). De verbanden werden vastgesteld zowel bij kortstondige blootstelling (uren, dagen) aan hoge concentraties als bij langdurige blootstelling (jaren) aan lage concentraties. De kleinste deeltjes dringen het diepst door in de longen, waarlangs ze vrij gemakkelijk en snel in de bloedbaan terechtkomen. PM worden vooral uitgestoten door dieselmotoren. PM wordt niet enkel uitgestoten via de uitlaat maar ook via slijtage van banden, remmen en wegdek.
- CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O zijn broeikasgassen; deze dragen bij tot klimaatsverandering.
- De zware metalen zijn cadmium (Cd), nikkel (Ni), lood (Pb) en chroom (Cr), omdat voor deze zware metalen emissiegegevens voorhanden zijn voor alle beschouwde modi. De impacts van de uitstoot van zware metalen hebben betrekking op effecten op volksgezondheid door blootstelling aan concentraties in lucht en via opname door de voedselketen of drinkwater. Zware metalen komen vrij bij de verbranding van fossiele brandstof en bevinden zich zowel in het neervallende als in het zwevend stof.

- CO, NH<sub>3</sub> en NO<sub>2</sub>, andere zware metalen zoals zink, arseen en koper, formaldehyde en dioxinen worden niet mee opgenomen in de analyse.

### 3.2.2.3 Ongevallen

De marginale externe ongevalskosten van het verkeer zijn de extra ongevalskosten die de gemeenschap draagt als een voertuig een kilometer meer rijdt. Om ervoor te zorgen dat de gebruiker van de infrastructuur in zijn gedrag hiermee rekening houdt, moet er echter gezorgd worden dat deze kosten geïnternaliseerd worden. Dit wil zeggen dat hij evenveel betaalt voor zijn gedrag als de waarde van de schade die hij teweegbrengt. Een groot deel van de externe ongevalskosten zijn al geïnternaliseerd via de verzekering<sup>8</sup>, maar niet alle kosten worden hierdoor gedekt. Ook is een groot deel van de ongevalskosten niet-financieel van aard, bijvoorbeeld de statistische waarde van een mensenleven (wat in principe ook voor het milieu geldt). De externe ongevalskosten zijn afhankelijk van plaats, tijdstip en type voertuig, maar ook van bestuurderskarakteristieken, de ongevalsgeschiedenis, ...

Het achterliggende idee bij de berekening van de marginale externe ongevalskosten is dat wanneer een bijkomende gebruiker de vervoersstroom vervoegt:

- hij zichzelf aan de gemiddelde ongevalskosten blootstelt, terwijl hij geen rekening houdt met alle ongevalskosten,
- hij een invloed kan hebben op het ongevalsrisico voor anderen (over de verschillende modi heen) en daardoor op de geassocieerde kosten voor de maatschappij en deze andere modi.

Wanneer er economische waarden toegekend worden aan deze twee gevolgen dan geven zij de totale (interne en externe) ongevalskosten weer. Het ongevalsrisico in Vlaanderen wordt berekend door het aantal gewonden en doden te delen door het aantal voertuigkilometer. Het aantal doden en gewonden volgens transportgebruikers halen we uit de statistieken van het BIVV (deze maken immers een onderscheid naar de verschillende Gewesten), waarna we deze corrigeren voor relevant gebruik [DDCM10].

### 3.2.2.4 Geluid

De impact van het verkeer op geluid gebeurt analoog aan die op emissies. Eerst wordt gekeken onder welke drempel geluidshinder te negeren valt (in het algemeen is geluid met een lage frequentie minder hinderlijk dan continu geluid). Daarna worden de aantallen huishoudens en mensen die blootgesteld worden aan een bepaald geluidsniveau berekend. Vervolgens wordt de financiële waardering bepaald, welke situatieafhankelijk is. Tot slot wordt de geluidsoverlast toegewezen aan de verschillende voertuigklassen, bijvoorbeeld door een weging aan het aantal voertuigkilometer. Hierbij wordt er ook rekening gehouden met het wegdek, het type banden, de euroklasse van het voertuig, het brandstoftype en de snelheid die een voertuig rijdt.

<sup>8</sup> Een slimme manier om dit te doen is via een verzekering per gereden kilometer, gekend als 'pay-as-you-drive' (PAYD).

### 3.2.2.5 Infrastructuur

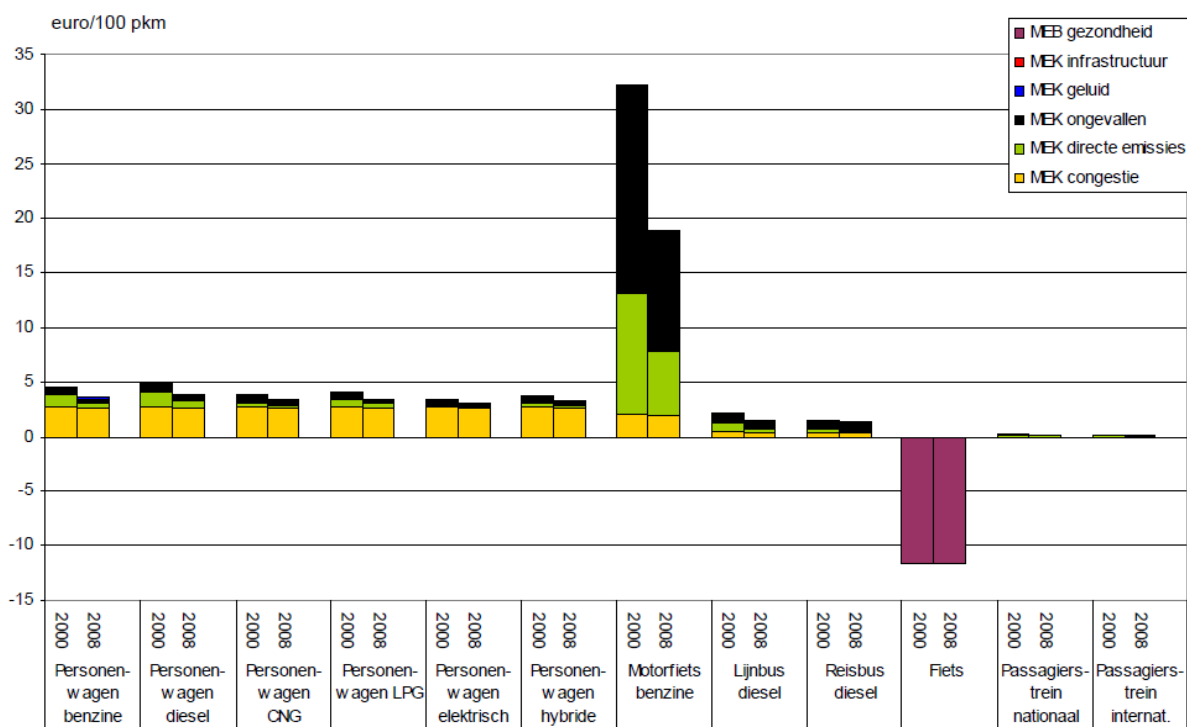
De marginale externe infrastructuurkosten zijn de stijging van de operationele kosten, van onderhoudskosten en van kosten van herstellingen van infrastructuur en technische voorzieningen, die een gevolg zijn van het gebruik van één bijkomend voertuig. In de literatuur worden er drie verschillende methodes gebruikt om deze te berekenen. Deze methoden hebben elk hun voor- en nadelen.

- De econometrische methode: deze methode gaat uit van geobserveerd gedrag, maar het gedrag hoeft niet noodzakelijk overeen te stemmen met de echte technologische noden en dus met de echte marginale infrastructuurkost. Deze methode is ook heel dataintensief.
- Methode gebaseerd op ingenieurswetenschappen: deze methode gaat uit van technische relaties, maar heeft geen verband met wat er echt wordt uitgegeven aan infrastructuur. Ook deze methode vereist heel wat data.
- Kostallocatie methode: in deze methode worden de kosten opgedeeld in vaste en variabele kosten. Net als bij de econometrische methode komen deze kosten niet overeen met de werkelijke noden. Het voordeel van deze methode is dat er minder gegevens nodig zijn.

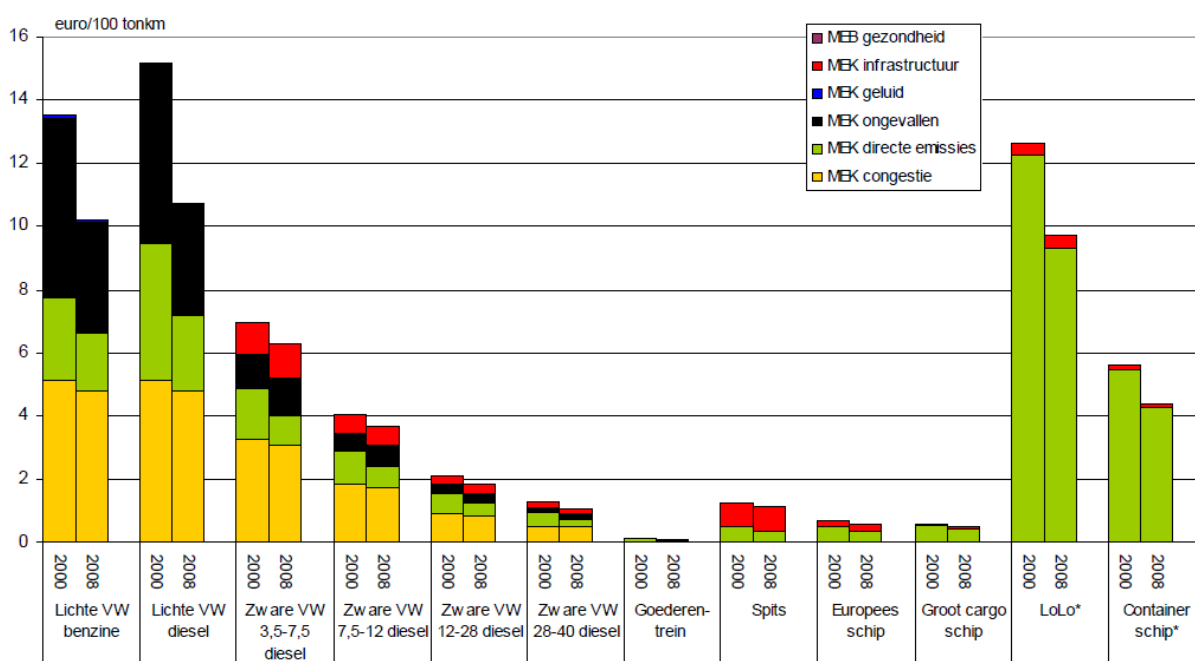
Verlichting, bewegwijzering, onderhoud van de bermen, ... nemen niet toe of af indien er meer verkeer op de baan is. De slijtage van het wegdek is daarentegen wel afhankelijk van het verkeersvolume en meer bepaald van het aantal vrachtwagens. Een bijkomende vrachtwagen beschadigt namelijk in meer of mindere mate het wegdek – de schade hangt hierbij af van zijn aslast. Voor personenwagens zijn deze marginale kosten nagenoeg nul, aangezien de aslast minimaal is. Deze schade leidt tot twee bijkomende kosten: de kosten van de reparatie van het wegdek en de kosten die andere weggebruikers ondervinden omdat de weg er niet goed bijligt.

### 3.2.3 Overzicht van de marginale externe kosten

In Figuur 15 en Figuur 16 geven we een overzicht van de marginale externe kosten (MEK) voor verschillende voertuigtipes, telkens per 100 personenkilometer voor personenvervoer, en per 100 tonkilometer voor goederenvervoer [DDCM10].



Figuur 15: Marginale externe kosten van het personenvervoer (Vlaanderen, 2000 en 2008) in euro per 100 personenkilometer.



Figuur 16: Marginale externe kosten van het goederenvervoer (Vlaanderen, 2000 en 2008) in euro per 100 tonkilometer.

### 3.3 Maatschappelijke discussiepunten

De woorden ‘kilometerheffing’, ‘rekeningrijden’, ‘tol’, ... lokken bij veel mensen zeer uiteenlopende reacties uit. De onvrede en frustratie die soms heerst komt deels voort uit onwetendheid, omdat niet alle nuances gekend zijn, en deels uit vrees voor politiek misbruik, waarbij men uitdrukkingen als ‘extra belastingen’, ‘zakken vullen’, ‘geen eerlijke handhaving’, ... gebruikt.

Aangezien een globale gedragswijziging essentieel is voor het slagen van een slimme kilometerheffing, is het nodig dat er een **breed sociaal draagvlak** gecreëerd wordt. Hiervoor is het noodzakelijk dat alle vragen beantwoord worden, rekening houdende met alle nuances die daarbij horen. In deze Sectie geven we een aanzet van enkele van de regelmatig opgeworpen kwesties die we opvingen uit ons eigen netwerk, familie, vrienden, interviews met de pers, voorstellingen op conferenties, overleg met de politiek, ...

#### 3.3.1 Er heerst een maatschappelijk misverstand

Het is een maatschappelijk misverstand te denken dat een kilometerheffing dient om de mensen uit hun wagen te jagen. Integendeel, de bedoeling van een dergelijke manier van sturing is om een gedragswijziging bij de mensen teweeg te brengen, en hen zo prikkels te geven om minder externe kosten te veroorzaken. We streven ernaar dat mensen moeten nadenken over hun verplaatsingen. Zij dienen na te denken in termen van minimale maatschappelijke kosten in plaats van minimale private kosten (cfr. Sectie 0). Op deze manier wordt niet het bezit maar wel het **gebruik** van een wagen belast. De gevolgen zijn schonere en veiligere wagens, het mijden van piekperiodes en congestiegevoelige locaties, en voor de korte verplaatsingen zal er waarschijnlijk een verschuiving naar fiets en wandelen zijn, ...

#### 3.3.2 De brandstofkosten zijn ontoereikend

Een vaak gehoord bezwaar is dat brandstofkosten al zouden volstaan. Deze opmerking is slechts ten dele waar. Vermits brandstofverbruik 1-op-1 aan de uitstoot van CO<sub>2</sub> gerelateerd is, kunnen de taksen daarop grotendeels aangewend worden om dat deel van de emissie-gerelateerde externe kosten af te dekken. De taksen houden echter geen rekening met bijvoorbeeld ongevallen, of meer nog de tijdsverliezen. Het is niet omdat je extra betaalt terwijl je aan de pomp tankt, dat je daardoor de piekperiodes meer zou mijden.

#### 3.3.3 De files worden niet verplaatst

Een naïeve implementatie van een kilometerheffing, waarbij men bijvoorbeeld enkel het rijden op de autosnelwegen belast, kan het gevaar met zich meebrengen dat de files naar het onderliggend wegennet verplaatst worden. In het geval van een kilometerheffing voor vrachtwagens kan men in principe volstaan door rijden op de meestgebruikte secundaire routes ook te belasten, maar in het geval van personenvervoer is dat ontoereikend. De enige manier om sluipverkeer te weren is door een heffing op alle wegen te doen. Daarnaast dient er ook een evenwicht gevonden te worden tussen het gebruik van het hoofdwegennet van autosnelwegen en het onderliggende wegennet (bijvoorbeeld de secundaire en lokale wegen). Deze afstemming is in se een vertaling van het gevoerd beleid inzake garantie van doorstroming, verspreiding van de verkeersdruk, verhoging van de leefbaarheid en de verkeersveiligheid, ... Het is niet de bedoeling dat al het verkeer louter naar autosnelwegen omgeleid wordt, want dat zou enkel het probleem verplaatsen.

#### 3.3.4 Pendelverkeer heeft er baat bij

Rekeningrijden is niet betalend in de file staan, ook al wordt hier soms onterecht anders over gedacht. Deze stelling klopt echter niet, daar een kilometerheffing er net voor zorgt dat het verkeer op zo een manier verdeeld wordt dat files in de regel verminderen, niet per se volledig opgelost worden. Bijgevolg worden de woon-werkverplaatsingen niet lastiger, maar gaan deze net vlotter verlopen.

Enerzijds is het dus zo dat zij die niet in de piekperiode thuis horen, op een natuurlijke manier uit de verkeersstroom worden gehouden. Kijken we bijvoorbeeld naar het Onderzoek Verplaatsingsgedrag Vlaanderen (OVG), dan blijkt dat het recreatief verkeer tijdens de werkweekverplaatsingen met vertrek of aankomst in de avondspits tussen 16u en 19u ruim 30% van de hele verkeersstroom uitmaakt [MOW09]. Mobiliteit is weliswaar een recht voor iedereen, maar toch mag men bedenkingen maken bij personen die zich tijdens het drukke pendelverkeer extra in de verkeersstroom begeven.

Anderzijds betalen zij die in de piekperiode zitten weliswaar mee, maar hebben ze er ook de voordelen van, namelijk een vlottere doorstroming. Daarenboven dient men het feit dat zij nu reeds met hun eigen tijd betalen niet uit het oog te verliezen (zie ook Sectie 3.2.1.2 in verband met de tijdskosten). Op deze manier wordt het verkeer meer in tijd en ruimte gespreid en zo gebalanceerd, in plaats van alles in de piekperiodes te willen accommoderen. Qua belastingen is het ook zo dat men vandaag voor de auto buiten de piekperiode meer betaalt dan de externe kosten die erdoor worden veroorzaakt. Een manier om hieraan het hoofd te bieden is door bijvoorbeeld de accijnzen op tijdstippen buiten de piekperiode te laten zakken en/of deze tijdens de piekperiode te verhogen.

Het is ook een misverstand te denken dat vrachtwagens bijvoorbeeld uit de ochtendspits geweerd worden door hen daarvoor te belasten. Het percentage vrachtwagens ligt dan slechts rond de 10%. Een belasting van vrachtwagens valt met name meer onder een Europese regelgeving: het is verplicht om de infrastructuurkosten door te rekenen, wat in se neerkomt op de afschrijving van de waarde van de wegen, wat verder gaat dan alleen het onderhoud of de slijtage van de weg. Daarnaast biedt Europa haar de lidstaten ook de mogelijkheid om een deel van de externe kosten door te rekenen. Voor personenwagens is dit niet zo geregeld, en bestaan er op dit moment hooguit lokale projecten zoals bijvoorbeeld in Londen, Stockholm, de péages in Frankrijk, ... (zie ook Sectie 6).

Een slimme kilometerheffing kan ook nog verdere effecten hebben, zoals bijvoorbeeld de variatie in de beginuren van scholen, werkgevers die – in de sectoren waar het mogelijk is – een mobiliteitsbudget ter beschikking stellen, of flexibele uren en/of telewerken introduceren, ...

### 3.3.5 De privacy wordt niet geschonden

De vrees dat mensen hun privacy geschonden zou worden is onterecht, daar deze net gewaarborgd wordt. Vaak ontstaat deze vrees vanuit een onwetendheid of zelfs verkeerde informatie over hoe met de persoonlijke informatie wordt omgegaan. Het is daarbij belangrijk om een onderscheid te maken tussen privacy enerzijds, en security anderzijds. Beide zaken dient men goed van elkaar te scheiden om zo het debat sereen te houden. Een vollediger uitleg is te vinden in Sectie 2.4.

### 3.3.6 Bedrijfswagens vormen geen uitzondering

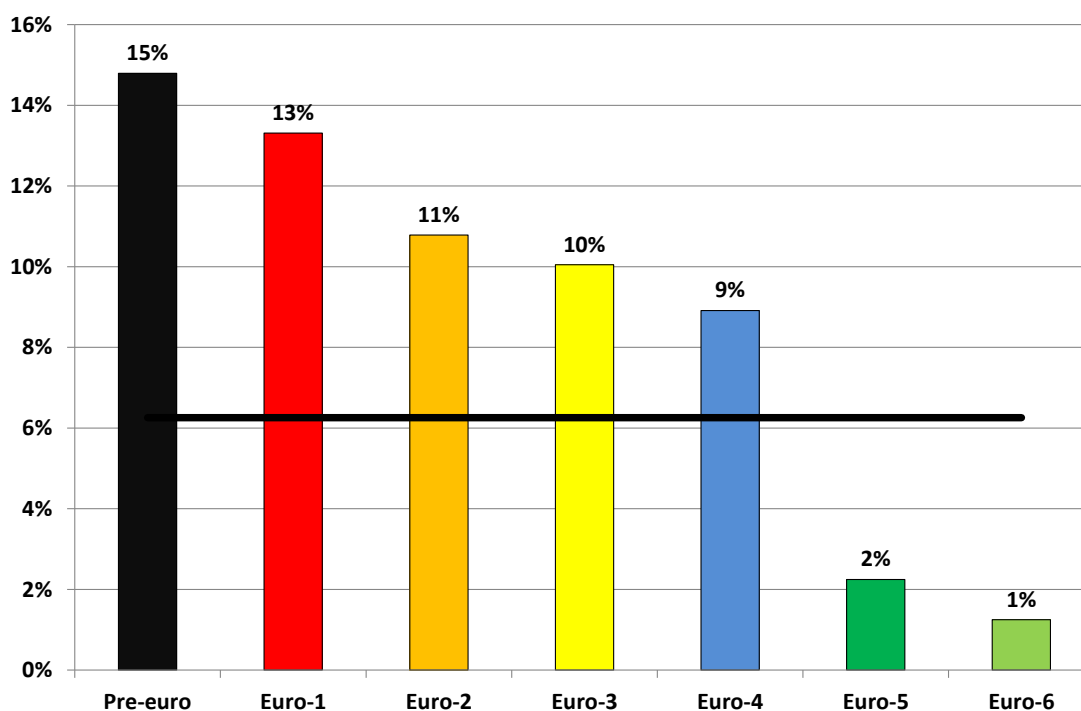
Voor wat bedrijfswagens betreft durft men soms te stellen dat iedereen zal moeten betalen, behalve zij die een bedrijfswagen hebben.

Deze uitspraak vereist echter enige nuancering. Het principe blijft dat het eerlijk moet zijn, en dat kan enkel als iedereen betaalt, zonder gestructureerde uitzonderingen. Wie met een bedrijfswagen rondrijdt, betaalt er in deze dan ook gewoon voor. Het juiste scenario waarin deze betalingen gebeuren, is nog onderwerp van verdere uitwerking. Mogelijke pistes zijn dat met de werkgever onderhandeld wordt en er bijvoorbeeld een vast deel van het loon wordt afgehouden dat via het werk terug naar de kilometerheffing vloeit, of dat deze kilometerheffing expliciet door de gebruiker zelf betaald wordt. Indien iemand echter in opdracht van zijn werk op de baan is (dus geen pendelverkeer), dan lijkt het ook wel logisch dat de werkgever de verantwoordelijkheid draagt om de kilometerheffing zelf te betalen. Dergelijke zaken zijn onderwerp van verdere uitwerking door fiscale specialisten.

### 3.3.7 De maatregel kan sociaal rechtvaardig gemaakt worden

Naast voorgaande aspecten, vormt de vraag naar het sociaal eerlijke karakter van een slimme kilometerheffing vaak een groot bezwaar. Het is niet zo dat de laagste inkomensklassen hier uit de boot gaan vallen, aangezien zij een lage graad van autobezit kennen. Het is de inkomensklasse net daarboven waarvoor men het ontstaan van verkeersarmoede dient aan te pakken. Aan de andere kant van het spectrum zitten zij die een voldoende hoog inkomen hebben, en het zich kunnen permitteren om het milieu te vervuilen. Niettegenstaande zij het milieu wel al meer belasten, betalen ze daar echter nog niet voor. Daarenboven is een slimme kilometerheffing, waarbij men per gereden kilometer betaalt, in de regel al een beter fiscaal principe. De welvaart wordt gemaximaliseerd, doordat mensen worden aangezet om na te denken waar en wanneer ze rijden. Dit maakt het efficiënter dan bijvoorbeeld dan de eenmalige en vaste verkeersbelastingen om met een wagen te rijden.

Al bij al dient een overheid te streven naar een **responsabilisering van de autobestuurders**. Een voorbeeld hiervan zijn gezinnen die zichzelf als ‘normaal’/‘gemiddeld’/‘eenvoudig’ zien, en waarin men 2 wagens heeft. Het is dan vaak beter dat 1 van de partners met de meer ‘propre’ wagen de langere afstanden doet en daarbij de oudere, meer vervuilende wagen aan de kant zet. Als we kijken naar het Belgische wagenpark in 2015, dan blijkt dat het volledige wagenpark zich gemiddeld gezien om de 16 jaar bijna volledig vernieuwt. In Figuur 17 wordt weergegeven hoe van alle vernieuwingen, de meeste bij de oudere, vaak meer verbruikende wagens zal gebeuren, met name de pre-Euro (zwarte balk), Euro-1 (rode balk) en Euro-2 (oranje balk) normen die goed zijn voor bijna 40% van alle vernieuwingen, terwijl de nieuwere Euro-5 en Euro-6 normen slechts een drietal percent uitmaken. De zwarte lijn toont hoe bij het huidige beleid gemiddeld ruim 6% van het wagenpark zich vernieuwt. Merk echter op dat deze groep van 3 oudere types wagens (pre-Euro, Euro-2 en Euro-3) dan slechts 13% van het hele wagenpark zullen uitmaken; de Euro-3 en Euro-4 normen maken dan zo’n 39% van het hele wagenpark uit, terwijl de Euro-5 en Euro-6 normen goed zijn voor zo’n 47% [Van12]. Het feit dat zij die met een oudere, meer vervuilende wagen rondrijden bij een slimme kilometerheffing hiervoor meer zouden moeten betalen, valt onder het collectief opnemen van onze maatschappelijke verantwoordelijkheid.



Figuur 17: Relatieve percentages van de vernieuwingen van de Belgische voertuigvloot in 2015, opgesplitst naar Euro normen. De zwarte lijn duidt op het gemiddelde van ruim 6%.

De impact van een kilometerheffing staat of valt ook bij een nuttige besteding van de opbrengsten. Het is welvaartseconomisch gezien niet het meest optimale om een deel ervan terug naar het verkeer te laten vloeien, maar dit is wel nodig om het maatschappelijk draagvlak te verhogen. Dit kan dan bijvoorbeeld door gerichte investeringen in infrastructuur (waarvan aangetoond is dat deze een positieve baten-kosten verhouding hebben). Er is daarbij geen reden om extra subsidies aan openbaar vervoer toe te kennen. In plaats daarvan dient men de kostendekkingsgraad te laten stijgen. Hetzelfde geldt voor investering zoals bijvoorbeeld bij de aanleg van vrije busbanen: het is beter om dan eerst te kijken of deze geen noodzakelijke capaciteit van het autoverkeer opeisen. Het blijkt economisch gezien beter dat deze subsidies voor openbaar vervoer eerder in een mobilitetsbudget voor de lagere inkomens omgezet worden [MP04]. Dit budget kan ook afhankelijk van het inkomen gemaakt worden. Vanuit het standpunt van herverdeling gezien maak je zo het systeem eerlijker doordat je het toch terug in mobiliteit investeert, en de lagere inkomens de keuze laat hoe zij het geld aan hun eigen mobiliteit te besteden (merk op dat het basisdecreet mobiliteit stipuleert dat iedereen in Vlaanderen binnen de 500 meter toegang tot het openbaar vervoer moet krijgen).

Indien we deze redenering op een hoger vlak tillen, dan stellen we dat de opbrengsten nog beter kunnen aangewend worden door de **belastingen op de arbeid te verminderen**. Dit is (1) **welvaartseconomisch gezien optimaler**, en (2) beter voor de laagste inkomens. Daardoor kunnen er meer mensen aan de slag gaan, wat eenieder een juistere prikkel geeft om een werkplaats dichtbij de woonst te kiezen (of vice versa). Op deze manier kan het beleid rond ruimtelijke ordening ook zo beter afgestemd worden op de mobiliteitsnoden van mensen.

Een slimme kilometerheffing werkt directer en heeft een globaler effect dan bijvoorbeeld louter infrastructurele maatregelen. De keuze naar waar deze bestedingen dienen te vloeien, dient uiteindelijk wel op politiek vlak gemaakt te worden.

### 3.4 Wat verstonden we onder een slimme kilometerheffing?

Willen we een kilometerheffing als beleidsinstrument voor rekeningrijden hanteren, dan is het nodig dat dit op een slimme manier gedaan wordt.

De doelstelling van de Vlaamse overheid is dat de **hiërarchie van het wegennet** optimaal gebruikt wordt. Dit houdt in dat men het hoogste niveau (autosnelwegen) zo veel mogelijk gebruikt, en op die manier het secundaire wegennet ontlast door sluiptwegen te mijden. Dit houdt in feite een balans in, tussen enerzijds de autosnelwegen stromend houden en anderzijds de woonwijken leefbaar houden. Uiteraard vereist dit een afstemming tussen de verschillende niveaus. In België gaat dit verder dan enkel maar de verschillende types wegen. Politieke besluitvorming omtrent dergelijke ingrijpende aspecten van ons leven komt vaak moeilijk tot stand, waarbij er een afstemming tussen de het Vlaamse Gewest, het Brussels Hoofdstedelijk Gewest en het Waals Gewest nodig is. In eerste instantie mondde dit bijvoorbeeld uit in een typisch Belgisch compromis, waarbij een elektronisch vignet overeen werd gekomen dat de bestaande verkeersbelasting zou vervangen. Een doorvoering van een slimme kilometerheffing vereist echter een grondige hervorming van de autofiscaliteit (belastingen worden nu bijvoorbeeld federaal geïnd en gewestelijk verdeeld). In deze proeftuin kozen we voor een variabilisering van de bestaande verkeersbelasting, waarbij we de belasting op de inverkeerstelling (BIV) negeerden (zie ook Sectie 3.5).

Vermits de capaciteit van het wegennet beperkt is, leidt dit bij een gewone herverdeling in de regel tot **congestie**. Om hieraan het hoofd te bieden dient men een onderscheid te maken tussen piek- en dalperiodes.

Daarenboven rijden we ook met verschillende **soorten voertuigen**, welke een verschil in uitstoot, geluid, schadelijke effecten, hebben (zie ook de uiteenzetting over externe kosten in Sectie 3.2.2).

→ Bijgevolg dient een slimme kilometerheffing onderscheid te maken tussen de plaats **waar** men rijdt, het tijdstip **wanneer** men rijdt, en het type voertuig **waarmee** men rijdt. Men spreekt dan ook wel van een 'gedifferentieerd tarief' [Mae10c].



Merk op dat uit eerder onderzoek bleek dat het belangrijk was om inzicht te krijgen in de reactie van gebruikers op de complexiteit van tariefschema's [BLT06]. Samenvattend bleek dat gebruikers een algemene afkeer hebben van waargenomen complexiteit, waardoor ze er bijvoorbeeld naartoe neigen om de aankoop van producten met complexe tarieven te mijden, en een afgenomen capaciteit hebben om prijzen accuraat in te schatten. In dit laatste geval doen ze dit niet langer nauwkeurig maar schakelen ze eerder over op heuristieken om de waarde voor zichzelf in te schatten.

De accuraatheid van de gebruikte heuristieken hangt daarbij af van de 'vanzelfsprekendheid' van een structuur in de prijs en de beschikbare informatie hieromtrent. Om de impact van de complexiteit van tariefschema's op de gedragsrespons op rekeningrijden te voorspellen, is het daarom nodig dat gebruikers informatie over diverse zaken hebben, waaronder:

- De specifieke aspecten van het onderscheid in prijzen dat gebruikers als complex ervaren.
- Het bestaan van verschillende gradaties van complexiteit.
- Of de complexiteit als binair aanzien kan worden (een tariefschema is ofwel eenvoudig ofwel ingewikkeld), of dat deze eerder als iets continu ervaren wordt.
- Of de prijszetting in een of andere vorm als een 'straf' bovenop de werkelijke prijs ervaren wordt.

Daarenboven is het ook handig om informatie te hebben over hoe de gedragsrespons met toenemende ervaring varieert ten opzichte van een gegeven graad van complexiteit.

In deze proeftuin hebben we bij de afleiding van de tariefschema's voor de kilometerheffing rekening proberen houden met de complexiteit die deze met zich mee brengen. Het voorgestelde tariefschema bleek een goede afweging te zijn tussen hanteerbare complexiteit enerzijds en een voldoende geschikt noodzakelijk onderscheid voor slimme mobiliteit anderzijds.

### 3.4.1 Onderscheid naar de plaats waar men reed

#### 3.4.1.1 Opsplitsing in verschillende wegcategorieën

Vanuit het Vlaams Gewest (Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen, RSV) werden volgende wegcategorieën voorop gesteld:

- Categorie VG1: hoofdwegen (bijvoorbeeld autosnelwegen).
- Categorie VG2: primaire wegen met subcategorieën VG2.1 en VG2.2.
- Categorie VG3: secundaire wegen met subcategorieën VG3.1, VG3.2 en VG3.3.
- Categorie VG4: lokale wegen met subcategorieën VG4.1, VG4.2 en VG4.3.

In categorie VG3 werden de provinciale wegen gewestwegen, maar mochten de provincies zelf de opdeling met subcategorieën toekennen. Analoog hieraan mochten de gemeentes zelf de opdeling met subcategorieën toekennen aan categorie VG4.

Op basis van voorgaande opdeling, maakten we, in overleg met de Stad Leuven, drie categorieën. Deze werden gebruikt om de differentiatie naar het type weg beter af te lijnen. De categorieën waren:

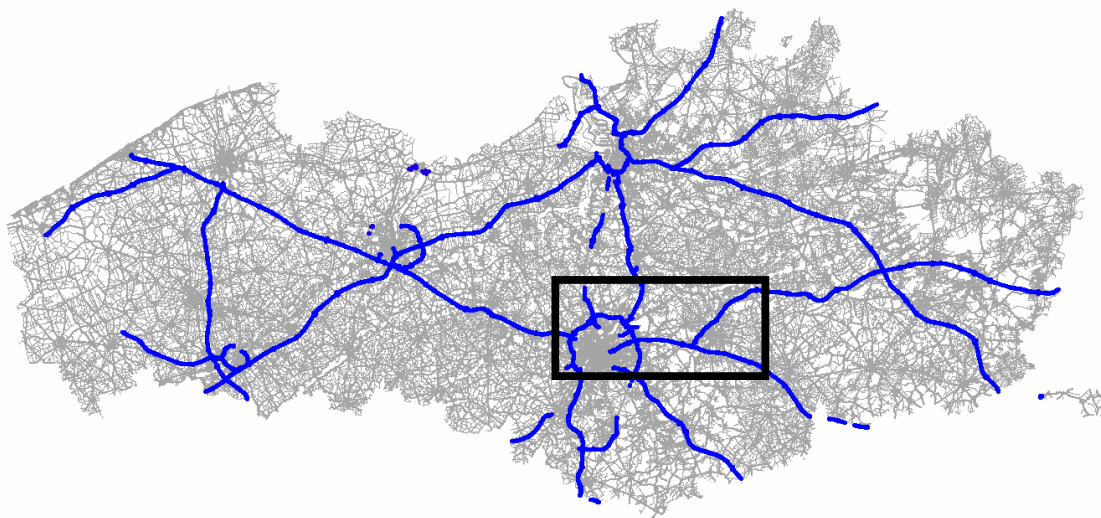
- Categorie W1: VG1 + VG2.
- Categorie W2: VG3.
- Categorie W3: VG4.

Merk op dat het onderscheid naar het type weg niet als enige criterium voor een onderscheid naar plaats kon gehanteerd worden. We konden bijvoorbeeld aanvullend een ruimere definitie gebruiken die ook rekening hield met cordonzones en dergelijke. Het systeem dat in deze proeftuin uitgewerkt werkt, liet dit soort indeling technologisch perfect toe.

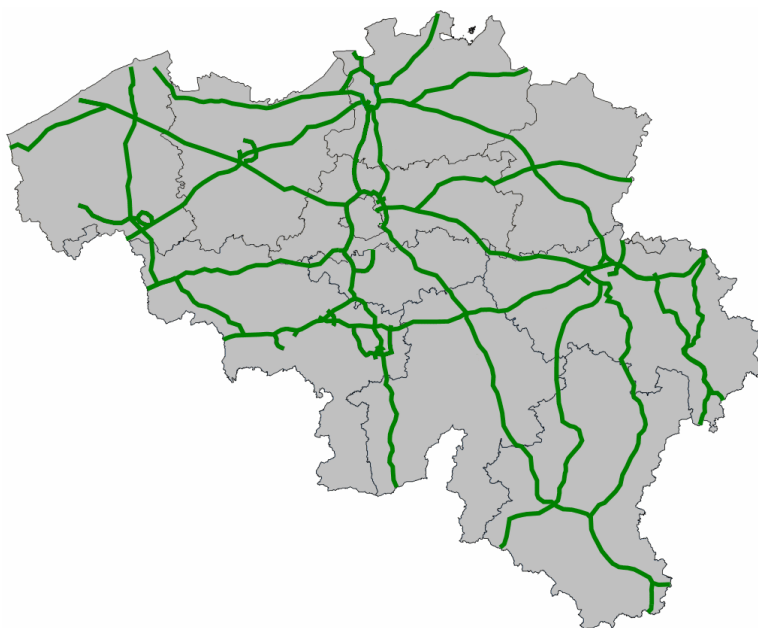
### 3.4.1.2 Regionale afbakening van het gebied voor de slimme kilometerheffing

Het studiegebied bestond uit twee delen:

- Een groot gebied waarin geen tarifiëring geldt. We maakten wel een onderscheid tussen autosnelwegen en hun op- en afritten (categorie W4) en alle andere wegen (categorie W5). Dit gebied wordt weergegeven in Figuur 18, waarbij de autosnelwegen in het blauw zijn aangeduid en de andere wegen in het grijs. Merk op dat we ook de autosnelwegen in Wallonië meenemen, zoals te zien in Figuur 19.

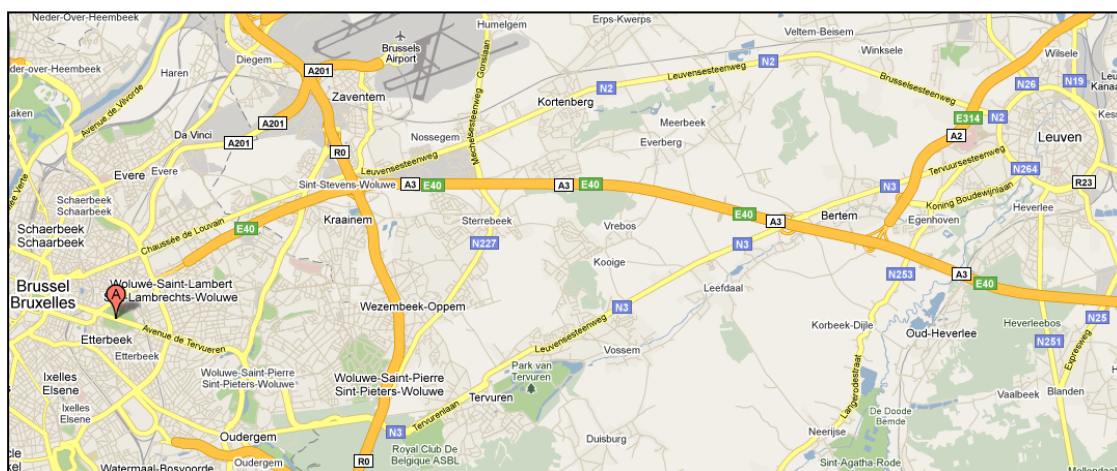


Figuur 18: Overzicht van de autosnelwegen in Vlaanderen (de zwarte kader duidt het gebied aan waarin de slimme kilometerheffing actief was).



Figuur 19: Overzicht van alle autosnelwegen in België.

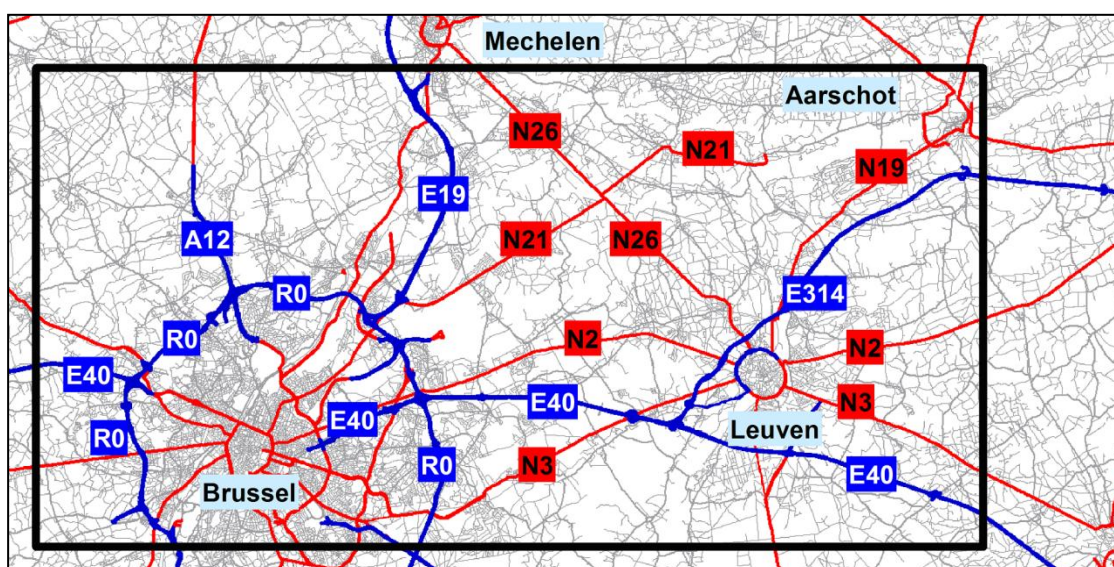
- Een gedetailleerder gebied (afgebakend door de zwarte rechthoek in Figuur 18) waarin we de autosnelwegen, secundaire en lokale wegen apart tarifieerden (3 wegcategorieën). Figuur 20 toont een wegenkaart met daarin een deel van het studiegebied dat tijdens de showcase werd gebruikt [Mae10c].



Figuur 20: Een wegenkaart van een deel van het studiegebied tijdens de showcase.

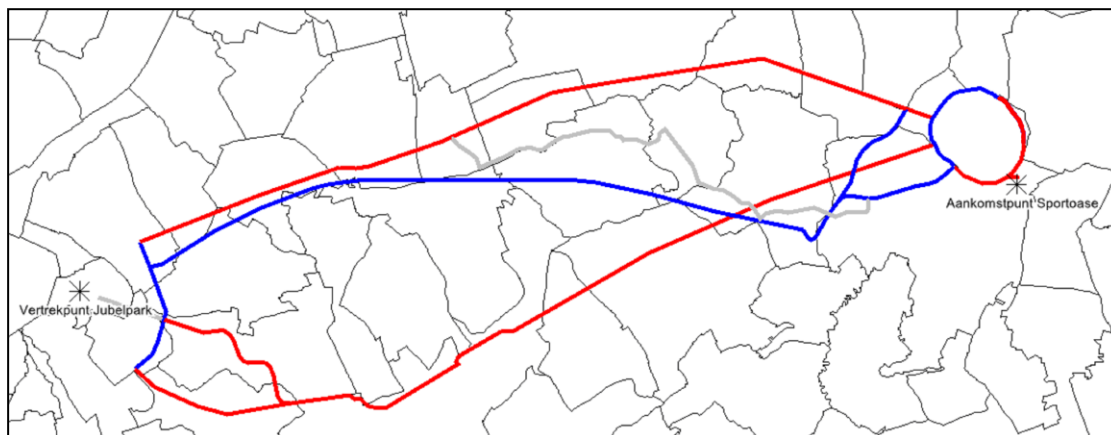
In Figuur 21 tonen we een closeup van het studiegebied in de zwarte rechthoek, met daarin:

- de autosnelwegen in het blauw gekleurd als **categorie W1** (het betreft hier voornamelijk de A12, E19/A1, R0, E40/A3 en E314/A2, en enkele beleidsmatige aanpassingen zoals de N25 (Meerdalboslaan) en de N264 (Koning Boudewijnlaan) en de westkant van de R23 ring rond Leuven),
- enkele secundaire wegen in het rood gekleurd als **categorie W2** (het betreft hier de Brusselsesteenweg N2, Tervuursesteenweg N3, Leuvensesteenweg N26 en hun uitlopers)
- en alle lokale wegen in het grijs gekleurd als **categorie W3**.



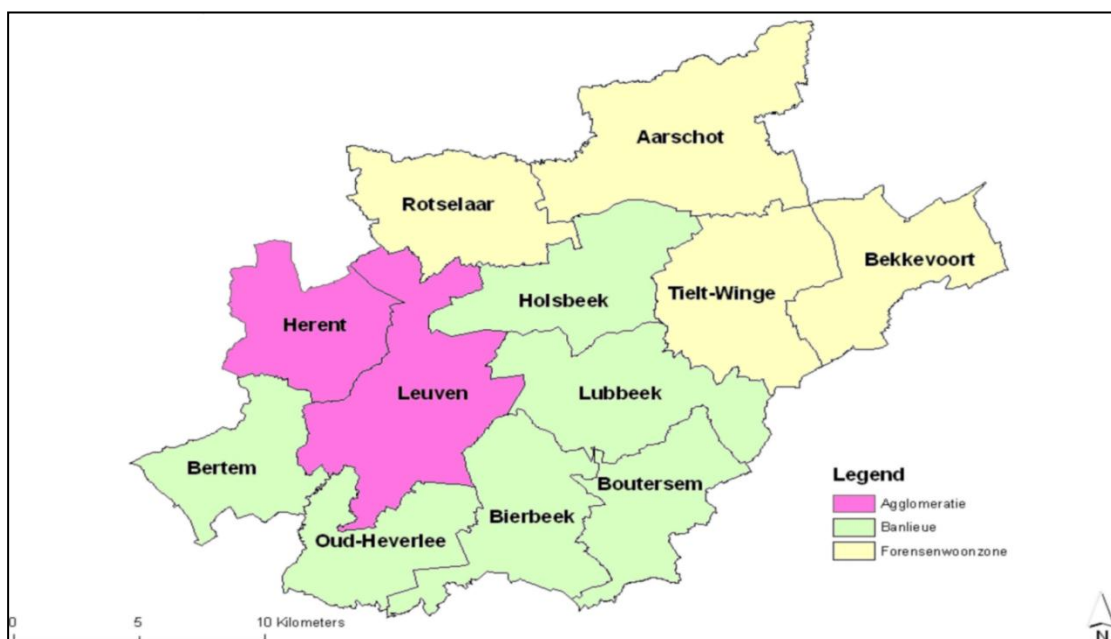
Figuur 21: Het gedetailleerde studiegebied met autosnelwegen (blauw), secundaire wegen (rood) en lokale wegen (grijs).

Merk op dat we voor de ring rond Leuven verschillende tarieven beschouwden, zoals te zien op volgende Figuur (overgenomen uit de showcase [Mae10c]). Op deze manier vertaalden we het beleid van de Stad Leuven, als zijnde hun wens dat meer verkeer via de westkant dan de oostkant van de ring gaat (zie ook Sectie 2.2 en [Leu]):



Figuur 22: Verschillende tarifiëringen van de ring rond Leuven; het noord-westelijk deel viel onder het W1 tarief (autosnelwegen), het oostelijk deel onder het W2 tarief (secundaire wegen).

De reden waarom we het gedetailleerdere gebied groter dan dat van de showcase namen, was omdat de invloedssfeer van wonen en werken met betrekking tot Leuven een ruimere oppervlakte besloeg, zoals te zien in Figuur 23 [SM09]:

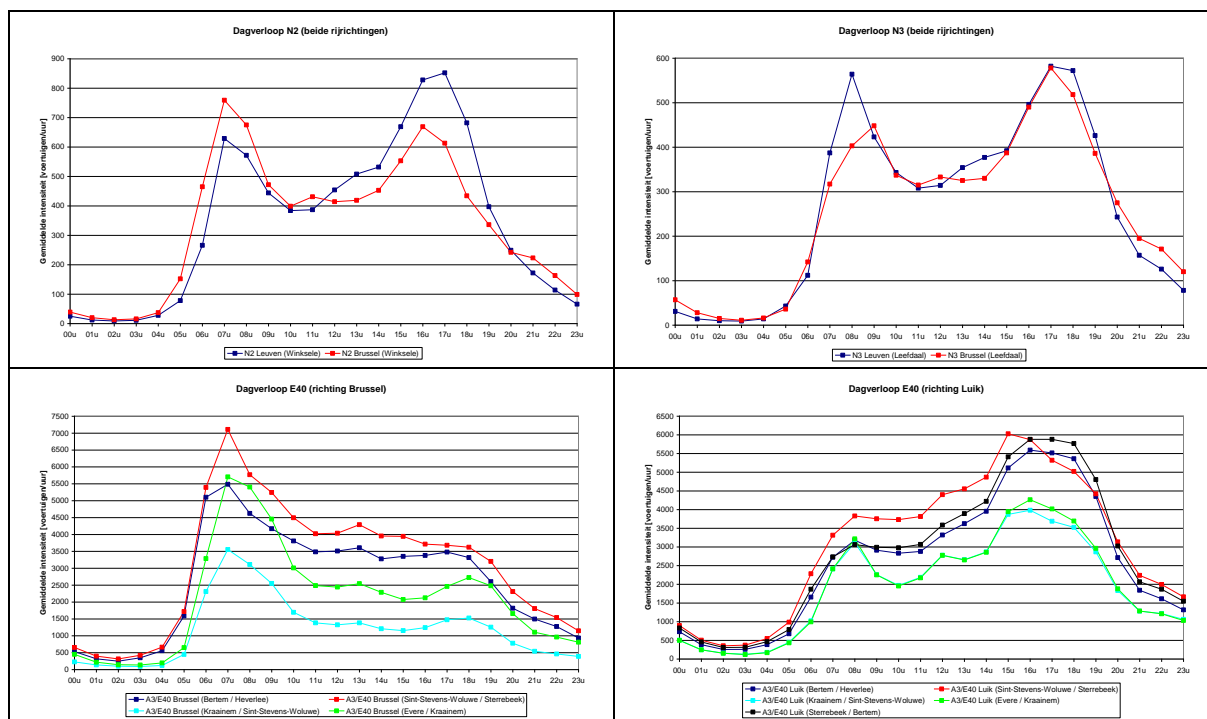


Figuur 23: De invloedssfeer van wonen en werken in het gebied rond Leuven.

Merk tot slot op dat we in de proeftuin geen rekening hielden met wegenwerken et cetera; dit zou vereisen dat het tariefschema op korte termijn dynamisch kon variëren. Ook al vormde deze functionaliteit technologisch gezien geen probleem, toch vereiste ze een meer geregelde aanpak: wat bijvoorbeeld met afspraken tussen en verantwoordelijkheden van de gewesten en steden?

### 3.4.2 Onderscheid naar het tijdstip waarop men reed

Wat betreft het tijdstip van de dag kozen we voor slechts 2 soorten periodes, namelijk piekperiodes en dalperiodes. Kijkende naar de verkeersintensiteiten doorheen de dag op verschillende locaties, merkten we dat de piekperiodes op verschillende momenten konden vallen, afhankelijk van de locatie en het type weg. Een voorbeeld van het dagverloop voor de N2 (Brusselsesteenweg), N3 (Tervuursesteenweg) en de E40 (zowel richting Brussel als richting Luik) is te zien in Figuur 24 [AWV07]:



Figuur 24: Verschil in piekperiodes tijdens de ochtend- en avondspitsen op de N2, N3 en de E40 Brussel-Luik.

Om de eindgebruiker geen al te ingewikkeld schema voor te schotelen, beperkten en uniformiseerden we de tijdstippen van de piekperiodes. We kozen voor volgende afbakening in de tijd (die dan gold voor alle locaties en types wegen):

- Piekperiodes (werkdagen):
  - 's Ochtends van 6u tot en met 9u.
  - 's Avonds van 16u tot en met 19u.
- Dalperiodes (werkdagen en weekends):
  - Overdag van 9u tot en met 16u.
  - 's Avonds en 's nachts van 19u tot en met 6u.

Startuur:	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Periode:	Dalperiode ('s nachts)					Piek ('s ochtends)		Dalperiode (overdag)							Piek ('s avonds)			Dalperiode ('s nachts)						

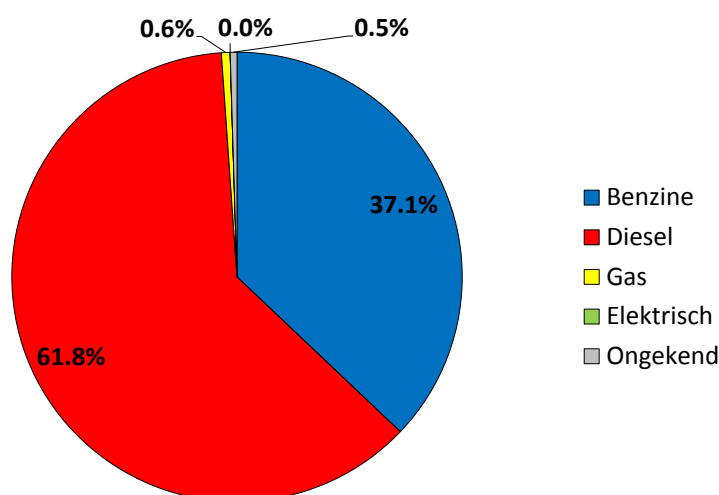
➔ Bij de implementatie gingen we dus uit van een enkel tarief voor zowel de ochtend- als avondspits, en een enkel tarief voor de dalperiodes. Daarnaast stelden we ook dat er geen piekperiodes bestonden in de weekends.

Deze manier van tariefbepaling op basis van een onderscheid naar piek- en dalperiodes werd naar de eindgebruiker toe opzettelijk eenvoudig gehouden. Meer ingewikkeldere schema's zoals dat van Stockholm<sup>9</sup> (zie ook Sectie 6.4), of zelfs real-time congestie-afhankelijke tarificatie zoals in Singapore (zie ook Sectie 6.3), vereisten weliswaar een andere aanpak, maar waren in se wel bespreekbaar. De verschillende soorten tarieven in functie van de tijd konden als volgt geklasseerd worden:

- Vaste tarieven (bijvoorbeeld zoals in deze proeftuin).
- Variabele tarieven (bijvoorbeeld 'shoulder pricing' waarbij het tarief in stappen toe- en afneemt voor en na de piekperiodes, telkens bijvoorbeeld in blokken van een half uur).
- Dynamische (real-time variërende) tarieven (bijvoorbeeld in functie van de verkeersdruk).

### 3.4.3 Onderscheid naar het type voertuig waarmee men reed

We wensten de verkeersbelasting ook te variabiliseren naar het type voertuig. In deze studie beschouwden we dit afhankelijk van het aantal fiscale PKs (FPs). We konden de variabilisering naar het type voertuig ook afhankelijk van bijvoorbeeld de *Ecoscore*<sup>10</sup> maken, wat een meer "groene" maatregel zou geweest zijn. De Ecoscore geeft bijvoorbeeld weer hoe de milieuschade door personenvoertuigen vooral groot is voor dieselwagens ten opzichte van benzinewagens, wat zich vertaalt in een slechtere Ecoscore voor die eerste soort die toch een betrekkelijk groot aandeel in de Belgische voertuigvloot (personenwagens) hebben, zoals getoond in Figuur 25 (cijfers gebaseerd op de ingeschreven personenwagens per 1 augustus 2011 [FOD11]).

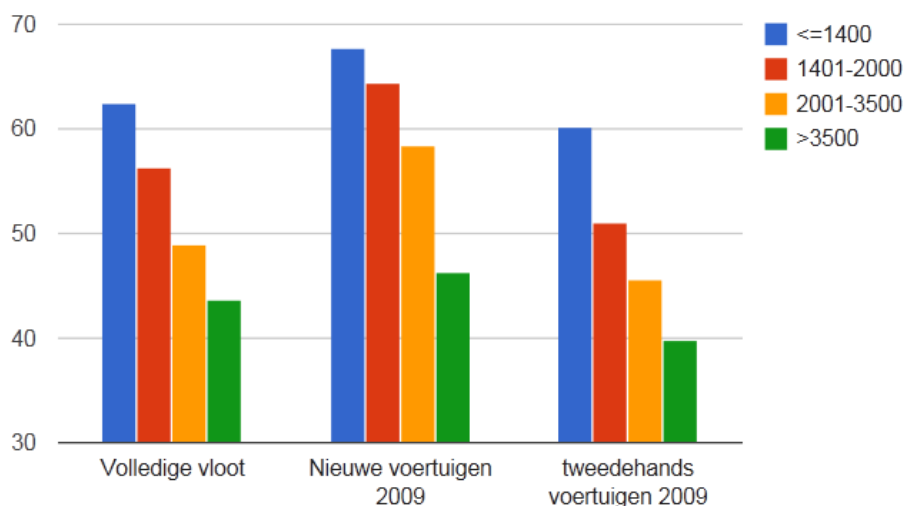


Figuur 25: Procentuele verdeling van personenwagens volgens brandstoftype, gebaseerd op de grootte van het voertuigenpark voor alle in België ingeschreven personenwagens per 1 augustus 2011 [FOD11].

Gegeven deze bevindingen, was er echter nog geen duidelijkheid over hoe de Ecoscore de FPs beïnvloedde/bepaalde. Wel was er een algemeen, gemiddeld, verband tussen de cilinderinhoud en de Ecoscore, zoals te zien in Figuur 26. Dit gaf aan dat het gebruik van de cilinderinhoud, en bijgevolg de fiscale PKs de milieukarakteristieken van een voertuig toch al goed in rekening bracht.

<sup>9</sup> Merk op dat men, vermits het hier om een cordontol ging, enkel keek naar het tijdstip van de dag en niet naar de locatie, noch naar het type weg.

<sup>10</sup> <http://www.ecoscore.be/>



Figuur 26: Verband tussen de Ecoscore en de cilinderinhoud op basis van de Belgische vloot in 2009.

Merk op dat er toch al bepaalde zaken zoals CO<sub>2</sub>-uitstoot deels meegenomen werden in de externe kosten die we verderop in de berekening van de tariefschema's meenamen. De fiscale PKs lieten wel een vergelijking toe van hoeveel een gebruiker betaalde onder de verschillende, wedstrijdafhankelijke omstandigheden. De FPs waren gekoppeld aan de cilinderinhoud van de personenwagen, zoals weergegeven in volgende Tabel [FOD10]:

Ondergrens cilinderinhoud	Fiscale PKs	Bedrag van de verkeersbelasting	Toename
1,0	6	€ 128,96	-
1,2	7	€ 168,56	€ 39,60
1,4	8	€ 208,43	€ 39,87
1,6	9	€ 248,29	€ 39,86
1,8	10	€ 287,76	€ 39,47
2,0	11	€ 373,30	€ 85,54
2,2	12	€ 458,96	€ 85,66
2,4	13	€ 544,50	€ 85,54
2,6	14	€ 630,17	€ 85,67
2,8	15	€ 715,70	€ 85,53
3,1	16	€ 937,46	€ 221,76
3,3	17	€ 1.159,36	€ 221,90
3,5	18	€ 1.381,25	€ 221,89
3,7	19	€ 1.602,74	€ 221,49
4,0	20	€ 1.824,64	€ 221,90

De laatste kolom geeft telkens de toename naar de eerstvolgende fiscale PK weer; er is duidelijk te zien dat de verkeersbelasting in welbepaalde stappen toenam:

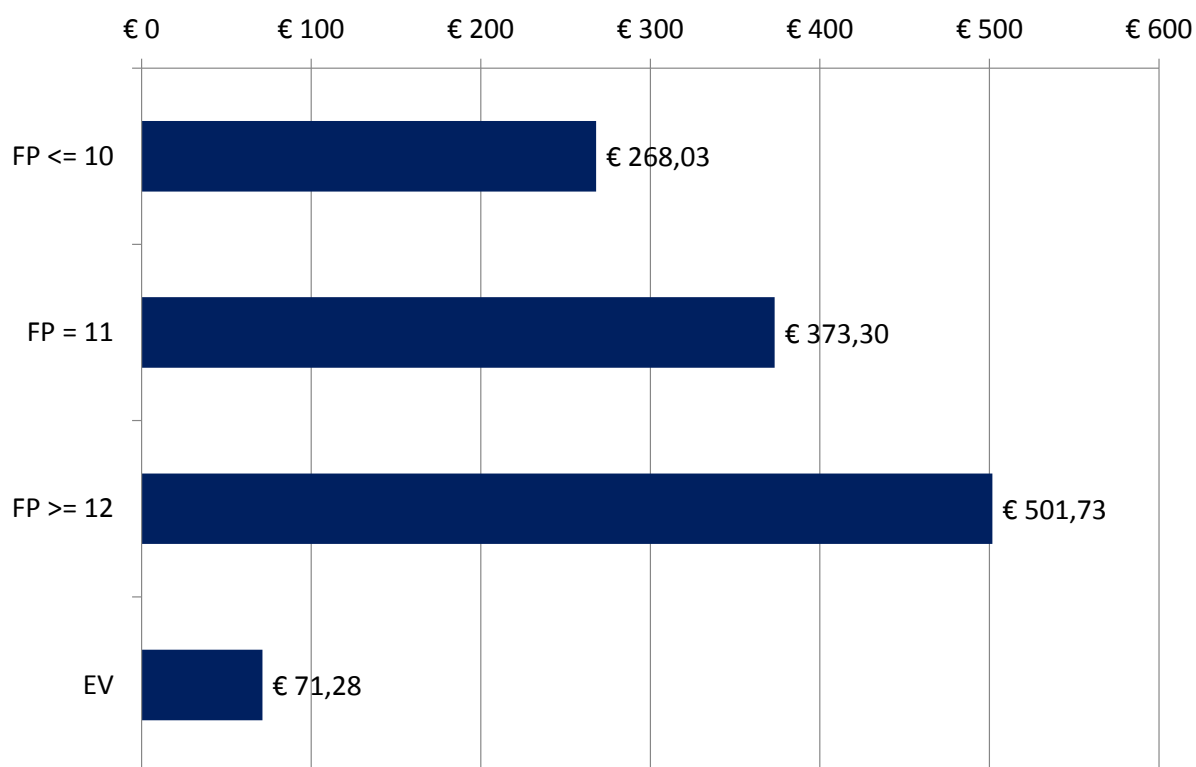
- stappen van bijna 40 euro voor fiscale PKs kleiner dan of gelijk aan 10,
- stappen van ruim 85 euro voor fiscale PKs van 11 tot en met 15
- en stappen van ruim 220 euro voor fiscale PKs groter dan of gelijk aan 16.

In principe hoorde bij elk type voertuig een apart tariefschema, maar om de implementatie op de back-end in dit stadium van het project niet te ingewikkeld te maken, stelden we een beperkt aantal tariefschema's op gebaseerd op een groepering van de fiscale PKs. Op basis van deze informatie, en uitgaande van de motorkarakteristieken van de wagens van de proefpersonen in dit project, deelden we de fiscale PKs als volgt op:

- **Lage voertuigklasse (FP kleiner dan of gelijk aan 10).**  
→ Als te variabiliseren jaarlijkse verkeersbelasting namen we hier het gemiddelde van 9 FP en 10 FP, namelijk **268,03 euro**.
- **Midden voertuigklasse (FP gelijk aan 11).**  
→ Als te variabiliseren jaarlijkse verkeersbelasting namen we hier **373,30 euro**.
- **Hoge voertuigklasse (FP groter dan of gelijk aan 12).**  
→ Als te variabiliseren jaarlijkse verkeersbelasting namen we hier het gemiddelde van 12 FP en 13 FP, namelijk **501,73 euro**.

Merk op dat we tot slot ook de categorie van **elektrische voertuigen**<sup>11</sup> beschouwden. Zij vielen wettelijk gezien onder de laagste verkeersbelasting, namelijk **71,28 euro**.

Dit wordt grafisch voorgesteld in Figuur 27:



Figuur 27: Overzicht van de gebruikte gemiddelde verkeersbelastingen voor de verschillende types fiscale PKs.

<sup>11</sup> In de beginfase van de proeftuin reed er ook een elektrisch voertuig mee, wat de aanwezigheid van dit type voertuig in de tariefschema's verklaart.



### 3.5 Hoe berekenen we de tariefschema's?

Het centrale principe dat we hanteerden bij het opstellen van de tariefschema's, was dat we de bestaande verkeersbelastingen per type voertuig (zoals uiteengezet in Sectie 3.4.3) variabeliseerden naar plaats en tijdstip. In de volgende Secties schetsen we eerst hoe de berekeningsmethode was, waarna we een overzicht van de tariefschema's geven (de tariefschema's werden opgesteld in samenwerking met de Stad Leuven en IBM).

#### 3.5.1 Berekeningsmethode voor de tariefschema's

Voor de tariefschema's van de back-end server dienden we in totaal **24 tarieven** te berekenen: voor 3 wegtypes  $x$ , 2 tijdsperiodes  $t$  en 4 voertuigklassen  $k$ . Gegeven dat we een tarief met  $T_{x,t,k}$  aanduiden, dan gold volgend verband tussen de verkeersbelasting (per voertuigklasse), de afgelegde afstanden  $X_{x,t}$  (per wegtype en tijdsperiode) en de tarieven (per wegtype, tijdsperiode en voertuigklasse):

$$\begin{aligned} \text{verkeersbelasting}_k &= X_{W1,\text{dal}} T_{W1,\text{dal},k} \\ &+ X_{W2,\text{dal}} T_{W2,\text{dal},k} \\ &+ X_{W3,\text{dal}} T_{W3,\text{dal},k} \\ &+ X_{W1,\text{piek}} T_{W1,\text{piek},k} \\ &+ X_{W2,\text{piek}} T_{W2,\text{piek},k} \\ &+ X_{W3,\text{piek}} T_{W3,\text{piek},k} \end{aligned}$$

In de volgende Secties tonen we eerst aan hoe we de afgelegde afstanden  $X_{x,t}$  berekenen, waarna we de verbanden tussen de verschillende tarieven  $T_{x,t,k}$  uitleggen en tonen hoe we de tariefschema's berekenen.

##### 3.5.1.1 Berekening van de afgelegde afstanden per wegtype en tijdsperiode

In België legden in 2008 personenwagens, autobussen en vrachtwagens verschillende afstanden af [FOD08]<sup>12</sup>:

Afgelegde afstanden			
[miljard voertuigkilometer]			
België	Personenwagens	75,70	77,43%
	Autobussen	0,84	0,86%
	Vrachtwagens	19,90	20,35%
	Totaal	97,77	

Het voertuigenpark zag er voor België in 2008 als volgt uit [FOD08b]:

Wagenpark			
België	Personenwagens	5130578	79,15%
	Autobussen	15992	0,25%
	Vrachtwagens	662780	10,22%
	Totaal	6482033	

(merk op dat het totaal ook de motorrijwielen omvat)

Als we dit omzetten naar een gemiddeld aantal gereden kilometer per type voertuig, dan gaf dit volgend resultaat:

<sup>12</sup> Merk op dat we cijfers van 2008 gebruikten, aangezien ten tijde van deze berekeningen er nog geen recentere informatie publiek beschikbaar was.

		Afstand/voertuig [kilometer/voertuig]
België	Personenwagens	14755
	Autobussen	52526
	Vrachtwagens	30025

Om nu de gemiddelde afstanden op elk type weg in rekening te brengen, gingen we uit van de volgende afstanden die op de verschillende wegnetten werden gereden [FOD08]:

		Afgelegde afstanden [miljard voertuigkilometer]	
België	W1	35,63	36,44%
	W2	39,93	40,84%
	W3	22,21	22,72%
	Totaal	97,77	

Dit betekende dat, indien iemand gemiddeld 14.755 kilometer reed, hij hiervan:

- $0,3644 * 14.755 = 5.376$  kilometer op W1 reed,
- $0,4084 * 14.755 = 6.026$  kilometer op W2 reed
- en  $0,2272 * 14.755 = 3.353$  kilometer op W3 reed.

Mochten we nu enkel **vlaktarieven** beschouwen en de verkeersbelasting telkens per type voertuig variabeliseren, dan zou dit het volgende opleveren:

- 1,82 cent/km voor FP  $\leq 10$ ,
- 2,53 cent/km voor FP = 11
- en 3,40 cent/km voor FP  $\geq 12$ .

We wisten ook hoeveel voertuigkilometer er werden afgelegd door personenwagens in de piek- en dalperiode [TML]:

Periode	Motief	Volume [miljoen voertuigkm]
Dal	Zakelijk	4566,30
	Pendelen (werk)	7940,65
	Vrijetijd	40720,72
Piek	Zakelijk	4224,87
	Pendelen (werk)	8004,00
	Vrijetijd	18399,61

Samengevat gaf dit volgende resultaten voor de verdeling van het verkeer over de piek- en dalperiode:

Verdeling	
Dal	63,47%
Piek	36,53%

We gingen ervan uit dat deze tijdsperiodes evenredig over de verschillende wegtypes verdeeld werden, wat volgende verdeling van de afgelegde afstanden  $X_{x,t}$  per gemiddelde Belgische automobilist gaf:

Afgelegde afstanden [miljard voertuigkilometer]		
Wegtype	Piekperiode	Dalperiode
W1	1964	3413
W2	2201	3825
W3	1224	2128

### 3.5.1.2 Wegen van de tarieven op basis van de externe kosten

Indien we nu de verkeersbelasting gewoon over de verschillende types weg en tijdsperiodes zouden verdeeld hebben, dan leverde dit een vlakke tariefstructuur per type voertuig op. Om het mobiliteitsbeleid meer vorm te geven, diende er een onderscheid tussen de verschillende tarieven gemaakt te worden. Een overheid kan er bijvoorbeeld voor kiezen om de tarieven voor lokale wegen (categorie W3) duurder dan de andere te maken. Indien men verkeer uit de piekperiode wil halen, dan kan dit door de tarieven in de dalperiode goedkoper te maken. In een eerder, gelijkaardig proefproject in het ‘Samenwerkingsverband Regio Eindhoven’ (SRE) werden de tarieven op een dergelijke, meer algemene manier gekozen: lokale wegen (categorie W3) waren bijvoorbeeld 4 keer zo duur dan autosnelwegen (categorie W1), en rijden in de piekperiode was ongeveer dubbel zo duur dan rijden in de dalperiode [NI10].

In deze proeftuin hebben we er voor gekozen om de keuze van de tarieven meer te onderbouwen vanuit de achtergrond van externe kosten van wegverkeer (zie ook Sectie 0), wat een meer wetenschappelijk gefundeerde methode bood. De externe kosten van **personenwagens rijdend op diesel**<sup>13</sup> worden in volgend overzicht gegeven [DDCM10]:

	[cent/km]	
<b>Diesel</b>	<b>Piekperiode</b>	<b>Dalperiode</b>
<b>Autosnelwegen (W1)</b>	5,052	4,530
<b>Gewestwegen (W2)</b>	6,821	4,685
<b>Steden (W3)</b>	10,787	5,544

Voor de **elektrische voertuigen** hanteerden we volgende externe kosten, welke zoals verwacht lager dan die van diesel lagen wegens milieuvriendelijker:

	[cent/km]	
<b>Elektrische voertuigen</b>	<b>Piekperiode</b>	<b>Dalperiode</b>
<b>Autosnelwegen (W1)</b>	4,223	3,701
<b>Gewestwegen (W2)</b>	6,174	4,038
<b>Steden (W3)</b>	9,036	3,793

Merk op dat voor elektrische voertuigen de externe kost voor gewestwegen (W2) in de dalperiode hoger was dan deze voor autosnelwegen (W1) en steden (W3) in dezelfde periode.

De verschillende tarieven  $T_{x,t,k}$  werden ten opzichte van elkaar gewogen op basis van de externe kosten. De relatieve verhoudingen  $R_{x,t,k}$  van de externe kosten voor personenwagens rijdend op diesel waren dan als volgt (genormaliseerd naar W1 in de dalperiode):

<b>Diesel</b>	Genormaliseerd op (W1,dal)	
<b>Wegtype</b>	<b>Piekperiode</b>	<b>Dalperiode</b>
<b>W1</b>	1,1152	1,0000
<b>W2</b>	1,5057	1,0342
<b>W3</b>	2,3812	1,2238

Aansluitend zijn de relatieve verhoudingen van de externe kosten voor elektrische voertuigen dan als volgt (genormaliseerd naar W1 in de dalperiode):

<b>Elektrische voertuigen</b>	Genormaliseerd op (W1,dal)	
<b>Wegtype</b>	<b>Piekperiode</b>	<b>Dalperiode</b>
<b>W1</b>	1,1410	1,0000
<b>W2</b>	1,6682	1,0911
<b>W3</b>	2,4415	1,0249

➔ Anders gezegd, de tarieven om in de piekperiode op het lokale wegennet (categorie W3) te rijden waren bijna 2,5 keer duurder dan deze om in de dalperiode op de autosnelwegen (categorie W1) te rijden.

<sup>13</sup> De reden was omdat de proefpersonen in onze proeftuin allemaal met wagens op diesel rond reden.

Merk op dat, mochten we de eerder gestelde vlakke tarieven hanteren, de genormaliseerde gewichten allen 1 zouden zijn.

Op basis van deze verhoudingen konden we alle tarieven uitdrukken in functie van de basistarieven  $T_{W1,dal,k}$ :

$$\begin{aligned} T_{W2,dal,k} &= R_{W2,dal,k} T_{W1,dal,k} \\ T_{W3,dal,k} &= R_{W3,dal,k} T_{W1,dal,k} \\ T_{W1,piiek,k} &= R_{W1,piiek,k} T_{W1,dal,k} \\ T_{W2,piiek,k} &= R_{W2,piiek,k} T_{W1,dal,k} \\ T_{W3,piiek,k} &= R_{W3,piiek,k} T_{W1,dal,k} \end{aligned}$$

(waarbij  $R_{W1,dal,k} = 1$ )

We substitueerden deze verhoudingen in de uitdrukking uit Sectie 3.5.1:

$$\begin{aligned} \text{verkeersbelasting}_k &= X_{W1,dal} T_{W1,dal,k} \\ &+ X_{W2,dal} R_{W2,dal,k} T_{W1,dal,k} \\ &+ X_{W3,dal} R_{W3,dal,k} T_{W1,dal,k} \\ &+ X_{W1,piiek} R_{W1,piiek,k} T_{W1,dal,k} \\ &+ X_{W2,piiek} R_{W2,piiek,k} T_{W1,dal,k} \\ &+ X_{W3,piiek} R_{W3,piiek,k} T_{W1,dal,k} \end{aligned}$$

Herschikken van de termen leverde ons de waarden voor de basistarieven:

$$T_{W1,dal,k} = \frac{\text{verkeersbelasting}_k}{\sum_x \sum_t X_{x,t} R_{x,t,k}}$$

Het was deze uitdrukking die ervoor zorgde dat het tariefschema kostenneutraal waren. In principe is het mogelijk om eender welke gewichten  $R_{x,t,k}$  te gebruiken, waarbij men bijvoorbeeld meer of minder gewicht aan een bepaalde combinatie van wegtype en tijdsperiode kan geven. Zoals al eerder aangegeven, kozen we in deze proeftuin voor een weging op basis van de externe kosten, welke als meer objectief en wetenschappelijk onderbouwd was.

Pasten we dit nu bijvoorbeeld toe op een verkeersbelasting van 268,03 euro voor fiscale PKs kleiner dan of gelijk aan 10, niet-elektrische voertuigen (zie ook Sectie 3.4.3), dan vulden we de afgelegde afstanden  $X_{x,t}$  uit Sectie 3.5.1.1 en de eerder berekende gewichten  $R_{x,t,k}$  in. Dit leverde een basistarief van 1,4573 cent op.

### 3.5.2 Overzicht van de tariefschema's

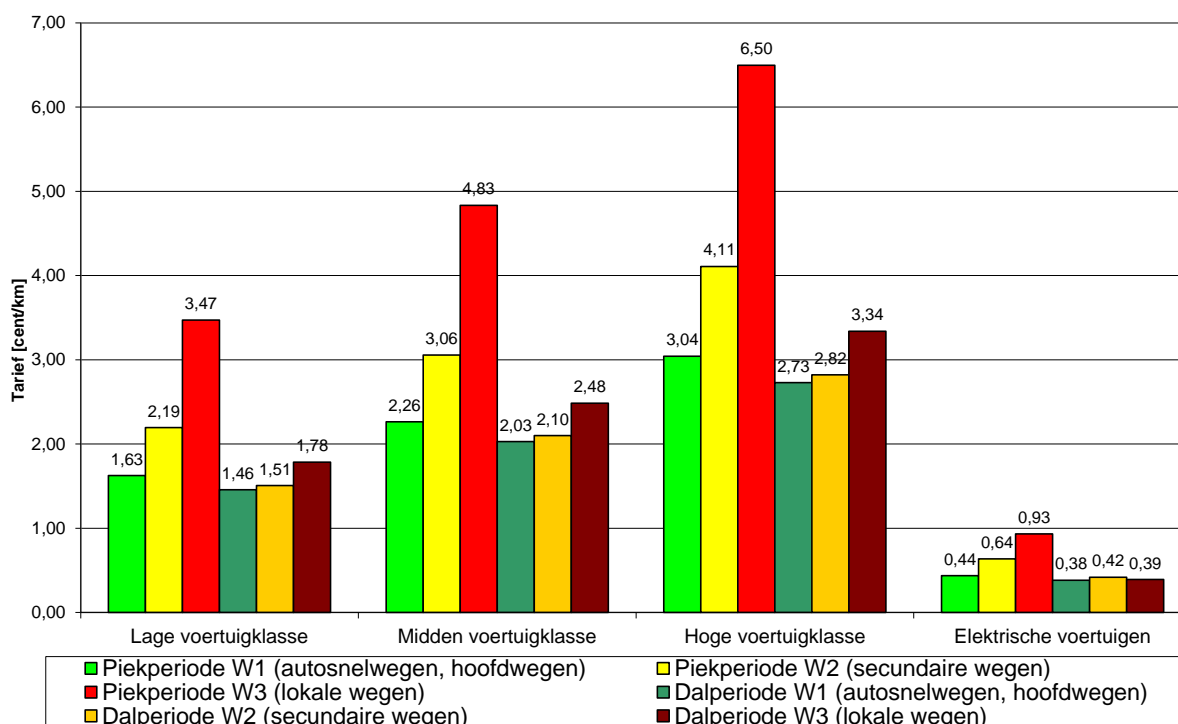
Pasten we de methodologie uit Sectie 3.5.1 nu toe op de verschillende types voertuigen uit Sectie 3.4.3, dan kregen we volgende resultaten voor de verschillende tariefschema's (welke afhankelijk van het type weg en de tijdsperiode sterk kunnen verschillen met de eerder berekende vlaktarieven):

Tijdsperiode	Wegtype	Tarief [cent/km]			
		FP <= 10	FP = 11	FP >= 12	EV
Piekperiode	W1 (autosnelwegen, hoofdwegen)	1,63	2,26	3,04	0,44
	W2 (secundaire wegen)	2,19	3,06	4,11	0,64
	W3 (lokale wegen)	3,47	4,83	6,50	0,93
Dalperiode	W1 (autosnelwegen, hoofdwegen)	1,46	2,03	2,73	0,38
	W2 (secundaire wegen)	1,51	2,10	2,82	0,42
	W3 (lokale wegen)	1,78	2,48	3,34	0,39
	Buiten het gebied	0,00	0,00	0,00	0,00

(merk op dat de tarieven voor elektrische voertuigen tijdens de dalperiode eigenlijk niet significant genoeg van elkaar verschillen, waardoor het niet uitmaakte waar een elektrisch voertuig dan rijdt; wel was er een significant verschil tussen dal- en piekperiode)

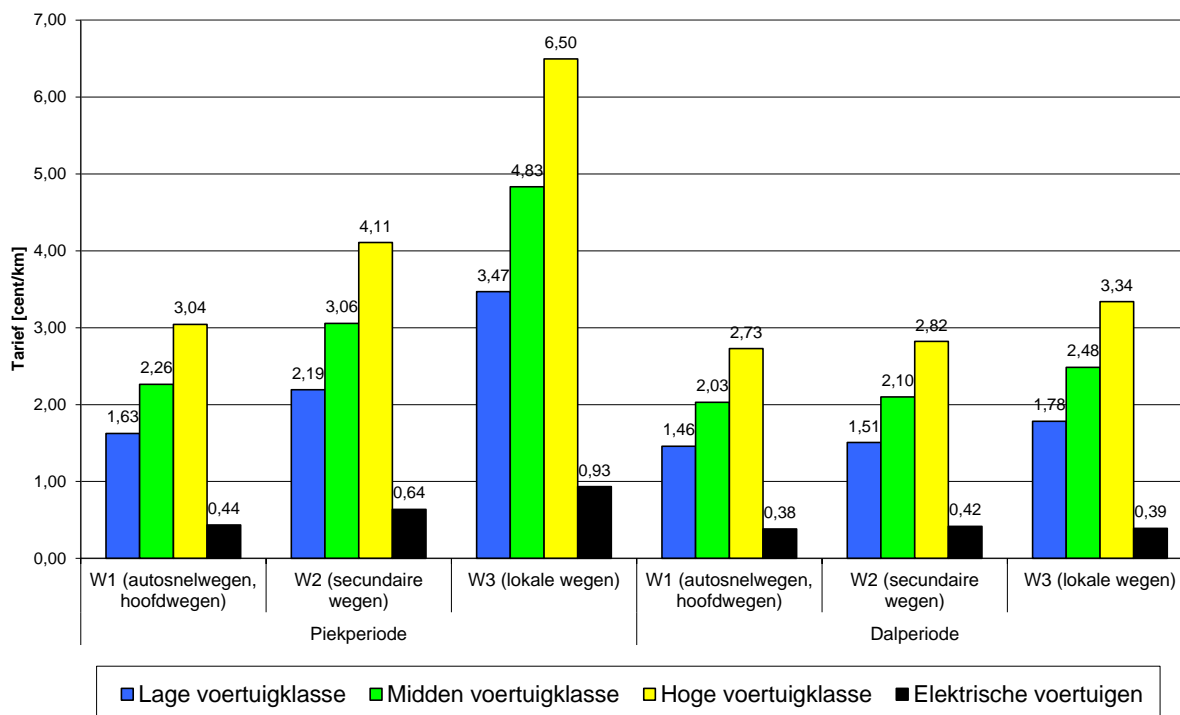
Interessant om deze tarieven even te vergelijken met de brandstofprijs. Stel dat een voertuig 6,7 liter per 100 kilometer verbruikt, en de brandstofprijs bijvoorbeeld 1,579 euro per liter is (dieselprijs medio maart 2012), dan komt dit neer op zo'n 10,5793 euro per 100 kilometer, oftewel 10,5793 cent per kilometer km.

Grafisch gaf dit voor de verschillende types voertuigen het overzicht in Figuur 28.



Figuur 28: Grafisch overzicht van alle tariefschema's per type voertuig in de proeftuin.

Omgekeerd konden we ook tonen hoe de tarieven zich verhouden indien we ze opsplitsen naar het type weg, wat te zien is in Figuur 29.



Figuur 29: Grafisch overzicht van alle tariefschema's per type weg in de proeftuin.

Merk tot slot nog op dat, in tegenstelling tot de verkeersbelasting die jaarlijks geïnd wordt, de belasting op de inverkeerstelling (BIV) enkel van toepassing is bij de aankoop van een voertuig. In principe kon deze ook meegenomen worden in de variabilisering, maar deze beschouwen we als verwaarloosbaar. De reden was dat de BIV typisch over de afschrijvingsperiode van het voertuig moest bekeken worden en geen specifieke impact op de tariefschema's had. Namen we bijvoorbeeld een personenwagen met een cilinderinhoud van 1,4 liter, dan was de BIV gelijk aan 61,50 euro. Over 5 jaren afgeschreven gaf dit een totaal van 75.000 kilometer (gesteld dat men per jaar gemiddeld 15.000 kilometer rijdt), wat omgezet overeenkwam met 'slechts' 0,082 cent per kilometer is.

### 3.5.3 Vergelijking met het SRE proefproject

Zoals in vorige Sectie 3.5.1.2 vermeld, was de uitwerking van een tariefschema altijd kostenneutraal ongeacht de gewichten  $R_{x,t,k}$  die gebruikt werden. Bij wijze van voorbeeld, hebben we ook berekend hoe het tariefschema er uitzag indien we de gewichten volgens het proefproject in het ‘Samenwerkingsverband Regio Eindhoven’ (SRE) gebruikten. De gewichten waren dan [NI10]:

SRE	[cent/km]	
	Piekperiode	Dalperiode
Autosnelwegen (W1)	5,000	3,000
Gewestwegen (W2)	10,000	5,000
Steden (W3)	20,000	12,000

Voor de verschillende verkeersbelastingen gekoppeld aan de fiscale PKs (zie ook Sectie 3.4.3), leidde tot volgend tariefschema:

Tijdsperiode	Wegtype	Tarief [cent/km]			
		FP <= 10	FP = 11	FP >= 12	EV
Piekperiode	W1 (autosnelwegen, hoofdwegen)	1,21	1,68	2,26	0,32
	W2 (secundaire wegen)	2,41	3,36	4,51	0,64
	W3 (lokale wegen)	4,82	6,71	9,02	1,28
Dalperiode	W1 (autosnelwegen, hoofdwegen)	0,72	1,01	1,35	0,19
	W2 (secundaire wegen)	1,21	1,68	2,26	0,32
	W3 (lokale wegen)	2,89	4,03	5,41	0,77
	Buiten het gebied	0,00	0,00	0,00	0,00

Het is duidelijk te hoe rijden op lokale wegen (W3) in de piekperiode tot bijna 7 keer duurder was dan rijden op autosnelwegen (W1) in de dalperiode. Ter vergelijking, in onze uitwerking op basis van externe kosten was dit ‘slechts’ 2,5 keer duurder.

### 3.5.4 Vergelijking met het reëel geobserveerde gedrag van de proefpersonen

In plaats van ons te baseren op de gemiddelde statistieken die de FOD Mobiliteit en Vervoer opleverde, konden we de tariefschema's achteraf ook berekenen op basis van het reëel geobserveerde gedrag van de proefpersonen. Hiervoor gebruikten we de informatie uit te de analyses van het weggebruik in Sectie 5.2.4, waarna we de tariefschema's opnieuw konden berekenen. Dit gaf volgend resultaat:

Tijdsperiode	Wegtype	Tarief [cent/km]			
		FP <= 10	FP = 11	FP >= 12	EV
Piekperiode	W1 (autosnelwegen, hoofdwegen)	2,34	3,26	4,38	0,62
	W2 (secundaire wegen)	3,16	4,40	5,91	0,84
	W3 (lokale wegen)	4,99	6,95	9,35	1,33
Dalperiode	W1 (autosnelwegen, hoofdwegen)	2,10	2,92	3,92	0,56
	W2 (secundaire wegen)	2,17	3,02	4,06	0,58
	W3 (lokale wegen)	2,57	3,57	4,80	0,68
	Buiten het gebied	0,00	0,00	0,00	0,00

Een snelle blik leerde ons dat deze tarieven per kilometer lichtjes hoger liggen dan hun oorspronkelijke tegenhangers.

### 3.5.5 Nastreven van kostenneutraliteit

Een belangrijke opmerking is dat, indien we de tarieven uit Sectie 3.5.2 hanteerden, de kilometerheffing kostenneutraal was, wat in deze proeftuin bereikt werd door de verkeersbelasting te variabiliseren. Hiermee bedoelden we dat de maatschappij in haar geheel geen hoger bedrag op jaarbasis zou betalen. Of anders gesteld: een reiziger die met zijn personenwagen gemiddeld 14.755 kilometer reed (en hierbij gemiddeld op de verschillende types wegen en gedurende verschillende tijdstippen doorheen de dag reed zoals hoger vermeld<sup>14</sup>), zou op jaarbasis geen hoger totaal bedrag dan zijn verkeersbelasting betalen. Overeenkomstig met *'betalen naar gebruik en niet naar bezit'*, zou iemand die meer dan het gemiddelde reed ook meer betalen, en wie minder reed, betaalde dan ook minder. Indien men bijvoorbeeld 25.000 km/jaar in plaats van 15.000 km/jaar zou gereden hebben, dan zou het totaal bedrag ongeveer verdubbelen. Indien men meer in de ochtend- en avondspitsen op lokale wegen zou gereden hebben, dan steeg het jaarlijks bedrag met zo'n 100 euro.

Bij wijze van voorbeeld schetsen we in volgende Tabellen een aantal trajecten van centrum Leuven naar centrum Brussel, via verschillende wegen en op verschillende tijdstippen, dit voor de lage en hoge voertuigklasse uit Sectie 3.4.3:

Lage voertuigklasse (verkeersbelasting rond de 268.03 euro/jaar)						
Van	Naar	Wanneer	Via	Kost per rit	Kost per maand	Kost per jaar
Centrum Leuven	Centrum Brussel	Piek	Secundaire wegen (voornl. Leuvensesteenweg)	€ 0.75	€ 15.10	€ 169.82
Centrum Leuven	Centrum Brussel	Dal	Autosnelwegen (voornl. E40)	€ 0.47	€ 9.36	€ 105.31
Centrum Leuven	Centrum Brussel	Piek	Autosnelwegen (voornl. E40)	€ 0.67	€ 13.41	€ 150.91

Hoge voertuigklasse (verkeersbelasting rond de 501.73 euro/jaar)						
Van	Naar	Wanneer	Via	Kost per rit	Kost per maand	Kost per jaar
Centrum Leuven	Centrum Brussel	Piek	Secundaire wegen (voornl. Leuvensesteenweg)	€ 1.41	€ 28.26	€ 317.89
Centrum Leuven	Centrum Brussel	Dal	Autosnelwegen (voornl. E40)	€ 0.88	€ 17.52	€ 197.13
Centrum Leuven	Centrum Brussel	Piek	Autosnelwegen (voornl. E40)	€ 1.26	€ 25.11	€ 282.48

Om het maatschappelijk draagvlak te waarborgen, was het ook nodig dat er geen extra belasting werd geheven, maar dat men in plaats daarvan veeleer de bestaande belastingen kon aanpassen van bezit een voertuig naar het gebruik ervan. Een voorbeeld daarvan is hoe de jaarlijkse verkeersbelasting in deze proeftuin naar een tarief per kilometer gevariabiliseerd werd.

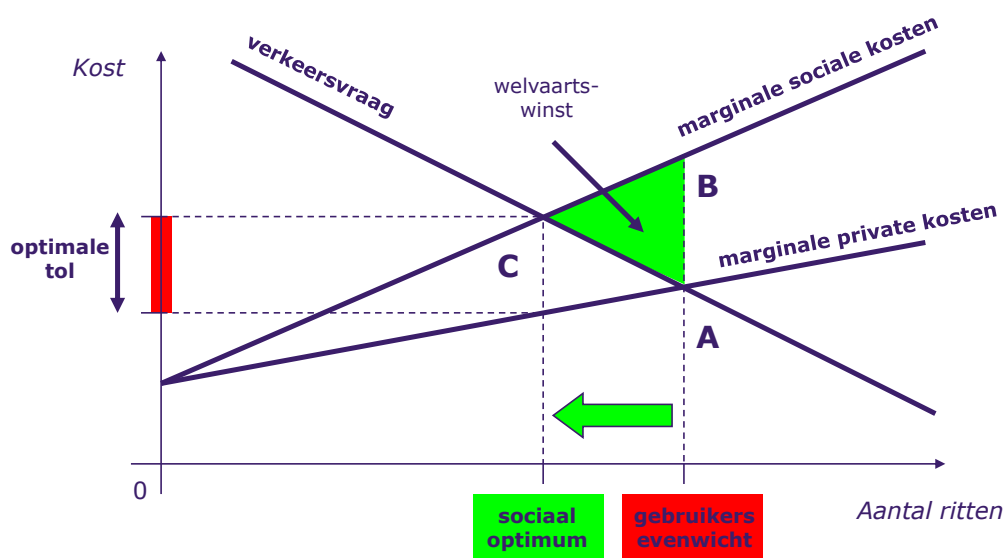
<sup>14</sup> En dus ook zijn gedrag niet verandert naar aanleiding van deze kilometerheffing.



### 3.5.6 Wat met internalisering van externe kosten?

Tot slot keken we nog even naar internalisering van externe kosten. Die specifieke situatie ging dan over de vraag in welke mate de gebruiker via belastingen en heffingen toch rekening zou houden met een deel van deze externe kosten. Internalisering laat de reizigers betalen voor de gevolgen die hun gebruik van het transportsysteem veroorzaakt, en waarmee ze anders geen rekening houden. Daardoor gaan zij nadenken over hoe zich te verplaatsen tegen minimale maatschappelijke kosten in plaats van minimale private kosten, net omdat ze met alle kosten (private en externe) rekening houden. Deze gedragswijziging zal dan op zijn beurt tot een efficiënter gebruik van de weginfrastructuur leiden en de negatieve effecten van verkeer verminderen. Het zal ook de eerlijkheid tussen gebruikers bevorderen, waarbij de gebruiker/vervuiler zal betalen. Belangrijk hierbij is dat mensen de duurdere piekperiodes en congestielocaties indien mogelijk gaan mijden, in plaats van louter een verschuiving in de vervoerswijze ('*modal shift*') te verkrijgen. Mensen optimaliseren hun eigen transport, wat meer inhoudt dan enkel een keuze voor het openbaar vervoer maken.

Bij een volledige internalisering zal de gebruiker via belastingen en heffingen betalen voor al de kosten die hij veroorzaakt. Let wel, een dergelijke manier van heffing zal niet langer kostenneutraal zijn (zie ook de hogere tarieven uit Sectie 3.5.1.2)! In Figuur 30 wordt dit beknopt geschetst, waar we de kost van het transport (Y-as) uitzetten tegenover het aantal gemaakte ritten (X-as). Standaard houden we via de verkeersvraag enkel rekening met onze private kosten in de aanbodscurve: we bevinden ons dan in punt A wat een gebruikersevenwicht is. De werkelijke kost aan de maatschappij omvat echter ook de externe kosten, wat leidt tot de hogere sociale kosten in punt B (de externe kosten in het gebruikersevenwicht zijn het lijnstuk |AB|). Ideaal gezien zouden we dus de vraagfunctie moeten laten snijden met de aanbodsfunctie van de marginale sociale kosten, en niet die van de marginale private kosten. Om dit te bereiken dienen we een optimale tol te heffen (bijvoorbeeld via een kilometerheffing), waardoor we op de vraagcurve richting het sociaal optimum in punt C schuiven en de externe kosten in het systeem geïnternaliseerd werden (merk op dat deze optimale tol lager is dan |AB| omdat er in dit geval ook minder ritten/voertuigkilometers afgelegd worden).



Figuur 30: Principe achter een internalisering van de externe kosten, waarbij men komende van een gebruikersevenwicht gebaseerd op louter de marginale private kosten (punt A), een tol heft die rekening houdt met de marginale sociale kosten (punt B) zodat een nieuw sociaal optimum (punt C) bereikt wordt.

Het doen dalen van de externe kosten is bijgevolg geen synoniem voor de overheid om haar mobiliteitsbudget in balans te brengen, noch om louter de staatskas te spijsen (cfr. nuttige besteding van de opbrengsten). Beprijzing door middel van een slimme kilometerheffing is een goed aanvullend instrument, waarmee onder andere de externe effecten ten gevolge van congestie bestreden worden. De overheid kan immers op nog andere manieren de externe kosten doen dalen: zij kan kiezen om bepaalde milieu- en veiligheidseisen te stellen (wat tot schonere en veiligere wagens leidt), of gerichte alcohol- en snelheidscontroles of controles op gordeldracht te doen, ...

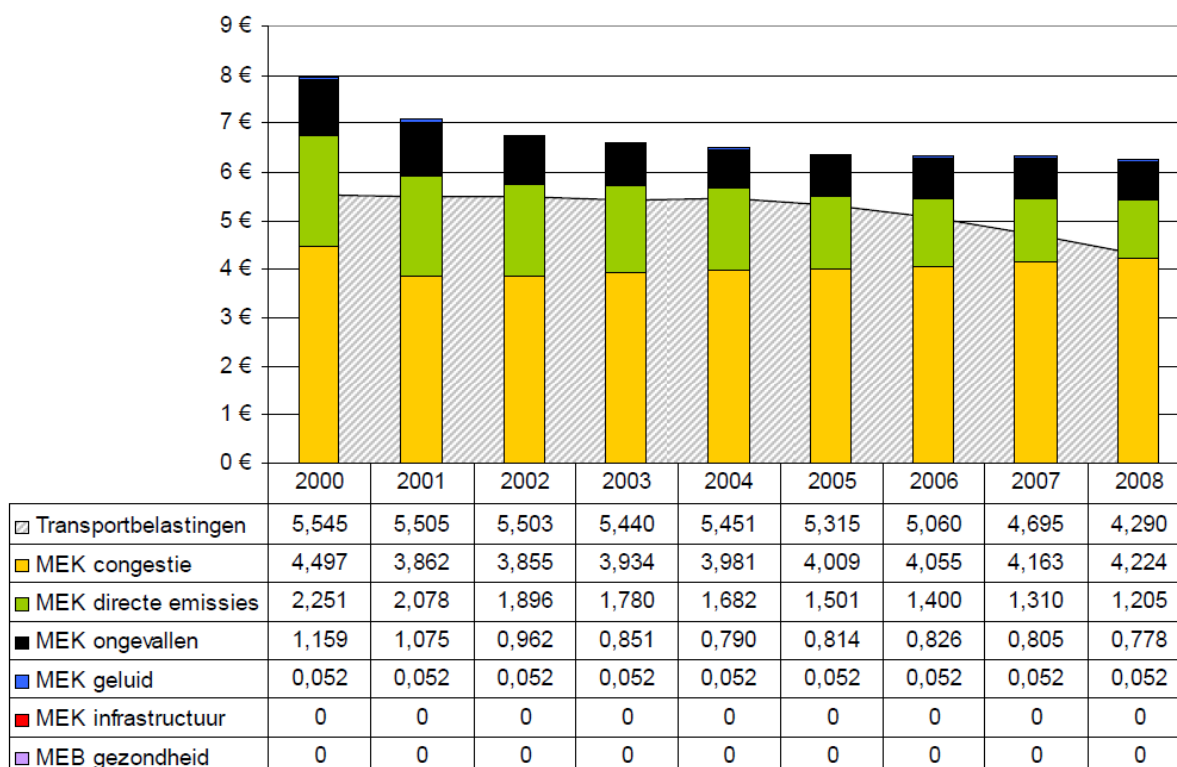
Naar absolute kosten toe, werd de fiscale opbrengst van personenwagens in België volgens de begroting van 2008 geschat op zo'n 6,67 miljard euro, daar waar de geschatte totale externe kost een 21,33 miljard euro bedroeg, wat ruim 3 keer hoger ligt [PVD05].

Qua aanbevelingen naar een (gedeeltelijke) internalisering, merken we op dat het doelmatig betalen per gereden kilometer een gepast instrumentarium geeft, waarbij de optimale maatstaf per type externe kost wordt bepaald. In de IMPACT studie worden volgende aanbevelingen gegeven met betrekking tot de internalisering van externe kosten [Mai08]:

- Voor CO<sub>2</sub> volstaat de brandstoftaks met betrekking tot brandstofverbruik.
- Verder suggereert men een gedifferentieerde kilometerheffing voor:
  - congestie,
  - luchtvervuiling
  - en geluidsoverlast.
- Tot slot geeft men aan dat ongevallen best via een slimme kilometerheffing of via de verzekeringen geïnternaliseerd worden.

Algemeen geldt dat het voornaamste effect in gedragswijziging komt van de overgang van 'gratis' naar 'betalen voor iets' (de prikkel moet wel voldoende hoog zijn).

Het is belangrijk om op te merken dat de marginale milieukosten van dieselwagens hoger zijn dan voor benzine wagens, terwijl hun transportbelastingen lager zijn. Gemiddeld genomen zouden ze ongeveer 50% meer milieu- of transportbelastingen moeten betalen om hun marginale externe kosten te dekken (zie ook Figuur 31). Een zeer ongunstige situatie is een dieselwagen tijdens het spitsuur in de stad. Door de hogere marginale congestiekosten en milieukosten wordt slechts de helft van de marginale externe kosten door milieubelastingen gedekt – zelfs indien men rekening houdt met hogere brandstofaccijnzen door het hogere verbruik in de stad. Ook in een situatie waarbij een dieselwagen op een regionale weg of snelweg tijdens de spits rijdt, zijn de transportbelastingen te laag. Op daluren op snelwegen zijn de transportbelastingen hoger dan de marginale externe kosten voor diesel personenwagens [DDCM10].



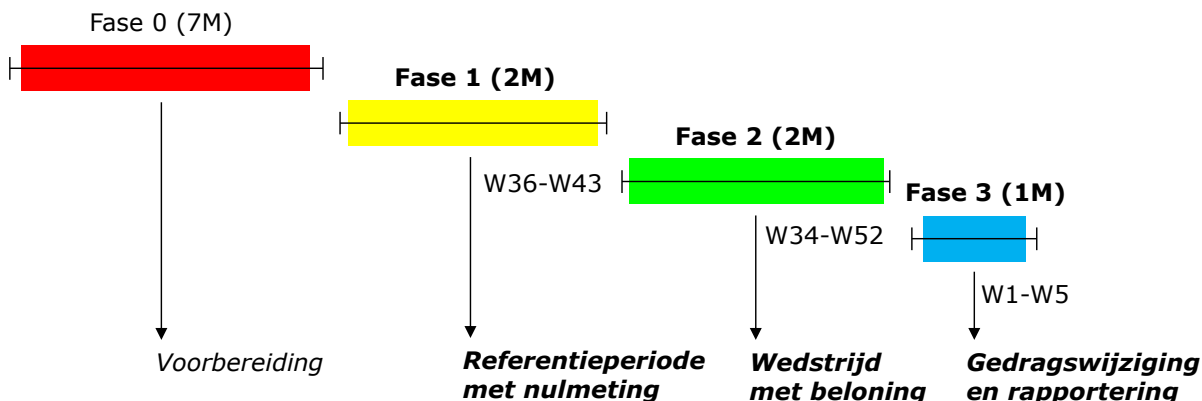
Figuur 31: Internalisering van de marginale externe kosten (MEK) voor personenwagens (diesel), uitgedrukt per type externe kost in euro per 100 km voor Vlaanderen over de periode 2000 – 2008.

In deze proeftuin kozen we ervoor om geen internalisering van de externe kosten te doen, maar werden de externe kosten wel gebruikt om de verschillende tarieven te wegen. Het idee is dat de bestaande belastingen en taksen gemiddeld genomen te laag zijn, en op zich ook nauwelijks aan de externe kosten gekoppeld zijn.

Interessant om weten is dat in het voorstel voor een kilometerheffing dat destijds in Nederland op de tafel lag, men enkel de verkeersbelasting ging variabiliseren en niet de brandstoftaks, waarbij Vlaanderen uitte dat het ook dit spoor zou volgen. Het technologisch systeem zou in Nederland echter betaald kunnen worden dankzij de verkeersbelasting die daar tot 3 keer hoger ligt dan die van België. Dit maakte dat er in België extra inkomsten nodig zouden zijn, welke bijvoorbeeld via de toegevoegde waarde diensten (*value-added services*) en een deel van de externe kosten zouden binnenkomen.

## 4. Opzet van het gedragsexperiment

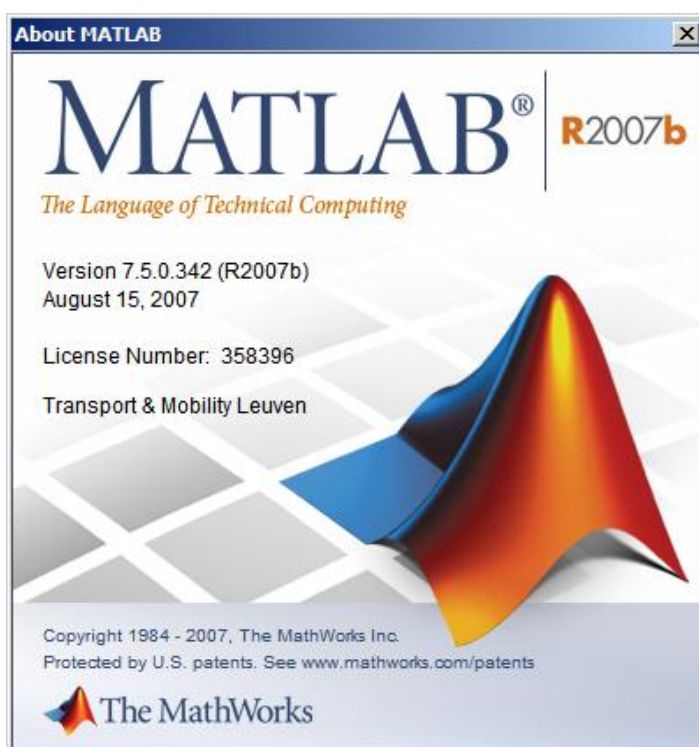
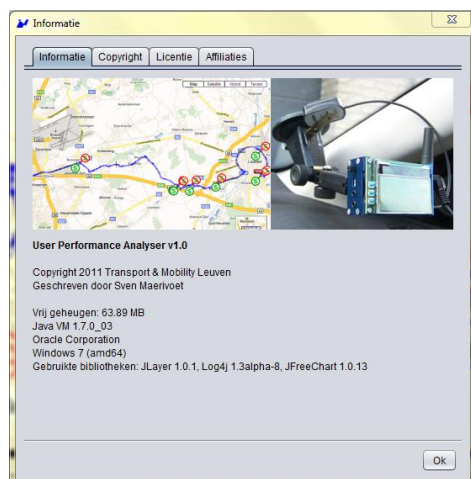
Naast de technologische uitwerking van de proeftuin (zie ook Sectie 2), had dit project ook als doel om de gevolgen van een slimme kilometerheffing in kaart te brengen. Om dit te onderzoeken werd een gedragsexperiment opgezet waarin een groep van proefpersonen gedurende een periode van enkele maanden nauwgezet opgevolgd werd. Het experiment omvatte 4, duidelijk afgebakende fasen, zoals te zien in Figuur 32:



Figuur 32: Schematisch overzicht van de verschillende fasen in het project.

Voorafgaand aan het gedragsexperiment was er een fase 0 die 7 maanden duurde en gebruikt werd om het systeem voor te bereiden. Daarna volgden de 3 fasen die in totaal zo'n 5 maanden bestreken. Nadat we de groep proefpersonen in de volgende Sectie besproken hebben, gaan we in de daaropvolgende Secties dieper in op elk van de verschillende fasen.

Alle analyses werden uitgevoerd met de door Transport & Mobility Leuven in Java 1.6 geschreven *User Performance Analyser* software, in combinatie met MATLAB 7.5.0.342 (R2007b) voor de statistische analyses.



## 4.1 Hoe selecteerden we de proefpersonen?

In deze Sectie bespreken we hoe we de proefpersonen in de proeftuin selecteerden. We maken eerst een onderscheid naar het type van proefpersonen en hoe we deze recruteerden, waarna we uitleggen hoe we hen begeleid, opgevolgd en geïnformeerd hebben.

### 4.1.1 Typering en recrutering van de proefpersonen

Vermits het aantal proefpersonen in deze proeftuin vrij beperkt was, dienden deze zo goed mogelijk gekozen te worden. Dit betekende dat we zoveel mogelijk diverse verplaatsingspatronen in het studiegebied (zie ook Sectie 3.4.1.2) wensten te omvatten.

Qua verplaatsingsgedrag zochten we voornamelijk proefpersonen die:

- buiten Leuven wonen en in Leuven werken,
- in Leuven wonen en buiten Leuven werken,
- zowel in het Leuvense wonen als werken
- en weekendbezoekers (bijvoorbeeld shoppers, ...).

Deze verplaatsingspatronen waren zo gekozen dat ze, gegeven het beperkt aantal proefpersonen, toch nog een grote spreiding van de mobiliteit in het studiegebied weergaven. Buiten deze meer geografische karakteristieken, zochten we onder andere ook proefpersonen die de mogelijkheid hadden om flexibel te werken (bijvoorbeeld thuiswerken, flexibele uren, ...).

Bij de recrutering was er waarschijnlijk wel een lichte vorm van zelfselectie, doordat de proefpersonen sneller geneigd waren om hun verplaatsingsgedrag aan te passen. Dit gaf toch een meerwaarde voor deze proeftuin, aangezien dit toeliet om de doelstellingen van het gedragsexperiment duidelijker in de verf te zetten.

Om de proefpersonen te recruterem, hebben we actief geronseld bij een aantal bedrijven, waaronder:

- Katholieke Universiteit Leuven.
- KBC.
- Stad Leuven.
- Politie Leuven.
- IBM.
- NXP.
- Transport & Mobility Leuven.
- T!NC.

Bij de recrutering maakten we naast mond-aan-mond reclame, ook gebruik van volgende flyer die door T!NC verspreid werd:

**WERK JE MEE AAN SLIMME MOBILITEIT???**

**Medewerkers gezocht voor een proefproject**

Het project wil nagaan in welke mate chauffeurs zich laten beïnvloeden door  
beprizing van mobiliteit en loopt van **maart tot december 2011**.



Deelname is gratis. Sterker nog:


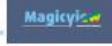

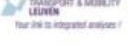

**Je kan er een mooie prijs mee winnen!!!**

Op het einde van het project krijg je een cadeaucheque met een  
waarde in verhouding tot de mate waarin je je rijgedrag  
aanpaste: Ben je bereid te werken aan mobiliteit, dan belonen  
we je ervoor!

Wil je deelnemen, surf **vóór 18 februari 2011** naar  
<http://www.its.be/> en klik op de link "TINC".

Dit project loopt in samenwerking met volgende partners:

Opdrachtgever  Coördinator  **T!NC**

Partners     

Figuur 33: De flyer die gebruikt werd voor de recrutering van de proefpersonen.

De kandidaten die zich aanboden werden vervolgens zoveel mogelijk geselecteerd volgens de criteria met betrekking tot de verplaatsingspatronen zoals opgeeft aan het begin van deze Sectie.

➔ Dit leverde in totaal 34 proefpersonen op.

Merk op dat, zoals reeds vermeld in Sectie 2.4.1, alle proefpersonen hun formele goedkeuring op papier hebben gegeven voor de analyse en het gebruik van hun gegevens in de context van deze proeftuin. Daartoe tekenden zij een 'vrijwilligersovereenkomst' bij aanvang van het project.

#### 4.1.2 Informatie en opvolging van de proefpersonen

Aan elk van deze gebruikers werd bepaalde informatie gevraagd, enerzijds met het oog op het onderhouden van nauw contact, en anderzijds om de verplaatsingspatronen meer in kaart te brengen. Deze informatie omvatte de gegevens zoals te zien in Figuur 34 (de zwarte balkjes duiden op persoonlijke informatie die niet publiek gedeeld werd).

➔ Merk op dat proefpersoon 'LEUVEN102' op voorhand expliciete toestemming had gegeven om diens (persoonlijke) (rit)gegevens ter illustratie in dit verslag te gebruiken.

**Gebruikersinformatie:**

LEUVEN102 (SVEN MAERIVOET)

Volledige naam:	Sven Maerivoet
Nummerplaat:	[REDACTED]
Bedrijf:	TML
E-mail:	sven@tmleuven.be
Telefoonnummer:	[REDACTED]
Voertuigtype:	Opel Astra Cosmo Z17CDTJ Die
Cylinderinhoud:	1.70 l
Fiscale PKs:	9
Tariefcategorie:	1
Jaarlijkse verkeersbelasting:	248.29 euro
Verkeersbelasting tariefschema:	268.03 euro
OBU ID:	02603702B22E33#102
OBU type:	Blue Box
Totaal aantal trips:	374
Aantal geldige trips:	369 (99%)
Aantal ongeldige trips:	5 (1%)

---

**Algemene opmerkingen:**

Wonen: [REDACTED] 3001 Heverlee.  
 Werken: Diestsesteenweg 57, 3010 Kessel-Lo.  
 Gemiddeld aantal km/jaar: 20.000  
 Aantal dagen/week pendelend: 4 à 5

Testrijder tijdens fase 0.

Heeft admin-versie op display van OBU.

Figuur 34: De persoonlijke informatie voor contact en opvolging van de proefpersonen (voorbeeld voor 'LEUVEN102').

Merk op dat, zoals reeds vermeld in Sectie 2.4.1, de privacy van de proefpersonen werd gewaarborgd doordat hun persoonlijke identiteitsgegevens in een aparte databank zaten waar enkel T!NC toegang tot had. Hier bij trad T!NC onder andere op als liaison tussen TML die de gedetailleerde analyses van de ritgegevens deed en feedback aan de proefpersonen gaf, en de proefpersonen zelf. De koppeling tussen beide databanken bestond enkel in de databanken zelf en gebeurde op basis van een geanonimiseerde identificatie, zoals bijvoorbeeld 'LEUVEN102'<sup>15</sup>. Daarnaast verliep ook al het contact met de proefpersonen via T!NC, waarbij volgende taken werden vervuld:

- Opzetten van startvergaderingen met alle proefpersonen:
  - Deze werden per bedrijf/regio gepland via een aantal informatiesessies.
  - Kennisgeving van de doelstellingen van het project en wat van de proefpersonen verwacht werd, met uitleg over:
    - Het concept rekeningrijden.
    - De bepaling van de verschillende tariefschema's.
    - De opzet van de verschillende fasen in het project.
    - Het verloop van de wedstrijd als een gedragsexperiment.
- Contractondertekening.
- Installatie van de OBUs in de voertuigen.

<sup>15</sup> De identificaties liepen van 'LEUVEN101' tot en met 'LEUVEN135', waarbij 'LEUVEN124' niet gebruikt werd.

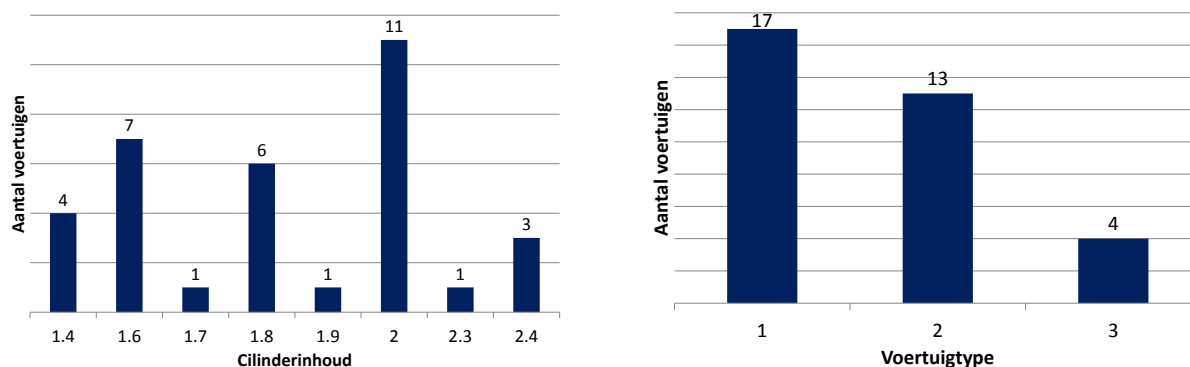
- Proactieve opvolging in verband met opvolging, eerstelijnsondersteuning, vragen en problemen met de back-end en de OBUs.

Merk op dat, in tegenstelling tot de showcase (zie ook Appendix B), er in deze proeftuin geen continue eCall functionaliteit werd voorzien. Het werd wel gepromoot, en indien de pers een demonstratie wenste, dan was het voor Touring geen probleem om de functionaliteit tijdelijk te activeren.

### 4.1.3 Demografische kenmerken van de proefpersonen

Van de 34 geselecteerde proefpersonen waren er 9 vrouwen (26%) en 25 mannen (74%). Zij werkten voor een hele reeks verschillende bedrijven, waaronder IBM (6 personen), Transport & Mobility Leuven (2 personen), NXP (7 personen), T!NC (2 personen), Stad Leuven (2 personen), K.U.Leuven, Leuven.Inc, Flanders Smart Hub, Smart Grid Flanders, Buitenlandse Zaken, bpost, Politie Leuven, LMS International, Europees Parlement, U.Z.Leuven, Vlaams Parlement, Het Nieuwsblad, ...

De spreiding van de verschillende types voertuigen waarmee de proefpersonen reden wordt getoond in Figuur 35. Links tonen we het aantal voertuigen met een bepaalde cilinderinhoud, rechts het aantal voertuigen volgens de classificatie uit Sectie 3.4.3. De spreiding tussen voertuigtypes 1 en 2 was redelijk gelijkwaardig, er waren beduidend minder zware voertuigen uit klasse 3.

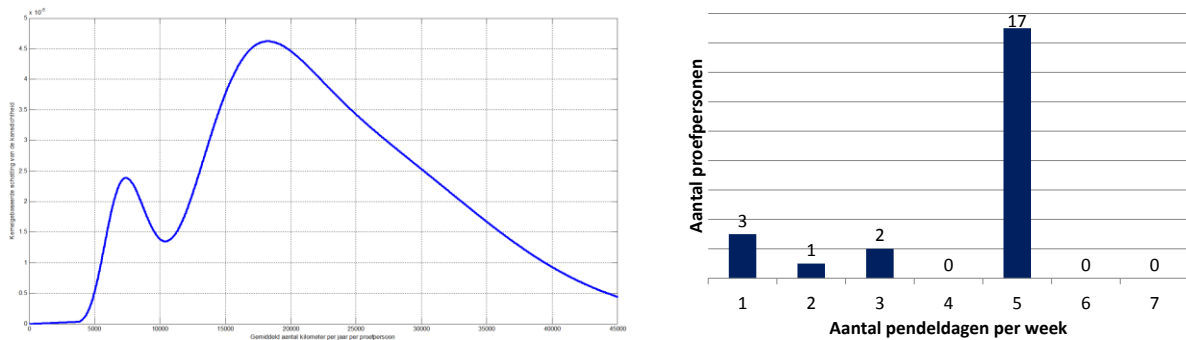


Figuur 35: Het aantal voertuigen met een bepaalde cilinderinhoud in de proeftuin (*links*). Het aantal voertuigen volgens de classificatie uit Sectie 3.4.3 (*rechts*).



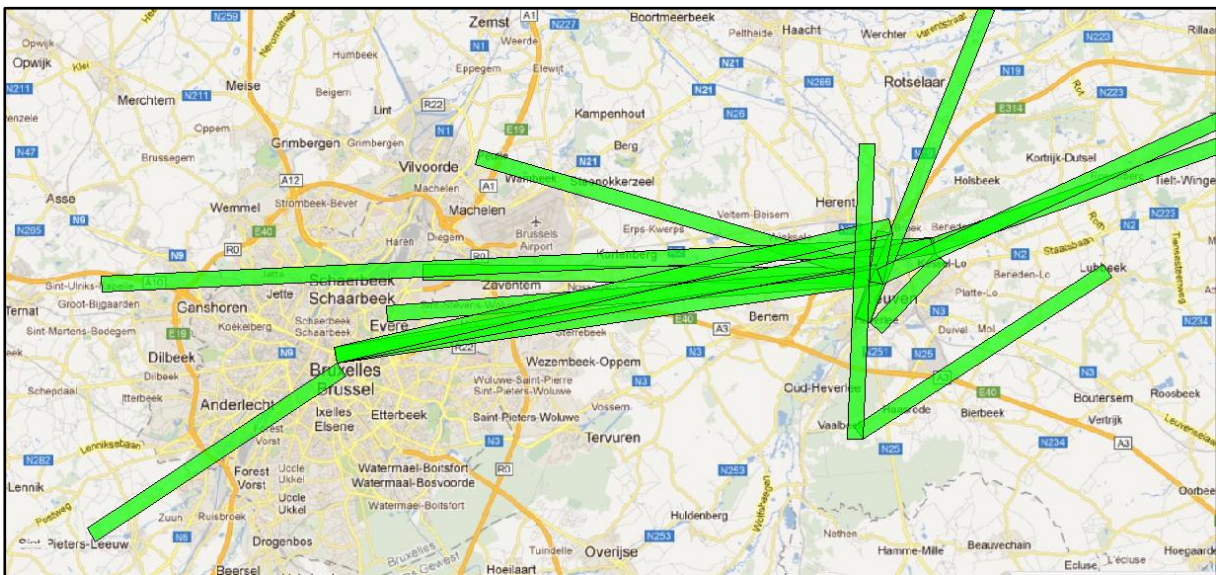
Kijken we naar het gemiddeld aantal jaarlijks afgelegde kilometers, dan volgde deze de verdeling zoals te links zien in Figuur 36. Het zwaartepunt lag tussen de 15.000 en 20.000 kilometer met uitlopers van 25.000 tot 30.000 kilometer; dit was vrij hoog in vergelijking met het Belgisch gemiddelde van 14.755 kilometer uit Sectie 3.5.1.1. Daarnaast waren er ook proefpersonen die met 7.500 kilometer een beduidend minder aantal per jaar aflegden.

Naar verplaatsingsgedrag toe hebben we aan de proefpersonen ook gevraagd hoeveel dagen zij gemiddeld per week pendelen tussen hun woonst en hun werk. De resultaten zijn rechts te zien in Figuur 36, waarbij we van 23 proefpersonen (68%) antwoord kregen: 17 van hen (74%) pendelden gemiddeld 5 dagen per week.



Figuur 36: Het gemiddeld aantal jaarlijks afgelegde kilometers door alle proefpersonen (links). Het aantal dagen per week dat de proefpersonen pendelden (23 respondenten) (rechts).

Van elke proefpersoon waren ook de thuis- en werklocaties gekend, wat ons een idee gaf van de geografische spreiding van de verplaatsingspatronen. In Figuur 37 worden al deze verbanden grafisch weergegeven, waarbij de groene balken op verplaatsingen in vogelvlucht tussen postcodes duiden. Er was een grote concentratie in het Leuvense te zien, die uitwaaierde met verplaatsingen van en naar Brussel.



Figuur 37: Een overzicht van de geografische spreiding van alle verplaatsingspatronen tussen de thuis- en werklocaties van alle proefpersonen (in vogelvlucht tussen postcodes).

## 4.2 Fase 0 (voorbereiding met kerntesters)

Vooraleer het gedragsexperiment met de proefpersonen van start ging, werd eerst een fase 0 georganiseerd waarin de hele proeftuin werd uitgerold en voorbereid met een selecte groep. Deze periode omvatte een zevental maanden en liep van februari tot en met augustus 2011.

De hoofddoelstelling van deze fase was om alle individuele hard- en software componenten enerzijds in een real-life opzet te testen, maar anderzijds om ook alles op elkaar af te stemmen en met elkaar te integreren (bijvoorbeeld de uitwisseling van gegevens tussen de OBU en de gateway en back-end servers zoals uiteengezet in Sectie 2.3.2). Hierbij werden alle OBUs door een kleine groep van kerntesters onder de loep genomen opdat zij zouden werken tijdens de wedstrijd, maar ook alle informatie omtrent de back-end infrastructuur op punt gezet.

Deze **aanvaardingstesten** (*acceptance tests*) zijn ruwe, minimale criteria waaraan voldaan moest worden opdat er correcte ritten en analyses gebeuren. De reden voor dergelijke testen was dat er geen grondwaarheid bestond voor validatie, en we ook niet konden veronderstellen dat de GPS posities de enige bron van waarheid zouden zijn. Het was daarom nodig dat we vooreerst handmatige analyses als een betrouwbare manier van validatie uitvoerden. De criteria werden opgesteld vanuit de standpunten van een proefpersoon en een analist. Op basis hiervan konden de industriële partners in het consortium een interne databank van problemen en opties aanleggen.

Merk op dat niet alle criteria noodzakelijkerwijs geïmplementeerd werden, vermits het hier om een proeftuin ging en geen volledig uitgewerkte grootschalige industriële oplossing. Dat er af en toe problemen waren, was binnen de verwachtingen van deze beperkte proeftuin. De industrie was in deze dan ook beter gepositioneerd om in te schatten en te bepalen welke criteria mogelijk implementeerbaar waren, en welke beter uitgesteld dan wel genegeerd konden worden (wegens budgettaire beperkingen, niet genoeg beschikbare middelen, ...).

Bijgevolg schetste de kleine groep van kerntesters op meer intuïtieve wijze hoe een aanvaardbare gebruikerservaring er zou uitzien. Het was daarbij belangrijk om in te zien dat sommige van de criteria wel eenduidig konden beoordeeld worden, waarbij andere eerder losser geïnterpreteerd dienden te worden. Een voorbeeld hiervan was dat het altijd mogelijk was om een a posteriori analyse van een rit te doen op basis van de informatie in de back-end server, maar dat het vrij moeilijk was om tegelijk met een voertuig te rijden, rekening te houden met de andere verkeersdeelnemers, eventueel het navigatieadvies volgen, ... en bovenop dit alles ook nog eens regelmatig het scherm van de OBU bekijken en bijhouden of wat er op stond wel degelijk in lijn met het bedoelde tariefschema was. Dit maakte dat sommige criteria door meer strikte bepalingen werden uitgewerkt, terwijl andere een meer kwalitatieve aanpak vereisten die gebaseerd was op de ervaringen en inschattingen van de kerntesters.

We maakten een onderscheid tussen 3 types criteria:

- **OBU criteria:** deze legden de nadruk op de werking van de OBU, onafhankelijk van de communicatie met de back-end server.
- **OBU + back-end server criteria:** deze legden de nadruk op de communicatie en de werking van de OBU die interageert met de back-end server.
- **Back-end server criteria:** deze legden de nadruk op de functionering van de back-end server.

Het was in de beginfase van deze proeftuin nodig dat voor een vlotte samenwerking de industrie haar feedback tijdig en regelmatig terug naar de kerntesters en het consortium communiceerde, dit met het oog op de haalbaarheid van de criteria en hun evolutie doorheen het project.

In de volgende Secties lijsten we enkele van deze criteria op, en geven we aan in welke mate er al dan niet aan voldaan werd en waarom.

### 4.2.1 OBU criteria

- De OBU moest voor wat betreft de GPS en GSM-status operationeel zijn en een rit beginnen te volgen binnen een straal van zo'n 250 tot 500 rond het vertrekpunt. Dit kwam bij een lage startsnelheid overeen met een gebied van zo'n 0,2 km<sup>2</sup> tot 0,8 km<sup>2</sup>, respectievelijk. Bij een maximale gemiddelde snelheid van zo'n 35 km/u (~ 10 m/s) leidde dit tot een maximale tijdsduur van zo'n 25 tot 50 seconden. De reden voor deze meer stringente ondergrenzen is dat men in steden snel een grote afstand kon afleggen, net op de plaatsen waar mensen frequent hun verplaatsingen aanregen tot ketens.
  - ➔ *Vermits het hier een proeftuin betrof en geen volledig uitgerolde implementatie, werd het criterium verzacht tot 2 minuten (of ruim 500 m). De ondergrens van 25 tot 50 seconden was niet haalbaar in pilootprojecten, enkel in commerciële producten.*
- De positie- en tariefaanduidingen op het scherm van de OBU moesten correct zijn.
  - ➔ *Dit was haalbaar en in orde.*
- De afgelegde afstand die op het scherm van de OBU verschijnt moest aanvaardbaar zijn.
  - ➔ *In de proeftuin werd besloten op de afgelegde afstand niet weer te geven. De hoofdreden was dat verschillende digitale kaarten aanleiding tot verschillende afstanden geven, en er geen eenduidige bron van waarheid was. De verschillen tussen kaarten onderling konden tot wel 15% oplopen.*

### 4.2.2 OBU + back-end server criteria

- De feedback die een proefpersoon op het scherm van de OBU kreeg moest binnen een aanzienbare tijd gebeuren, dit is binnen 1 minuut. Als het systeem dat niet binnen die tijdsperiode kon (bijvoorbeeld door problemen met de GSM verbinding, vertragingen in de communicatie, ...), dan moest dit vermeld worden op het scherm van de OBU.
  - ➔ *Dit was in orde; van zodra de communicatie achterliep verscheen er een \*sync\* aanduiding (van synchronisatie) op het scherm van de OBU.*

### 4.2.3 Back-end server criteria

- Er diende een correcte identificatie van de ritsegmenten op back-end server te gebeuren. Gegeven de foutenmarge op het GPS signaal was het in de proeftuin echter niet de bedoeling om aan exacte positiebepaling te doen. Het was veeleer een noodzaak dat het voertuig correct op de digitale kaart gepositioneerd diende te worden ten opzichte van de werkelijke positie, dit tot op het niveau van een positie langsheen een weg. Alle gereden wegen dienden ook op de back-end server voor de proefpersonen zelf opvraagbaar te zijn.
  - ➔ *Dit werd deels in orde gebracht; de onnauwkeurigheid van het GPS signaal kon op een intelligente manier aangepakt en verbeterd worden. Een voorbeeld hiervan zijn voertuigen wiens GPS posities hen langs verkeerslichten geregelde kruispunten aan af- en opritten lieten doorschieten in plaats van de rechtdoor-rijrichting op de hoofdbaan te volgen. De map-matcher kon hiermee rekening houden en ervoor compenseren. De nadruk lag ook op alle trajecten in het studiegebied zelf (zie ook de zwarte rechthoek in Sectie 3.4.1.2), en niet zozeer op het gebied daarbuiten.*
- Er diende een correcte identificatie van de tariefzones te gebeuren. Dit betekende ook dat de overgangen van de ene naar de andere tariefzone op de juiste wegsegment en het juiste tijdstip dienden te gebeuren, gegeven het tariefschema voor een specifieke type voertuig.
  - ➔ *Dit werd in de mate van het mogelijke in orde gebracht; het was vooral afhankelijk van de hoeveelheid informatie die de kerntesters aan de industrie geven.*
- Werden de rittotalen juist berekend? Deze informatie was voor elke proefpersoon individueel zichtbaar gedurende fase 2.
  - ➔ *Dit was niet geweten, aangezien het een voor deze proeftuin veel te gedetailleerde analyse van de ritten door de kerntesters zou vragen.*

- De gateway en back-end servers (zie ook de uiteenzetting in Sectie 2.3.2) dienden zoveel mogelijk bereikbaar en beschikbaar te zijn met zo weinig mogelijk ‘down-time’. Indien dit niet zo was, bijvoorbeeld wegens geplande onderhoudswerken aan de servers, dan diende dit minstens 1 dag op voorhand aan de proefpersonen aangekondigd te worden.  
→ *Gegeven dat in deze proeftuin de systemen van verschillende bedrijven met elkaar geïntegreerd waren, werden de proefpersonen in de mate van het mogelijk verwittigd van onderhoudswerken.*
- Was de gebruikersomgeving (‘user interface’) op de website van de back-end server voldoende duidelijk?  
→ *Deze inschatting gebeurde enkel door de kerntesters, waarna het niet meer aan de proefpersonen zelf gevraagd werd. Voor de proeftuin was de omgeving voldoende duidelijk.*

### 4.3 Fase 1 (referentieperiode met nulmeting)

Nadat de hele proeftuin uitgerold en voorbereid was in fase 0, startte fase 1, een 2 maanden durende nulmeting fase 1 die van September tot en met Oktober 2011 liep.

#### 4.3.1 De proefpersonen met het systeem vertrouwd maken

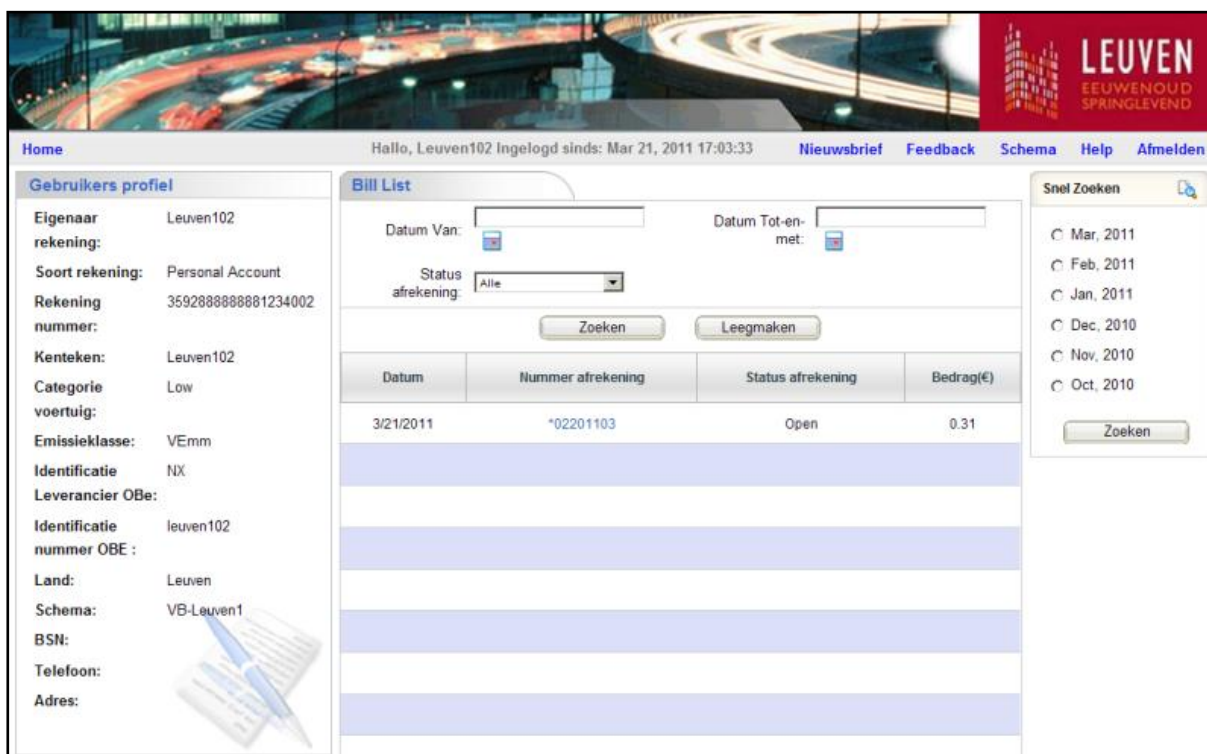
Alle proefpersonen kregen gedurende fase 1 van het project ruim de tijd om zichzelf met het systeem vertrouwd te maken. Enerzijds betrof dit het gebruik van de OBU, welke voor elke rit handmatig moest aangesloten worden, en anderzijds het gebruik van de website. Elke proefpersoon kreeg immers een persoonlijke pagina op de back-end server, waartot enkel de persoon in kwestie via Internet toegang had<sup>16</sup>. De informatie daar was vertrouwelijk en enkel toegankelijk met een gebruikersnaam en wachtwoord (zie de inlogprocedure<sup>17</sup> in Figuur 38). Op deze pagina konden de proefpersonen een overzicht van hun virtuele facturen per maand samengevat raadplegen (zie Figuur 39), waarbij de afrekening per rit (zie Figuur 40) en daarbinnen per ritsegment (zie Figuur 41) opgesplitst werd (met name per tariefovergang). Per rit zagen ze het ritnummer, de datum en het tijdstip, de plaatsen van vertrek en aankomst en tenslotte de geregistreerde afstand en de berekende ritprijs. Ook hadden de proefpersonen de mogelijkheid om zeer gedetailleerde informatie op te vragen waarbij ze hun eigen gereden routes op een digitale wegenkaart konden zien (zie Figuur 42). Al deze informatie werd tijdens de informatiesessies duidelijk naar de proefpersonen gecommuniceerd; daarnaast konden zij ook een summiere handleiding terugvallen [Ren11].

<sup>16</sup> De website werd getest met Microsoft Internet Explorer v6 en Mozilla Firefox v3.6.

<sup>17</sup> <http://itspilot.redirectme.net/ru/>



Figuur 38: Inlogprocedure op de persoonlijke pagina van een proefpersoon (voorbeeld voor ‘LEUVEN102’) op de back-end server.



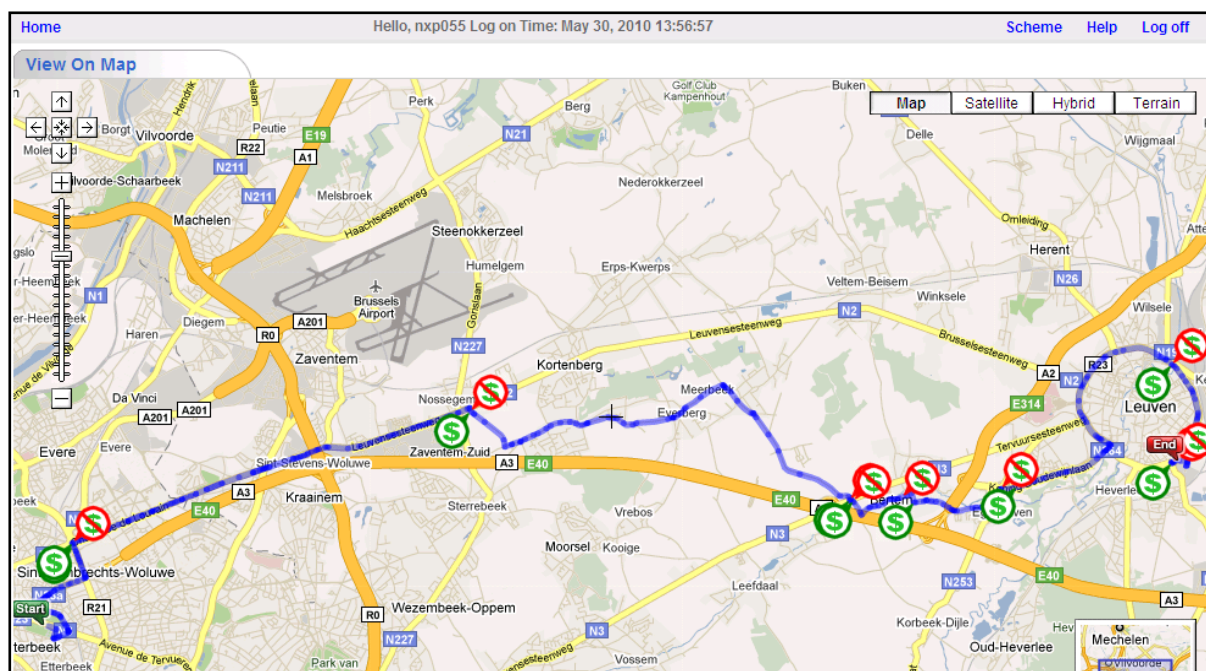
Figuur 39: Het overzicht van de virtuele facturen van een proefpersoon (voorbeeld voor ‘LEUVEN102’), per maand samengevat.

#	Rit	Start tijd	Start plaats	Eind tijd	Eind plaats	Afstand (Km)	Bedrag (€)
1	*00023805	02/25/11 14:50:00	HEVERLEE, NAAMSESTEENWEG	02/25/11 15:00:00	HEVERLEE, WAVERSEBAAN	4.982	0.08
2	*00023865	02/26/11 16:55:00	ROCHEFORT, RUE JACQUET	02/26/11 16:58:00	ROCHEFORT, RUE DE BEHOGNE	0.872	0.00
3	*00023867	02/26/11 16:59:00	ROCHEFORT, RUE DE CINEY	02/26/11 17:04:00	ZONING INDUSTRIEL	3.977	0.00
4	*00023875	02/26/11 17:10:00	ROCHEFORT, RUE DE BEHOGNE	02/26/11 17:22:00	ROCHEFORT, RUE DE BEHOGNE	4.266	0.00
5	*00023879	02/26/11 18:43:00	ROCHEFORT, RUE DE BEHOGNE	02/26/11 19:10:00	POIX SAINT-HUBERT, RUE DES ARDENNES	27.546	0.00
6	*00023889	02/26/11 21:25:00	RUE DES ARDENNES	02/26/11 22:44:00	HEVERLEE, WAVERSEBAAN	124.500	0.00
7	*00023899	02/27/11 02:39:00	ZWUNDRECHT, SMISSTRAAT	02/27/11 02:43:00	SMOUTPOT	2.481	0.00
8	*00023975	03/01/11 16:19:00	HEVERLEE, WAVERSEBAAN	03/01/11 16:30:00	- KESSEL-LO, TIENSESTEENWEG	7.904	0.21
9	*00023991	03/01/11 20:55:00	HEVERLEE, WAVERSEBAAN	03/01/11 21:01:00	HEVERLEE, HERTOGSTRAAT	1.836	0.03
10	*00023999	03/01/11 22:55:00	HEVERLEE, KERSPELSTRAAT	03/01/11 22:59:00	HEVERLEE, WAVERSEBAAN	1.885	0.03

Figuur 40: Het overzicht van de virtuele facturen per rit van een proefpersoon (voorbeeld voor 'LEUVEN102').

#	Road Type	Time Boundary	Distance (Km)	Amount (€)	Charge Desc.
11	Secondary Road		0.391	0.03	SUV on the Local Road
12	Secondary Road		0.016		SUV on the Local Road
13	Major A Road		2.351	0.06	SUV on the Main Road
14	Major B Road		3.671	0.10	SUV on the Main Road
15	Major A Road		0.649	0.02	SUV on the Connection Road
16	Major B Road		1.613	0.04	SUV on the Connection Road
17	Local Road		0.026		SUV on the Local Road
18	Major A Road		0.133		SUV on the Connection Road
19	Local Road		0.390	0.03	SUV on the Local Road
20					Journey end
<b>Total:</b>			<b>35.348</b>	<b>1.63</b>	

Figuur 41: Het overzicht van de verschillende ritsegmenten van een rit van een proefpersoon (voorbeeld voor 'LEUVEN102'), waarbij de overgangen tussen de verschillende tariefzones expliciet doorheen de tijd worden aangegeven.



Figuur 42: De gedetailleerde positioneringsinformatie op een digitale wegenkaart van een rit van een proefpersoon (voorbeeld voor 'LEUVEN102'). De overgangen tussen de verschillende tariefzones worden door middel van gekleurde iconen weergegeven (de rode '\$' duiden op het verlaten van een bepaalde tariefzone in ruimte en tijd, de groene '\$' op het betreden van een volgende).

Via hun persoonlijke pagina kregen de proefpersonen naast algemene informatie die via de nieuwsbrief verspreid werd, ook toegang tot persoonlijke feedback tijdens het wedstrijdverloop in fase 2. Ook was er voor hen een overzicht van de tariefschema's, zoals uitgewerkt in Secties 3.4 en 3.5.

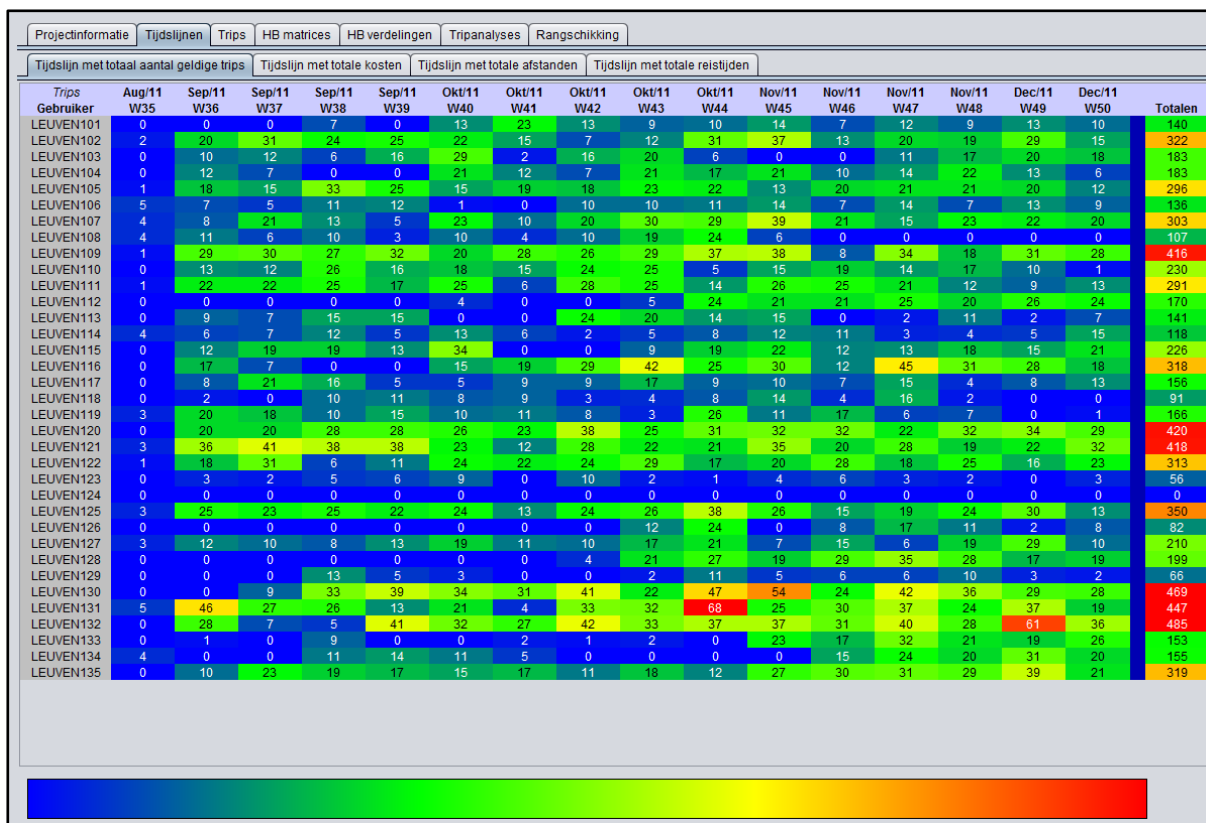
We voorzagen geen knop op de OBU of back-end pagina's die aangaf of het een privé-, dan wel een werkverplaatsing is. De rationale is dat bedrijven bij dit soort kilometerheffingen vaak een mobilitetsbudget aan hun werknemers geven (afhankelijk van de specialisatie van de werknemer, bijvoorbeeld 50 euro per maand). De testgebruikers zijn in ons geval geen koeriers en dergelijke, waardoor ze in zekere mate zelf verantwoordelijk kunnen zijn voor al hun verplaatsingen in dienstverband. Het incentief om 'goedkoper te rijden' blijft dan gelden.

### 4.3.2 In kaart brengen van het verplaatsingsgedrag per proefpersoon

Een andere doelstelling gedurende deze fase van het project was om het standaard verplaatsingsgedrag per proefpersoon zo goed mogelijk in kaart te brengen. Belangrijk hierbij was dat er geen tariefinformatie van eender welke aard op het scherm verscheen, noch op hun persoonlijke pagina's op de back-end server. Enkel op deze manier konden we garanderen dat de proefpersonen zo weinig mogelijk beïnvloed zouden worden.

#### 4.3.2.1 Globaal overzicht per week voor alle proefpersonen

In het kader van de statistische analyses, werden elke week de algemene geanonimiseerde rittotalen voor verwerking doorgestuurd, nagekeken op consistentie en geanalyseerd. Een voorbeeldoverzicht van het aantal gereden ritten per week per proefpersoon is te zien in Figuur 43. Dit overzicht werd ook gebruikt om op een snelle manier inconsistenties in rijgedrag op te sporen, of de aanwezigheid van algemene vakanties en persoonlijke verlofregelingen, welke van het 'normale persoonlijk verplaatsingsgedrag' afweken.



Figuur 43: Een voorbeeldoverzicht van het aantal gereden ritten per week per proefpersoon. De individuele cellen werden gekleurd volgens het aantal: blauwe cellen duiden op een laag aantal gereden ritten, groene op een gemiddeld aantal en rode op een hoog aantal gereden ritten.

#### 4.3.2.2 Overzicht van de algemene ritgegevens per proefpersoon

Per proefpersoon konden ook enkele algemene ritdetails opgevraagd worden, zoals te zien in Figuur 44. Het betrof hier voornamelijk het vertrek- en aankomstpunt van een rit, de datum en tijd waarop de rit startte, en de totale afgelegde afstand, kost en reistijd, samen met de totaal afgelegde afstanden en kosten per type weg (W1 — W4, zie ook Sectie 3.4.1). Merk op dat we in de analyses enkel rekening hielden met geldige ritten. Een rit werd als ongeldig verklaard indien de plaatsnaam van vertrek of aankomst ontbrak, of indien de totale ritafstand kleiner dan 150 meter was<sup>18</sup>. Ook werd bij de verzameling van de ritten voor statistische analyse nog een koppeling gemaakt tussen de plaatsnamen en de postcodes, vermits in de NAVTEQ kaarten op de back-end server geen postcodes ingebakken zaten. De koppeling gebeurde op basis van de publiek beschikbare databank van bpost<sup>19</sup> en de fonetische spellingen van de plaatsnamen. Dit maakte dat de analyses op postcode niveau konden gebeuren, daar analyses op straatnaamniveau te complex om te verwerken waren, en we anders ook rekening moesten houden met sommige tweetalige plaatsnamen.

<sup>18</sup> Ongeveer 5% van alle ritten werd op deze manier afgekeurd.

<sup>19</sup> [http://www.bpost.be/site/nl/residential/customerservice/search/postal\\_codes.html](http://www.bpost.be/site/nl/residential/customerservice/search/postal_codes.html)



Trippnummer	Vertrekadres	Aankomstadres	Datum	WE	Tijdstip	Afstand	Kost	Reistijd
20111107000000055281	3001 (NAAMSESTEENWEG, HEVERLEE)	2800 (IJZERENLEEN, MECHELEN)	07/11/2011	WD	18:18	27 km	€ 0.50	39 min
20111107000000055137	3012 (KOLONEL BEGAULTLAAN, WILSELE)	3001 (WAVERSEBAAN, HEVERLEE)	07/11/2011	WD	11:23	6 km	€ 0.10	10 min
20111107000000055131	3001 (WAVERSEBAAN, HEVERLEE)	3012 (KOLONEL BEGAULTLAAN, WILSELE)	07/11/2011	WD	11:01	8 km	€ 0.12	13 min
20111107000000055099	3010 (DIESTSESTEENWEG, KESSEL-LO)	3001 (WAVERSEBAAN, HEVERLEE)	07/11/2011	WD	09:12	4 km	€ 0.08	12 min
20111107000000055029	3001 (SINT-LAMBERTUSSTRAAT, HEVERLEE)	3010 (DIESTSESTEENWEG, KESSEL-LO)	07/11/2011	WD	00:14	6 km	€ 0.10	6 min
20111107000000055027	1851 (SPEKVELD, HUMBEEK)	3001 (WAVERSEBAAN, HEVERLEE)	06/11/2011	WE	23:41	35 km	€ 0.54	18 min
20111106000000054807	9100 (GYSSELSTRAAT, NIEUWKERKEN-WAAS)	9100 (HEIHOEKSTRAAT, NIEUWKERKEN-WAAS)	05/11/2011	WE	23:27	3 km	€ 0.00	4 min
20111105000000054773	3001 (WAVERSEBAAN, HEVERLEE)	9100 (GYSSELSTRAAT, NIEUWKERKEN-WAAS)	05/11/2011	WE	20:08	79 km	€ 0.54	48 min
20111105000000054765	3010 (MARTELARENLAAN, KESSEL-LO)	3001 (WAVERSEBAAN, HEVERLEE)	05/11/2011	WE	19:28	4 km	€ 0.07	7 min
20111105000000054707	4040 (RUE DES NAIVEUX, PONTISSE)	3010 (DIESTSESTEENWEG, KESSEL-LO)	05/11/2011	WE	17:31	79 km	€ 0.23	53 min
20111105000000054533	3010 (DIESTSESTEENWEG, KESSEL-LO)	4040 (RUE BASSE CAMPAGNE, PONTISSE)	05/11/2011	WE	11:31	82 km	€ 0.25	55 min
20111105000000054515	3000 (BONDGENOTENLAAN, LEUVEN)	3010 (DIESTSESTEENWEG, KESSEL-LO)	05/11/2011	WE	11:01	3 km	€ 0.05	7 min
20111105000000054501	3001 (NAAMSESTEENWEG, HEVERLEE)	3000 (BONDGENOTENLAAN, LEUVEN)	05/11/2011	WE	10:43	6 km	€ 0.09	10 min
20111104000000054263	3010 (WERKHUIZENSTRAAT, KESSEL-LO)	3001 (WAVERSEBAAN, HEVERLEE)	04/11/2011	WD	17:14	6 km	€ 0.13	11 min
20111104000000054109	3001 (WAVERSEBAAN, HEVERLEE)	3010 (WERKHUIZENSTRAAT, KESSEL-LO)	04/11/2011	WD	11:55	6 km	€ 0.10	11 min
20111103000000053893	2070 (VROMENHOVE, ZWIJNDRECHT)	3001 (WAVERSEBAAN, HEVERLEE)	03/11/2011	WD	21:54	67 km	€ 0.56	39 min
20111103000000053883	2070 (ADHEMAR BORINSTRAT, ZWIJNDRECHT)	2070 (VROMENHOVE, ZWIJNDRECHT)	03/11/2011					2 min
20111103000000053813	3001 (JULES VANDENBEMPTLAAN, HEVERLEE)	2070 (JAN BAPTIST TASSYNSSTRAAT, ZWIJNDRECHT)	03/11/2011					38 min
20111103000000053731	3010 (WERKHUIZENSTRAAT, KESSEL-LO)	3001 (WAVERSEBAAN, HEVERLEE)	03/11/2011					16 min
20111103000000053541	3001 (MEERDAALBOSLAAN, HEVERLEE)	3010 (WERKHUIZENSTRAAT, KESSEL-LO)	03/11/2011					13 min
20111103000000053535	3001 (SINT-LAMBERTUSSTRAAT, HEVERLEE)	3001 (MEERDAALBOSLAAN, HEVERLEE)	03/11/2011					5 min
20111103000000053503	3000 (ERASME RUELENSVEST, LEUVEN)	3001 (WAVERSEBAAN, HEVERLEE)	03/11/2011					14 min
20111103000000053485	3001 (SINT-LAMBERTUSSTRAAT, HEVERLEE)	3000 (ERASME RUELENSVEST, LEUVEN)	03/11/2011					11 min
20111103000000053329	3001 (WAVERSEBAAN, HEVERLEE)	3001 (WAVERSEBAAN, HEVERLEE)	03/11/2011					34 min
20111102000000053221	2070 (VROMENHOVE, ZWIJNDRECHT)	3001 (WAVERSEBAAN, HEVERLEE)	02/11/2011					49 min
20111102000000053185	3001 (WAVERSEBAAN, HEVERLEE)	2070 (VROMENHOVE, ZWIJNDRECHT)	02/11/2011					42 min
20111102000000053099	3010 (WERKHUIZENSTRAAT, KESSEL-LO)	3001 (WAVERSEBAAN, HEVERLEE)	02/11/2011					12 min
20111102000000052309	3000 (JEAN-BAPTISTE VAN MONSSTRAAT, LEUVEN)	3010 (WERKHUIZENSTRAAT, KESSEL-LO)	02/11/2011					8 min
20111102000000052287	3001 (WAVERSEBAAN, HEVERLEE)	3000 (VAARTSTRAAT, LEUVEN)	02/11/2011					16 min
20111101000000052155	3010 (DIESTSESTEENWEG, KESSEL-LO)	3001 (WAVERSEBAAN, HEVERLEE)	01/11/2011					6 min
20111101000000051999	2060 (SERIGIERSSTRAAT, ANTWERPEN)	3010 (DIESTSESTEENWEG, KESSEL-LO)	01/11/2011					74 min
20111101000000051883	3010 (DIESTSESTEENWEG, KESSEL-LO)	2060 (VOLHARDINGSTRAAT, ANTWERPEN)	01/11/2011					38 min
20111103100000051829	3001 (NAAMSESTEENWEG, HEVERLEE)	3010 (DIESTSESTEENWEG, KESSEL-LO)	31/10/2011					8 min
20111103100000051717	3360 (VLINDERLAAN, KORBEEK-LO)	3001 (WAVERSEBAAN, HEVERLEE)	31/10/2011					13 min
20111103100000051597	3010 (DIESTSESTEENWEG, KESSEL-LO)	3360 (VLINDERLAAN, KORBEEK-LO)	31/10/2011					8 min
20111103100000051139	3001 (WAVERSEBAAN, HEVERLEE)	3010 (WERKHUIZENSTRAAT, KESSEL-LO)	31/10/2011					15 min
20111029000000051163	3001 (KARDINAAL MERCIERLAAN, HEVERLEE)	3001 (WAVERSEBAAN, HEVERLEE)	29/10/2011					3 min
20111029000000051139	3001 (WAVERSEBAAN, HEVERLEE)	3000 (VERVUURSEVEST, LEUVEN)	29/10/2011					26 min
20111029000000049743	3010 (DIESTSESTEENWEG, KESSEL-LO)	3001 (WAVERSEBAAN, HEVERLEE)	26/10/2011					10 min
20111026000000049741	3001 (NAAMSESTEENWEG, HEVERLEE)	3010 (WERKHUIZENSTRAAT, KESSEL-LO)	26/10/2011					8 min
20111026000000049737	2840 (E19, REET)	3001 (WAVERSEBAAN, HEVERLEE)	25/10/2011					27 min
20111026000000049725	3001 (SINT-LAMBERTUSSTRAAT, HEVERLEE)	2070 (VROMENHOVE, ZWIJNDRECHT)	25/10/2011					63 min
20111025000000049531	3010 (DIESTSESTEENWEG, KESSEL-LO)	3001 (WAVERSEBAAN, HEVERLEE)	25/10/2011					11 min

Figuur 44: Overzicht van de algemene ritdetails per proefpersoon (voorbeeld voor 'LEUVEN102').

### 4.3.2.3 Overzicht van alle herkomsten en bestemmingen per proefpersoon

Op basis van de postcodes werden ook de herkomsten en bestemmingen per proefpersoon in kaart gebracht en proefsteeksgewijs handmatig nagekeken op consistentie. Voorbeeld van enkele van dergelijke herkomst-bestemmingstabellen zijn te zien in Figuur 45 (totaal aantal ritten), Figuur 46 (totaal afgelegde afstanden), Figuur 47 (totale kosten) en Figuur 48 (totale reistijden). Elk element in een dergelijke Tabel duidt op het bijvoorbeeld het aantal ritten dat van een zekere herkomst (de rijen) naar een zekere bestemming (de kolommen) gingen. De onderste rij en rechtse kolom van de Tabellen geven telkens bijvoorbeeld het totaal aantal ritten weer die vanuit een zekere herkomst vertrokken, dan wel in een zekere bestemming aankwamen.





#### 4.3.2.4 Overzicht van alle verdelingen per proefpersoon

Het was op basis van de volledige databank met ritten ook mogelijk om een meer overkoepelende analyse van het gedrag van de proefpersonen te maken. Hiervoor keken we naar de verdelingen van de kosten per rit, de afgelegde afstand per rit, de reistijd per rit, de reistijd per kilometer per rit, en correlaties tussen de afstand en kost per rit en de afstand en reistijd per rit (zie Figuur 49). We vergeleken deze verdelingen ook steekproefsgewijs handmatig met die van alle proefpersonen tezamen.



Figuur 49: Statistische analyse van de verdelingen van de totaal afgelegde afstanden, kosten en reistijden van alle ritten per proefpersoon (voorbeeld voor 'LEUVEN102').

#### 4.3.3 Vaststelling van het referentiepatroon per proefpersoon

Op basis van de geregistreerde ritten en bijhorende kosten was het mogelijk om voor elke proefpersoon een referentiepatroon vast te stellen. De analyse ging uit van de algemene ritgegevens per proefpersoon. Dit resulteerde in enerzijds een analyse van de **totale absolute kost** en anderzijds de **gemiddelde kost per kilometer** per proefpersoon.

Vooraleer de ritgegevens verder statistisch geanalyseerd werden, dienden we deze eerst voor te bewerken waarbij we eerst per proefpersoon al diens ongeldige ritten wegfilterden (zie ook Sectie 4.3.2.2 voor definitie van een ongeldige rit). In de volgende Secties leggen we eerst uit hoe we alle ritgegevens omgezet hebben naar genormaliseerde ritkosten, waarna we ze onderling consistent met elkaar maakten. Tot slot tonen we hoe dit, bij wijze van voorbeeld, toegepast werd op een individuele proefpersoon.

### 4.3.3.1 Berekening van de genormaliseerde ritkosten

Vermits de proefpersonen met verschillende types voertuigen rondreden, waren de tarieven voor hen ook telkens verschillend van elkaar. Afhankelijk van de voertuigklasse werd een lagere, dan wel hogere, verkeersbelasting gebruikt voor de variabilisering (zie ook Sectie 3.5.2). Om bij de wedstrijd en beoordeling in fase 2 alle proefpersonen op een eerlijke manier met elkaar te vergelijken, hebben we alle gemaakte ritkosten genormaliseerd naar eenzelfde tariefstructuur. Dit was analoog aan het uitgangspunt dat iedereen van dezelfde verkeersbelasting vertrok.

In plaats van dat de tarieven voor de ritkosten gebaseerd werden op (1) een weging van de externe kosten (die voornamelijk rekening hielden met het type weg en de tijdsperiode) en (2) de totale verkeersbelasting op basis van de fiscale PKs, hielden we in deze stap enkel rekening met het eerste criterium. Aangezien de tarieven voor alle proefpersonen hetzelfde werden genomen, en de absolute waarde ervan niet uitmaakten voor een onderlinge vergelijking, gebruikten we de eerder gevonden relatieve verhoudingen  $R_{x,t,k}$  uit Sectie 3.5.1.2 voor de personenwagens rijdend op diesel en elektrische voertuigen:

	[cent/km]	
<b>Diesel</b>	Piekperiode	Dalperiode
Autosnelwegen (W1)	5,052	4,530
Gewestwegen (W2)	6,821	4,685
Steden (W3)	10,787	5,544

	[cent/km]	
<b>Elektrische voertuigen</b>	Piekperiode	Dalperiode
Autosnelwegen (W1)	4,223	3,701
Gewestwegen (W2)	6,174	4,038
Steden (W3)	9,036	3,793

Voor elke rit in de databank werd dan een genormaliseerde kost berekend, welke overeenkwam met de gereden afstand maal het tarief per kilometer:

- We hielden wel nog rekening met het onderscheid naar het type weg (W1, W2 of W3).
- De tijdsperiode werd benaderd door te stellen dat een rit ofwel volledig in de piekperiode, ofwel volledig in de dalperiode viel.

Per gebruiker werden vervolgens al diens ritten per fase gegroepeerd.

### 4.3.3.2 Voorbewerking van de ritgegevens voor het representatief verplaatsingsgedrag

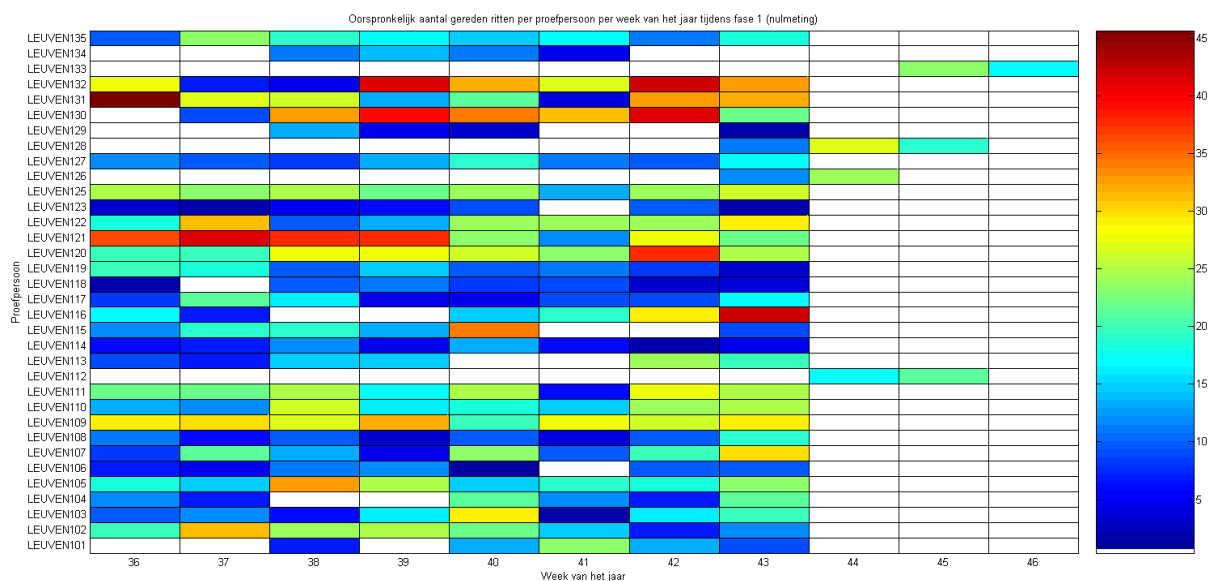
Nadat voor alle proefpersonen de genormaliseerde ritkosten voor alle ritten berekend werden, konden we van week tot week kijken naar wat diens normale persoonlijk verplaatsingsgedrag was, in functie van het aantal gemaakte ritten. Vermits het gedragsexperiment van korte duur was (het duurde slechts enkele maanden), werd alles wat hiervan afweek (zoals bijvoorbeeld inconsistenties, vakantieperiodes zoals de herfstvakantie tijdens fase 2 in week 46, persoonlijke verlofregelingen, verblijf in het buitenland, periodes waarin een defecte OBU moest vervangen worden, ...) opgespoord en aangepast. Op deze manier werd ook automatisch fraude door valsspelen of onopzettelijk falen tijdens het gedragsexperiment tegengegaan. **De bedoeling was om per proefpersoon een week-tot-week overzicht te krijgen van diens representatief verplaatsingsgedrag.** We gebruikten het wekelijks aantal gemaakte ritten als graadmeter hiervoor, omdat dit meer over het verplaatsingsgedrag zegt dan bijvoorbeeld de wekelijks totale afgelegde afstanden.

Concreet keken we per proefpersoon per fase naar de begin- en eindweek, en het mediane<sup>20</sup> aantal ritten per week. De bedoeling was om vervolgens de weken op te sporen waarin een proefpersoon een beduidend minder aantal ritten had gemaakt dan de andere weken. Om deze uitschieters op te sporen bestaat er een rudimentaire methode in de statistiek, namelijk de boxplot [Tuk77]. De regel was dan dat een waarde als uitschieter zou worden beschouwd indien deze kleiner (of groter) is dan 1,5 keer de interkwartielafstand. In deze proeftuin wijzigden we dit criterium nog verder als volgt:

- Uitschieters in positieve zin (namelijk beduidend meer verplaatsingen dan anders maken) werden niet als abnormaal aanzien.
- Indien een waarde strikt kleiner dan het eerste kwartiel was, dan werd deze als uitschieter gevlagd.

Deze wijzigingen maakten dat ons criterium nog iets strenger was dan de standaardmethode van een boxplot. Daarna vervingen we voor elke week die als een uitschieter gedetecteerd werd, het aantal gereden ritten door het mediane aantal gereden ritten van de overige, normale weken. Daarnaast vervingen we, analoog aan voorgaande werkwijze, ook de totaal afgelegde afstand en de totale kost per week door hun mediane versies.

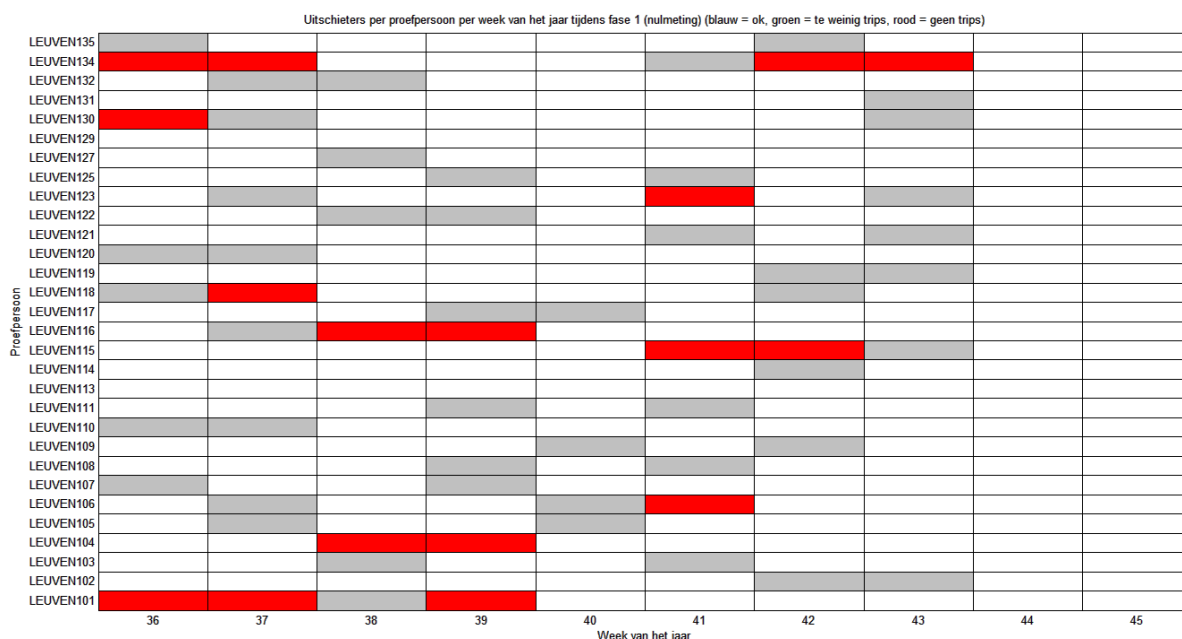
In Figuur 50 tonen we als voorbeeld in fase 1 voor elke proefpersoon van week tot week het totaal aantal gereden ritten; blauwe en groene balkjes duiden op weinig ritten (minder dan 25), gele en rode op veel ritten (meer dan 25); wit duidt op geen ritten. We zien hoe het aantal ritten per week nogal sterk varieerde tussen enerzijds de proefpersonen onderling, maar anderzijds soms ook van week tot week per proefpersoon. Daarnaast waren er ook regelmatig weken waarin bepaalde proefpersonen geen ritten reden. Merk ook op dat sommige proefpersonen hun OBU pas later kregen, waardoor hun fase 1 later startte en eindigde.



**Figuur 50:** Overzicht van het van week tot week aantal gereden ritten per proefpersoon in fase 1. Witte balkjes duiden op geen gereden ritten, blauwe en groene op weinig gereden ritten en gele en rode op veel gereden ritten.

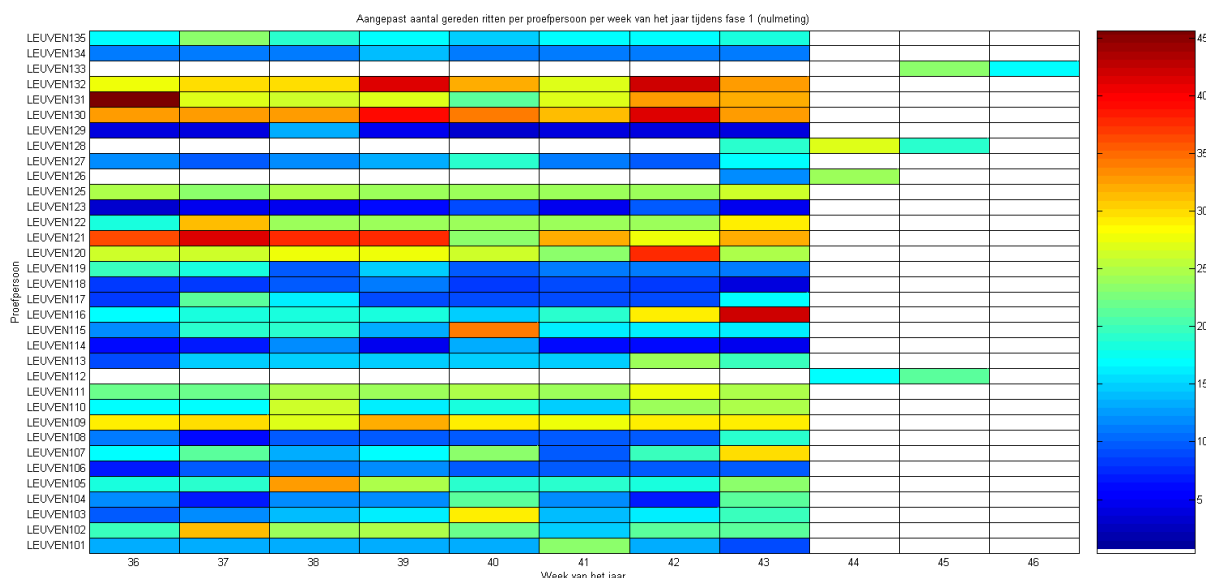
<sup>20</sup> We gebruikten de mediaan en niet het gemiddelde zodat uitschieters in het verplaatsingsgedrag geen invloed hadden op de berekening van het representatief gedrag van de proefpersonen.

Indien we ons algoritme voor de detectie van uitschieters toepasten op deze aantallen, dan kregen we het resultaat in Figuur 51. Hier zien we heel duidelijk gedurende welke weken welke proefpersonen een normaal verplaatsingsgedrag hadden (witte balkjes), te weinig ritten reden (grijze balkjes) of helemaal geen ritten reden (rode balkjes).



Figuur 51: Detectie van uitschieters in het van week tot week aantal gereden ritten per proefpersoon; witte balkjes duiden op normaal verplaatsingsgedrag, grijze op te weinig gereden ritten en rode op helemaal geen gereden ritten.

We vervingen nu alle gedetecteerde uitschieters door de mediaan van het totaal aantal ritten van de overige weken per proefpersoon, wat ons analoog aan Figuur 50, de resultaten in Figuur 52 gaf. Per proefpersoon zagen we nu minder een uitzonderlijk weinig aantal ritten per week. Merk op dat sommige proefpersonen hun OBU later kregen, waardoor gedurende de eerste weken van fase 1 geen ritten vervangen werden ('LEUVEN112', 'LEUVEN126', 'LEUVEN128', 'LEUVEN133').

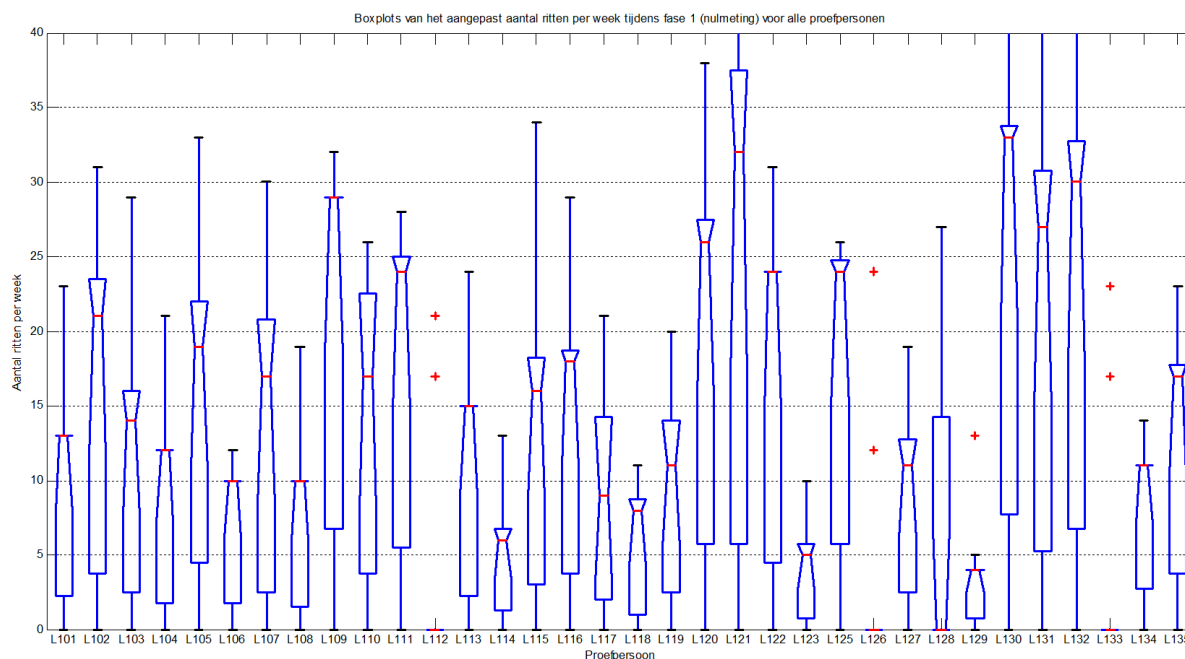


Figuur 52: Overzicht van het van week tot week aantal gereden ritten per proefpersoon in fase 1, na detectie en vervanging van uitschieters. Witte balkjes duiden op geen gereden ritten, blauwe en groene op weinig gereden ritten en gele en rode op veel gereden ritten.

Merk op dat deze werkwijze een grote gelijkenis vertoonde met meervoudige imputatie, waarbij we in dit geval eerst alle afwijkende waarden omgezet hebben naar ontbrekende waarden (*'missing completely at random'*, MCAR) om deze daarna te vervangen door Monte Carlo statistisch gegenereerde waarden [Rub87]. Vermits het in deze context om een sterk beperkte steekproefgrootte ging (slechts enkele beschikbare weken per proefpersoon), kozen we ervoor om de ontbrekende waarden door de mediaan van de populatie te vervangen, wat een robuuste schatter gaf voor het 'gemiddeld representatief verplaatsingsgedrag'.

Het effect van deze aanpassing konden we zien door de statistische boxplot methode toe te passen op deze nieuwe ritpatronen, wat het resultaat in Figuur 53 opleverde. Per proefpersoon wordt een verticale rechthoek weergegeven, waarvan de onderkant op het eerste kwartiel duidt, de bovenkant op het derde kwartiel en het streepje binnenin op de mediaan. De inkepingen in de rechthoeken geven de mate van spreiding in de gegevens weer (langere inkepingen duiden per proefpersoon op meer week-tot-week variatie). De stippellijnen boven en onder de rechthoek geven het bereik van de gegevens aan, de kruisjes duiden op positieve uitschieters (deze kwamen enkel voor bij de proefpersonen die pas later aan de wedstrijd deelnamen).

Pasten we dit bijvoorbeeld toe op proefpersoon 'LEUVEN102', dan zagen we dat het eerste kwartiel rond de 4 ritten per week lag, het derde rond de 24 ritten per week, de mediaan rond de 21 ritten per week; het maximum aantal ritten per week lag rond de 31.

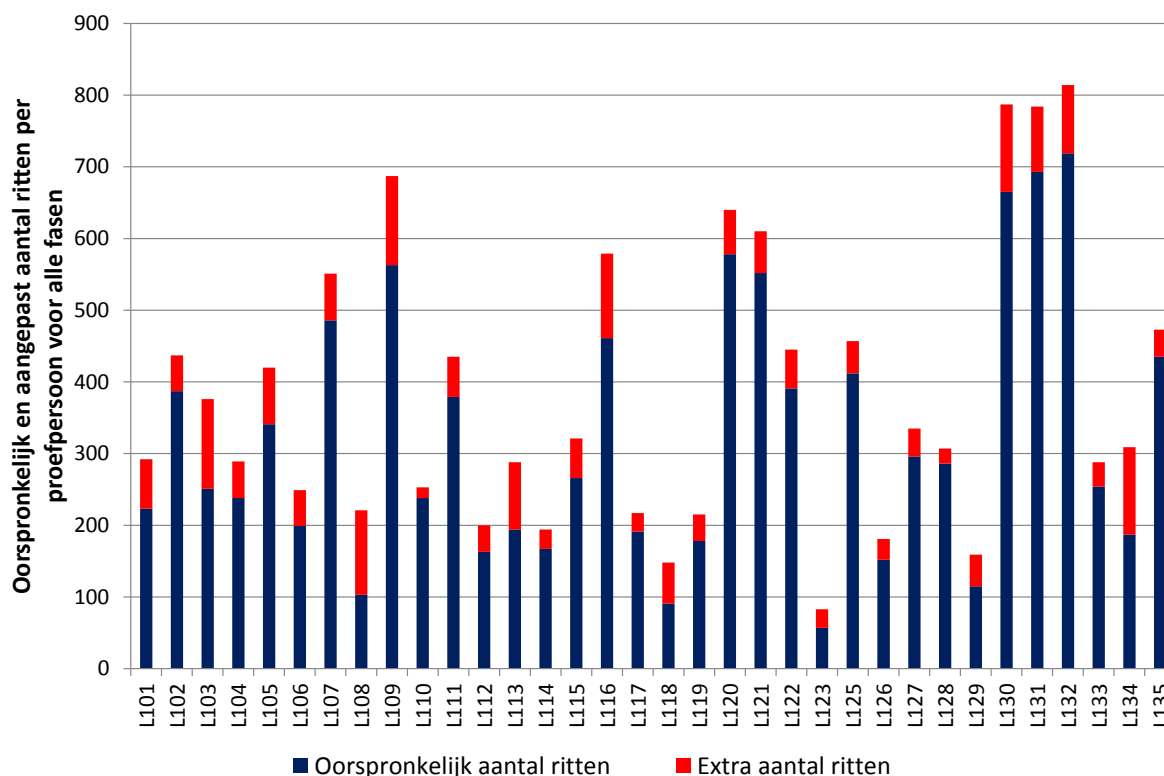


**Figuur 53: Statistische boxplots van alle wekelijks totaal gereden ritten per proefpersoon gedurende fase 1, na detectie en vervanging van uitschieters.**

Tot slot deden we nog een laatste voorbereiding, waarbij we het aantal ritten (en de daarbijhorende totaal afgelegde afstanden, kosten en reistijden) per fase met elkaar in lijn brachten, dit op basis van het aantal beschikbare dagen per fase. Vermits voor sommige proefpersonen de verschillende fasen niet even lang duurden (bijvoorbeeld omdat ze later begonnen), werden de algemene ritgegevens met elkaar vergeleken en aangepast zodat alle fasen onderling vergelijkbaar waren.

Bij de voorbereidingen vertrokken we van 10.871 ritten in totaal, welke tot 13.044 ritten opgeschaald werden. Dit kwam overeen met een toename van 20% (of 23% in de genormaliseerde kosten en afgelegde afstanden). In Figuur 54 geven we het oorspronkelijk totaal aantal ritten per proefpersoon (blauw gekleurde balkjes) en het extra aantal ritten na aanpassing en opschaling (rood gekleurde balkjes).





Figuur 54: Overzicht van het oorspronkelijk totaal aantal ritten per proefpersoon (blauw gekleurde balkjes) en het extra aantal ritten na aanpassing en opschaling (rood gekleurde balkjes).

#### 4.3.3.3 Voorbeeld van het referentiepatroon van een proefpersoon

Als voorbeeld schetsen we hoe het referentiepatroon van proefpersoon 'LEUVEN102' werd berekend. Nadat per rit de genormaliseerde ritkosten berekend werden, kon voor bijvoorbeeld fase 1 het normale rittenpatroon vastgesteld worden. Dit ging als volgt in zijn werk:

- De start van fase 1 viel in week 36.
- Het einde van fase 1 viel in week 43.
- ➔ Deze proefpersoon reed gedurende 8 weken in fase 1.
- De mediaan van het aantal ritten per week lag op 21 (de mediane afwijking op 7).
- Het eerste kwartiel bedroeg 14 ritten per week, met een interkwartielafstand van 11 ritten per week.
- ➔ Dit leidde tot een detectie van **25% uitschieters**, te weten:
  - Week 42 met slechts 7 ritten.
  - Week 43 met slechts 12 ritten.
 (er waren geen weken met expliciet niet gereden ritten)

Na vervanging van de gedetecteerde uitschieters zag het referentiepatroon van de proefpersoon er als volgt uit voor weken 36 tot en met 43: 20, 31, 24, 25, 22, 15, 21 en 21 ritten.

De mediaan van de totale absolute kost per week bedroeg dan 3,1472 euro/week, en de mediaan van de totale afstand per week lag op 269,2 km/week (dit kwam grosso modo overeen met een mediane relatieve genormaliseerde kost van 1,0891 cent/km).

## 4.4 Fase 2 (wedstrijd met beloning)

Op het einde van fase 1 was het referentiepatroon van elke proefpersoon gekend, waarna fase 2 kon beginnen. Deze duurde 2 maanden en liep van November tot en met December 2011. Zoals reeds vermeld in fase 1, hielden we per proefpersoon ook bij wanneer die zijn of haar OBU kreeg. In een handvol van de gevallen begon fase 1 later, waardoor fase 2 een deel korter werd; alle proefpersonen eindigden tezamen, waardoor de prijsuitreiking voor iedereen op hetzelfde moment viel.

Een centrale doelstelling van de proeftuin was een antwoord te krijgen op de vraag of en hoe het met een slimme kilometerheffing mogelijk was om het gedrag van bestuurders te wijzigen. Om dit na te kijken lanceerden we een wedstrijd waarbij zij die zich het 'beste' aanpasten een beloning ontvingen. In de volgende Secties leggen we eerst uit waarom we voor een beloningsmechanisme kozen, waarna we de praktische uitwerking van de wedstrijd toelichten.

### 4.4.1 Beprijzen, belonen of een budget?

Afhankelijk van welke impuls mensen krijgen, zullen hun reacties anders zijn. Hierna geven we een beknopt overzicht van de verschillende mogelijkheden om het gedrag van mensen in een proeftuin te sturen, gebaseerd op [Rie01, TBE12, Van03, vDC09].

Stel dat we rijden tijdens de spitsperiode willen afraden, dan hebben we bijvoorbeeld volgende mogelijkheden:

- Beprijzen:  
Je moet betalen als je in de spits rijdt.
- Belonen:  
Je krijgt geld als je voorheen in de spits reed maar nu buiten de spits rijdt. Voor wie in de spits blijft rijden verandert er niets.
- Budget:  
Dit is een combinatie van beprijzen en belonen: je ontvangt een fictief bedrag voor een bepaalde periode (dat je continu kan raadplegen, bijvoorbeeld via een website). Telkens je in de spits rijdt, gaat er wat van dit bedrag af. Er zijn nu 2 mogelijkheden:
  - Wat je op het einde van de periode overhoudt, krijg je uitgekeerd. Kom je tekort dan pas je het verschil bij. Je betaalt dus enkel extra indien je meer in de spits rijdt dan je voorheen deed.
  - Zelfde als het voorgaande, maar je kan niet onder nul gaan en hoeft ook niet bij te passen; dit wordt een beloningsbudget genoemd.

Uit literatuuronderzoek en focusgroeponderzoek blijkt dat de verwachte effectiviteit stijgt wanneer:

- het aanbod aan alternatieven gekend en redelijk is (alternatieve routes moeten bestaan en de extra verkeersdruk aan kunnen, zoniet dienen er andere vervoersmodi beschikbaar te zijn, en/of flexibele werkuren en/of telewerken),
- mensen het gevoel hebben dat ze hun gedrag gemakkelijk kunnen aanpassen,
- de mate van prijsverandering voldoende hoog is
- en er een korte tijdsduur is tussen het gedrag en de zichtbare gevolgen in prijsverandering (bij een budget wordt een tijdsduur van 1 maand als te groot aanzien; dit kan eventueel verkort worden door regelmatige updates via e-mail en dergelijke te geven).

Naar aanvaardbaarheid toe zijn **rechtvaardigheid**, **eerlijkheid** en de **verwachte effectiviteit** het meest van belang. Hierbij zijn beprijzen en belonen wel effectief (men behoudt immers zijn keuzevrijheid), maar wordt beprijzen in se als onaanvaardbaar beoordeeld. Mensen vinden immers dat ze niet hoeven te betalen voor een publiek goed waar ze al belasting voor betalen, daarenboven heeft soms niet iedereen een geschikt alternatief.

Om de aanvaardbaarheid te stimuleren, dienen volgende zaken in acht genomen te worden:

- bij beprijzing dienen de huidige belastingen aangepast te worden (herziening van de fiscaliteit),
- bij beloning en een budget dient de financiering uit de belastingsinkomsten van het wagengebruik te komen; dit moet ook zo gecommuniceerd worden opdat mensen die geen wagen hebben weten dat ze niet meebetalen aan de beloningen,
- mensen moeten voorafgaand geïnformeerd worden over de effectiviteit van een maatregel.

Op **korte termijn** is het aanbevolen om met een **beloningsbudget** te werken; op **lange termijn** is dit echter een te kostelijke maatregel (en wie het gewenste gedrag al vertoont, valt uit de boot), waardoor het **beprijzingsconcept** dan meer geschikt is. Een budget wordt als te complex aanzien, al kan het wel op positieve wijze een element van competitie introduceren. Zoiets vereist dat elke proefpersoon het eigen verplaatsingsgedrag en de daarmee gepaard gaande kosten in kaart kan brengen, wat geen evidentie is; meestal beperkt dit zich tot een inschatting van de maandelijkse brandstof- en parkeerkosten.

➔ In deze proeftuin kozen we er voor om de beste rijders te belonen. Afhankelijk van het type voertuig waar een proefpersoon mee reed, werd zijn tariefschema bepaald. Een persoonlijk tariefschema, dat rekening houdt met de individuele gedragingen van elke proefpersoon, is in principe mogelijk maar ook te ingewikkeld om dit overzichtelijk te maken en in de back-end server te implementeren. Het was, naar het bereiken van de juiste gedragsveranderingen toe, ook nodig dat zij feedback kregen via hun persoonlijke pagina op de back-end server.

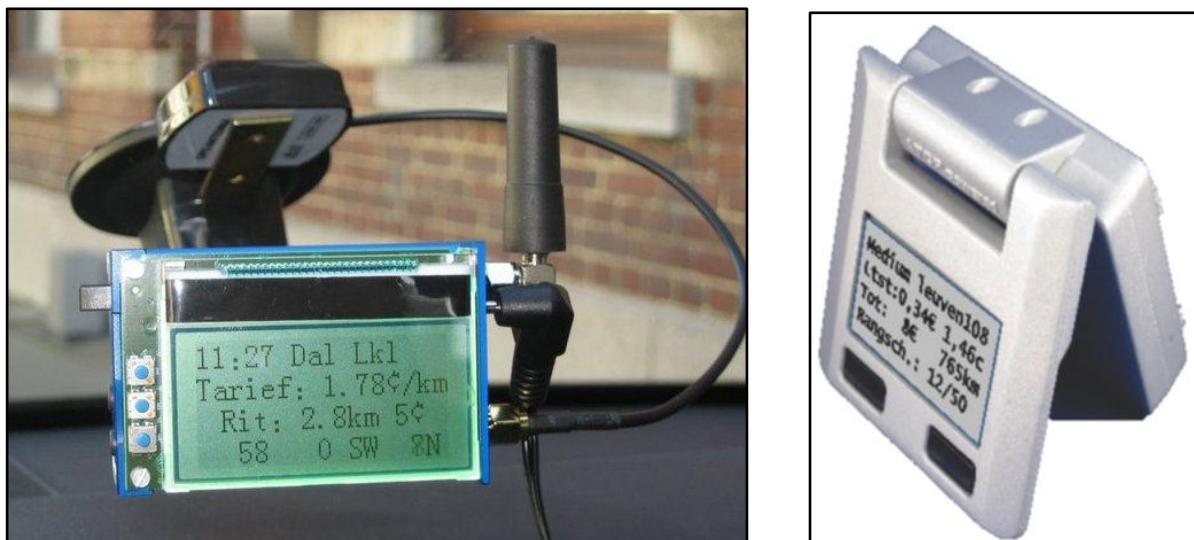
#### 4.4.2 Praktische uitwerking van de wedstrijd

Van zodra fase 2 startte, werden alle schermen van de OBUs volledig geactiveerd (zie ook Figuur 55). Elke proefpersoon kon dan in real-time zien hoeveel het kostte om op een bepaald type weg op een gegeven tijdstip te rijden; volgende informatie konden de proefpersonen van hun OBU schermen aflezen:

- Het tijdstip waarop de laatste gegevens van de back-end door de OBU ontvangen werden.
- Aanduiding van de dal- of piekperiode.
- Aanduiding van het type weg (autosnelweg W1, secundair W2 of lokaal W3).
- Het huidige tarief, horende bij het tijdstip en type weg.
- De totale kost van de rit tot dan toe.
- De gemiddelde snelheid van het voertuig, geschat op basis van de GPS informatie.
- Een kompasindicatie van de rijrichting.
- De status van het GSM/GPRS netwerk en de ontvangstkwaliteit van het GPS signaal.

Daarnaast werden ook alle persoonlijke pagina's op de back-end per proefpersoon beschikbaar gesteld zodat zij ook het overzicht kregen van het hele grondgebied waarop de slimme kilometerheffing van toepassing was.

In deze proeftuin waren er 2 soorten OBUs beschikbaar: 'blauwe' OBUs waar de GPS en GSM antenne extern is, en 'grijze' OBUs waar beide antennes in de behuizing verwerkt werden. Er waren 13 proefpersonen (38%) met een blauwe en 21 (62%) met een grijze OBU.



Figuur 55: Volledig geactiveerd OBU scherm met daarop onder andere de aanduiding van het huidige tarief. De 'blauwe' OBUs met zichtbare GPS en GSM antennes (*links*). De 'grijze' OBUs waar de antennes in de behuizing verwerkt zitten (*rechts*).

Om de proefpersonen te stimuleren zodat ze hun best deden, organiseerden we een wedstrijd waarbij we. Hierbij waren 2 aspecten van belang:

- De proefpersonen werden gerangschikt volgens 'beste aangepast gedrag'.
- De eerste 2 kregen een beloning.

Overeenkomstig met wat we vermeldden in het begin van Sectie 4.3.3, werd het beste aangepast gedrag gebaseerd op de proefpersonen die enerzijds **een lage totale absolute kost** en anderzijds **een lage gemiddelde kost per kilometer** hadden. Meer concreet hanteerden we volgende criteria:

**(C1) de procentuele verandering van de totale absolute kost van fase 1 (nulmeting) naar fase 2 (wedstrijd)**

**(C2) de relatieve kost per kilometer van fase 2 (wedstrijd).**

Zoals reeds uitgelegd in Sectie 4.3.3.1 werden alle kosten voor elke proefpersoon onafhankelijk van het type voertuig beschouwd, wat toeliet dat we hen op een eerlijke manier onderling met elkaar konden vergelijken. Zij werden ook aangepast volgens de berekeningen zoals uiteengezet in Sectie 4.3.3.2.

De beloning bestond uit **cadeaubons**, namelijk een weekend thuis in eigen stad als eerste prijs, en een restaurantbon als tweede prijs. Na rondvraag bleek achteraf dat de proefpersonen met de wedstrijd meededen omwille van het 'experiment', en niet zozeer omdat er een beloning viel te verdienen.

→ Vermits C1 en C2 een andere rangschikking opleverden en je niet voor iedereen goed kan doen, werden beide gecombineerd om tot een finale rangschikking te komen en toch een vorm van uniek criterium te hanteren. In overleg met de andere leden van het consortium werd, na een aantal gevoeligheidsanalyses, besloten om als finale rangschikking het gemiddelde van de C1 en C2 rangschikkingen te nemen. Dit betekende dat iemand die bijvoorbeeld goed scoorde voor C1, maar slechter voor C2, een meer gemiddelde eindscore zou behalen. Enkel zij die het zowel voor C1 als C2 goed deden, kwamen daarbij dan in aanmerking om de wedstrijd te winnen, wat een eerlijkere maatstaf vormde. Voor C1 kon men beter scoren door bijvoorbeeld minder met de wagen te rijden, wat leidde tot flexibel(er) werken, andere vormen van collectief vervoer, ... Een betere C2 score kon men krijgen door op goedkopere trajecten te rijden, met name op andere tijdstippen (meer in de dalperiode) of minder op lokale wegen.

### 4.4.3 Advies tot verbetering van het persoonlijk verplaatsingsgedrag

Aanvankelijk was gepland om de proefpersonen op wekelijkse basis advies te geven, maar dit bleek voor deze proeftuin in de praktijk niet haalbaar. Daarom werd besloten om slechts eenmalig advies te geven, namelijk halverwege de wedstrijdphase. Gegeven de grootte van de groep, streefden we ernaar dit advies automatisch te 'berekenen' op basis van de tot dan toe gereden ritten. Het idee was om richtlijnen te geven zodat de proefpersonen goedkoper rondrijden.

Aangezien we niet over de gedetailleerde ritgegevens beschikten, bestond de meest haalbare piste uit advies aan de proefpersonen geven met de nadruk op de verschillende types wegen waarop en tijdsperiodes waarin ze hun ritten maakten. Per proefpersoon keken we hoeveel van percent van de genormaliseerde ritkosten op elk van de 6 combinaties van wegtypes en tijdsperiodes werden opgelopen; dit gebeurde op basis van de effectief gereden ritten, en niet de aangepaste versies zoals uitgewerkt in Sectie 4.3.3.2. Hiermee werd voor elke proefpersoon apart automatisch een overzicht en advies gegenereerd dat naar hen gestuurd werd. Het advies beperkte zich tot volgende mogelijkheden:

- Probeer op autosnelwegen meer in de dalperiode te rijden.
- Probeer op secundaire wegen meer in de dalperiode te rijden.
- Probeer op lokale wegen meer in de dalperiode te rijden.
- Probeer minder op lokale wegen en meer op secundaire of autosnelwegen te rijden.
- Probeer minder op secundaire wegen en meer op autosnelwegen te rijden.

Een voorbeeld van dergelijke analyse voor proefpersoon 'LEUVEN102' was het volgende:

Fase 1 (nulmeting)	Piekperiode	Dalperiode
W3 (lokale wegen)	13%	45%
W2 (secundaire wegen)	14%	12%
W1 (autosnelwegen)	7%	10%

Fase 2 (wedstrijd)	Piekperiode	Dalperiode
W3 (lokale wegen)	14%	51%
W2 (secundaire wegen)	8%	11%
W1 (autosnelwegen)	6%	10%

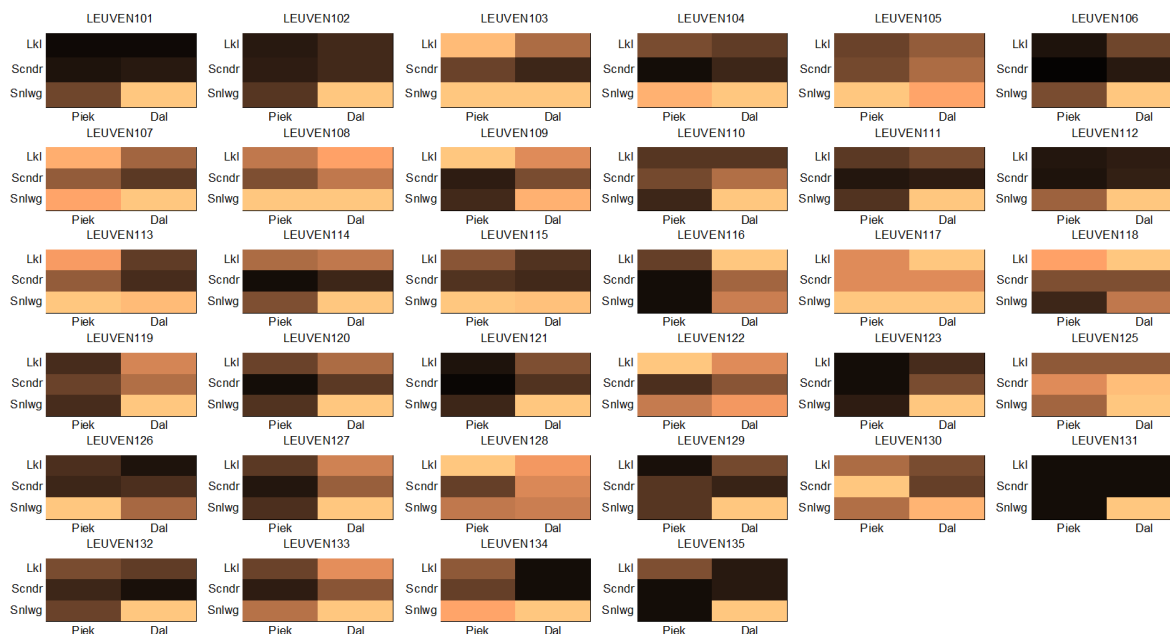
Uit de verdeling van de gemaakte ritkosten tijdens fase 1 (nulmeting) en fase 2 (wedstrijd) werd het verschil bepaald en weergegeven:

Vershil (fase 2 - fase 1)	Piekperiode	Dalperiode
W3 (lokale wegen)	1%	5%
W2 (secundaire wegen)	-6%	-1%
W1 (autosnelwegen)	0%	1%

Het was op basis van deze verhoudingen dat het automatisch advies gegenereerd werd<sup>21</sup> en de proefpersonen hun persoonlijke absolute ritkosten en gemiddelde kosten per kilometer konden verbeteren. Voor de wedstrijd was het belangrijk dat de proefpersonen op zijn minst dergelijke informatie kregen, samen met de instantane melding van de ritkosten op het scherm van de OBU, zodat ze regelmatig inzicht kregen in de bijhorende kosten die ze zo veroorzaakten. Door deze real-time confrontatie werden de proefpersonen zich sneller bewust van hun verplaatsingsgedrag waardoor ze zich ook sneller konden aanpassen. Dit zou niet zo veel effect hebben mochten ze bijvoorbeeld slechts zeer sporadisch deze informatie krijgen, of bij een eenmalige afrekening op het einde van het jaar [Rie01].

<sup>21</sup> Merk op dat al het advies naar T!NC doorgestuurd werd, welke de enige partij was die contact met de proefpersonen had en hun identiteit kende (zie ook Sectie 2.4 voor de uiteenzetting over privacy en security in de proeftuin).

In Figuur 56 geven we voor alle proefpersonen een kwalitatief overzicht van alle absoluut gemaakte ritkosten gedurende fase 2 (wedstrijd). Donkere kleuren duiden op lagere ritkosten, heldere kleuren op hogere ritkosten. Dezelfde informatie was voor de analyses ook beschikbaar voor fase 1 (nulmeting) en fase 3 (nagedrag). Op deze manier was het mogelijk om snel een overzicht te krijgen van ieders verplaatsingsgedrag en de verschillen tussen de verschillende proefpersonen in te schatten.



**Figuur 56: Volledig overzicht van alle absoluut gemaakte ritkosten voor alle proefpersonen gedurende fase 2 (wedstrijd). Donkere kleuren duiden op lagere ritkosten, heldere kleuren op hogere ritkosten.**

Merk op dat het voor de proefpersonen ook toegestaan was om minder met hun wagen te rijden, door bijvoorbeeld verplaatsingen niet meer te maken, thuis te werken, het openbaar te gebruiken, of te carpoolen en dies meer. Dit advies werd echter niet expliciet aan hen meegegeven, al bleek uit een bevraging achteraf wel dat sommige proefpersonen deze mogelijkheden benut hadden.

Afhankelijk van de beschikbare ritgegevens konden de suggesties voor individuele verbeteringen in de kost per kilometer ook door middel van een Pareto-analyse gebeuren. Deze techniek werd in het proefproject van het ‘Samenwerkingsverband Regio Eindhoven’ (SRE) gebruikt [NI10]. Om dit te doen, dienden eerst per proefpersoon de nodige mogelijkheden en alternatieven volledig in kaart gebracht te worden, samen met hun (verwachte) effectiviteit. Volgens het Pareto-principe konden dan de meest relevante als advies aan de proefpersoon gesuggereerd worden (“20% van all oorzaken leiden tot 80% van de effecten”). In de proeftuin Leuven kon deze methode echter niet toegepast worden aangezien de keuze uit het aantal alternatieven vrij beperkt was.

## 4.5 Fase 3 (nagedrag)

Nadat de wedstrijd in fase 2 afgelopen was, selecteerden we de winnaars en deelden dit mee aan de hele groep. Vervolgens schakelden we de kilometerheffing uit, maar vroegen we aan alle proefpersonen om toch nog hun OBU te blijven gebruiken ook al viel er geen beloning meer te verdienen. Op deze manier konden we kijken in welke mate hun eventueel veranderd gedrag van blijvende aard was. Deze fase 3 mat het ‘nagedrag’ van de proefpersonen; zij duurde 1 maand en liep gedurende januari 2012.

### 4.5.1 Analyse van de genormaliseerde ritkosten

Analoog aan fase 2, werd ook in deze fase per proefpersoon een overzicht gemaakt van hoeveel percent van de genormaliseerde ritkosten op elk van de 6 combinaties van wegtypes en tijdsperiodes werden opgelopen (zie Sectie 4.4.3). Een voorbeeld van dergelijke analyse voor proefpersoon 'LEUVEN102' was het volgende:

Fase 3 (nagedrag)	Piekperiode	Dalperiode
W3 (lokale wegen)	19%	49%
W2 (secundaire wegen)	4%	12%
W1 (autosnelwegen)	6%	9%

Uit de verdeling van de gemaakte ritkosten tijdens fase 2 (wedstrijd) en fase 3 (nagedrag) werd het verschil bepaald en weergegeven:

Vershil (fase 3 - fase 2)	Piekperiode	Dalperiode
W3 (lokale wegen)	5%	-2%
W2 (secundaire wegen)	-4%	1%
W1 (autosnelwegen)	-1%	-1%

Op het einde van deze fase werd een prijsuitreiking georganiseerd, waarbij ook de resultaten van de proeftuin aan alle proefpersonen werden getoond en uitgelegd.

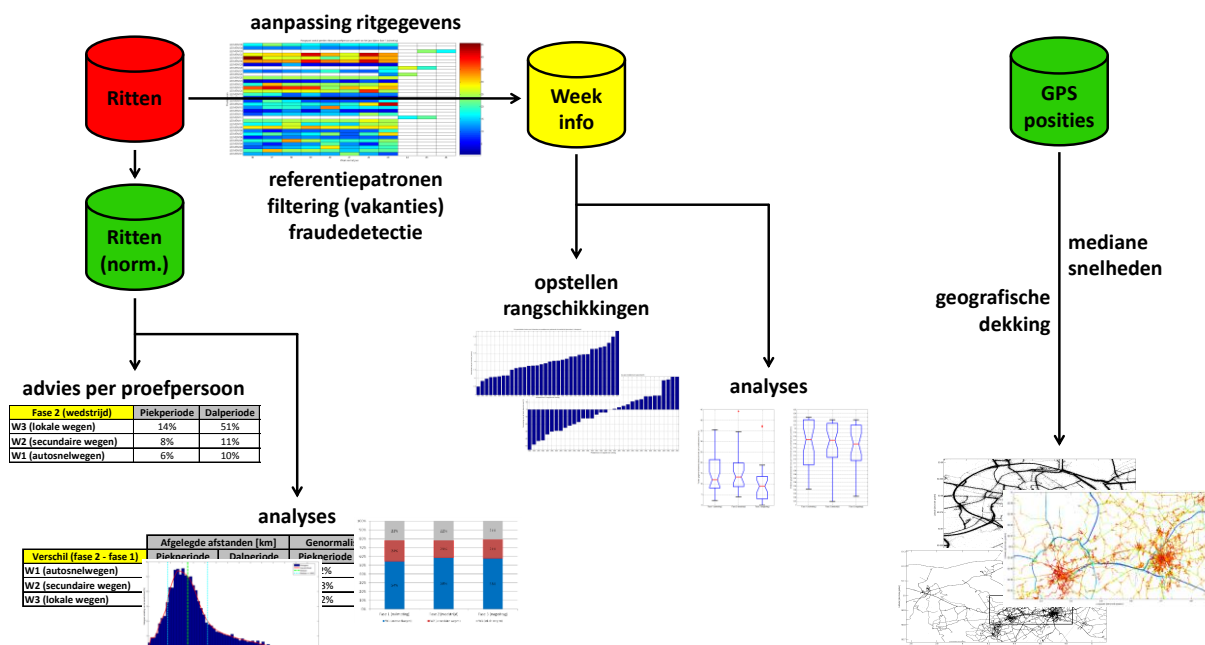
### 4.5.2 Nabespreking met de proefpersonen

Op het einde van het gedragsexperiment werd aan elke proefpersoon nog een vragenlijst voorgelegd, en kregen ze de mogelijkheid om zelf feedback te geven. De vragen die we hen stelden waren:

- 1) *Paste je je gedrag aan tijdens de wedstrijd? Indien neen, waarom dan niet?*
- 2) *Hield je rekening met de wedstrijdbeloning of dacht je dat het niet zou uitmaken voor je?*
- 3) *Was de wedstrijdbeloning een voldoende prikkel om je gedrag te veranderen, of deed je het louter voor het experiment (of welke andere reden)?*
- 4) *Vond je dat je voldoende vrijheid had om je mobiliteitsgedrag aan te passen? Hoe deed je dit (andere routes of wegen nemen, minder in de stad rijden, op andere tijdstippen rijden, een andere vorm van transport kiezen, ...), of waarom ging dit niet?*
- 5) *Bleef je bij je veranderd gedrag nadat de wedstrijd afgelopen was?*
- 6) *Heb je nog opmerkingen, suggesties, ...?*

## 5. Resultaten

In deze Sectie geven we een overzicht van de bekomen resultaten in de proeftuin Leuven. Figuur 57 schetst hierbij een illustratief overzicht van de samenhang tussen de verschillende databanken (met ritgegevens, genormaliseerde ritgegevens, aangepaste weekgegevens en GPS posities), de bewerkingen erop en de resultaten daarvan.



Figuur 57: Illustratief overzicht van de samenhang tussen de verschillende databanken (met ritgegevens, genormaliseerde ritgegevens, aangepaste weekgegevens en GPS posities), de bewerkingen erop en de resultaten daarvan.

De ritgegevens werden eerst omgezet waarbij genormaliseerde kosten berekend werden (zie ook Sectie 4.3.3.1). Deze informatie werd vervolgens gebruikt voor:

- Advies tot verbetering van het persoonlijk rijgedrag te geven (zie ook Sectie 4.4.3).
- Berekeningen van globale statistieken over alle ritten heen (zie ook Sectie 5.2), waaronder:
  - Algemene statistieken van de totale afstanden, genormaliseerde kosten en duurtijden van elke rit (zie ook Sectie 5.2.1).
  - Analyses van de gemiddelde snelheden per rit (zie ook Sectie 5.2.2).
  - De globale gedragsveranderingen voor de hele groep met de evolutie van het gebruik van de verschillende wegtypes en tijdsperiodes (zie ook Sectie 5.2.4).
  - Een analyse van het GSM dataverkeer (zie ook Sectie 0).
- Een analyse van de herkomsten en bestemmingen (zie ook Sectie 0).

Daarnaast werden de ritgegevens ook aangepast waarbij het referentiepatroon per proefpersoon werd vastgesteld, inclusief filtering vakanties, fraudedetectie, ... (zie ook Sectie 4.3.3). Dit leverde wekelijkse ritpatronen op die gebruikt werden voor:

- Analyses van de evolutie van de ritkosten over de verschillende fasen heen (zie ook Sectie 5.4).
- Opstellen van de eindrangschikkingen in de wedstrijd (zie ook Sectie 5.5).

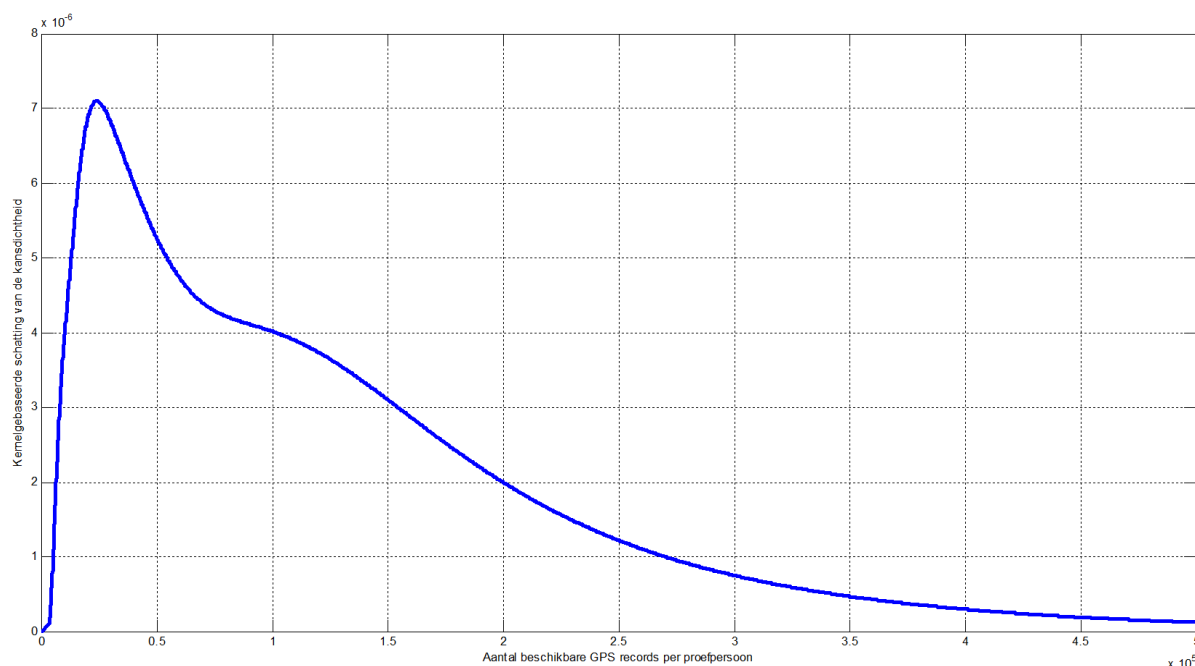


De databank met ruwe GPS posities werd gebruikt om enerzijds de geografische dekking van alle geregistreerde ritten in kaart te brengen (zie ook Sectie 5.1) en om anderzijds een overzicht van alle berekende mediane snelheden te geven (zie ook Sectie 5.2.2 en Appendix C).

Tot slot bespreken we de resultaten van de kwalitatieve bevraging van de proefpersonen (zie ook Sectie 0).

## 5.1 Waar werden de ritten geregistreerd?

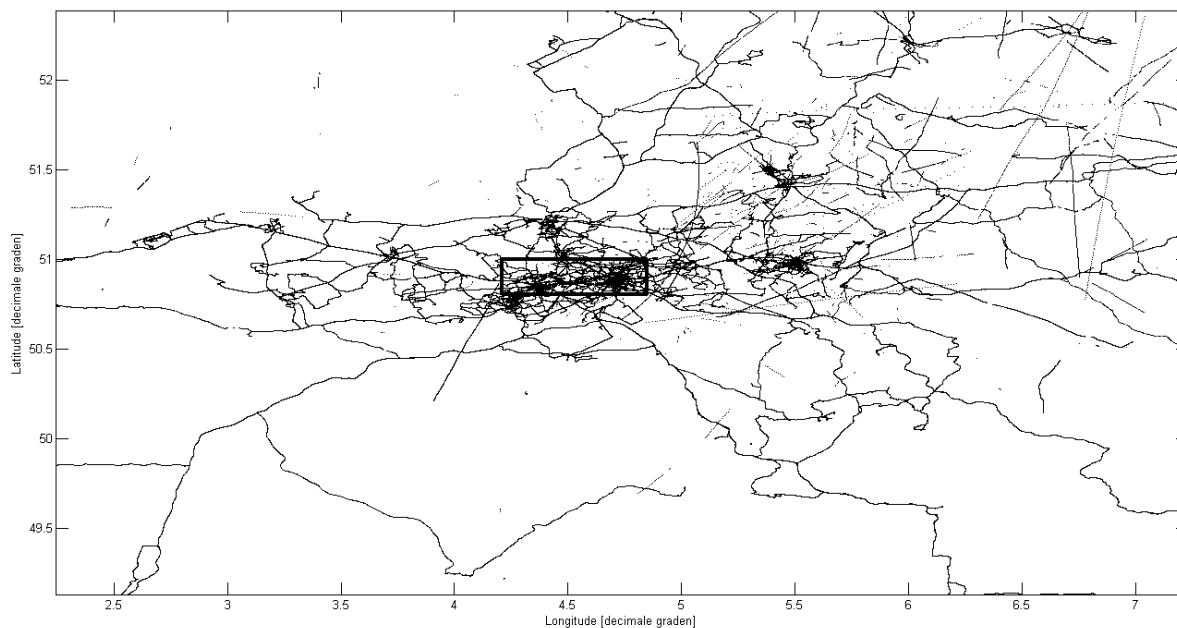
In deze proeftuin werden de GPS posities van alle proefpersonen gedurende hun ritten continu gemeten en bijgehouden (zie ook Sectie 2.3.2). Elke positie werd op deze manier om de 1 tot 5 seconden geregistreerd. In totaal waren er 4.307.778 GPS posities beschikbaar; de verdeling van het aantal GPS records per proefpersoon wordt in Figuur 58 getoond:



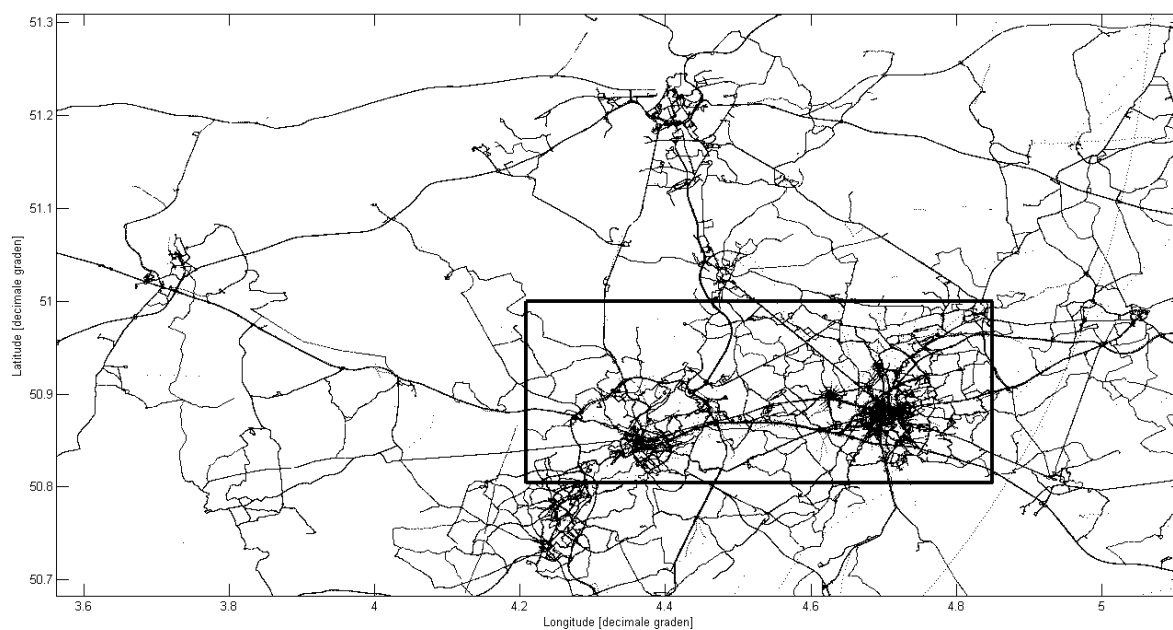
**Figuur 58:** Verdeling van het aantal GPS records per proefpersoon.

In Figuur 59 is de volledige geografische dekking van het bereiden gebied te zien. Het gebied waarbinnen de kilometerheffing van toepassing was, werd aangeduid met een zwarte rechthoek (zie ook Sectie 3.4.1.2 voor deze afbakening). Merk op dat sommige proefpersonen zich ver buiten dit gebied bevonden, met uitlopers naar Nederland, Duitsland, Frankrijk en Oostenrijk. In Figuur 60 tonen we een ingezoomd beeld op het Gewest Vlaanderen.

- We verwijzen hierbij naar Appendix C voor een overzicht van de gemiddelde snelheden doorheen de dag op de verschillende plaatsen.

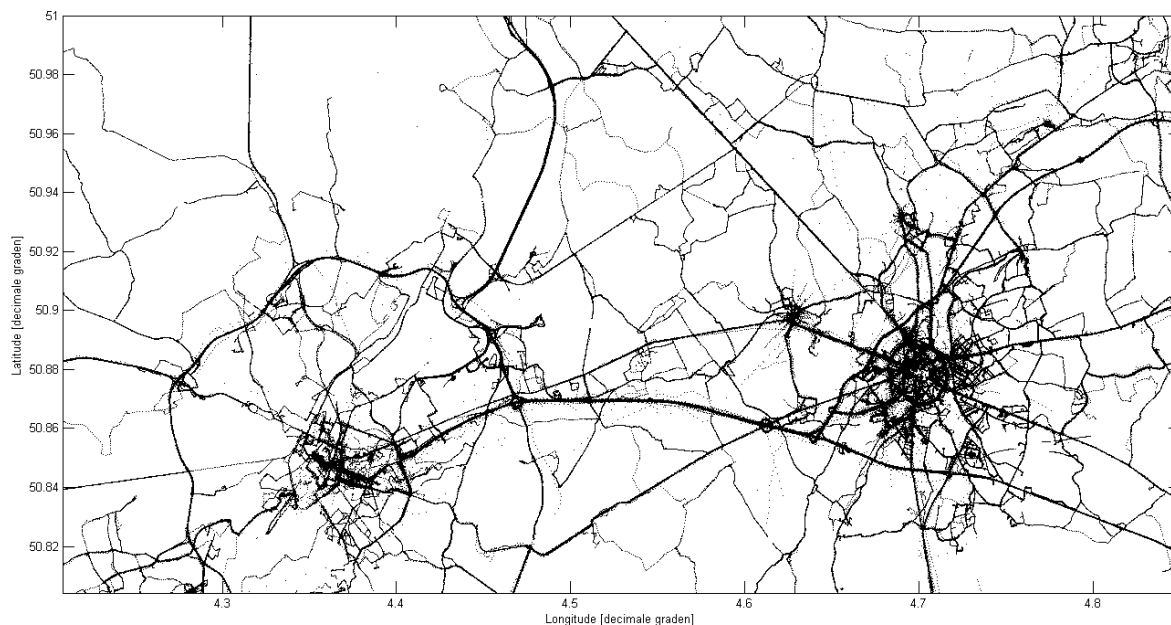


**Figuur 59:** De volledige geografische dekking door alle geregistreerde GPS posities van alle proefpersonen. Het gebied waar de kilometerheffing van kracht was, werd aangeduid met de zwarte rechthoek.



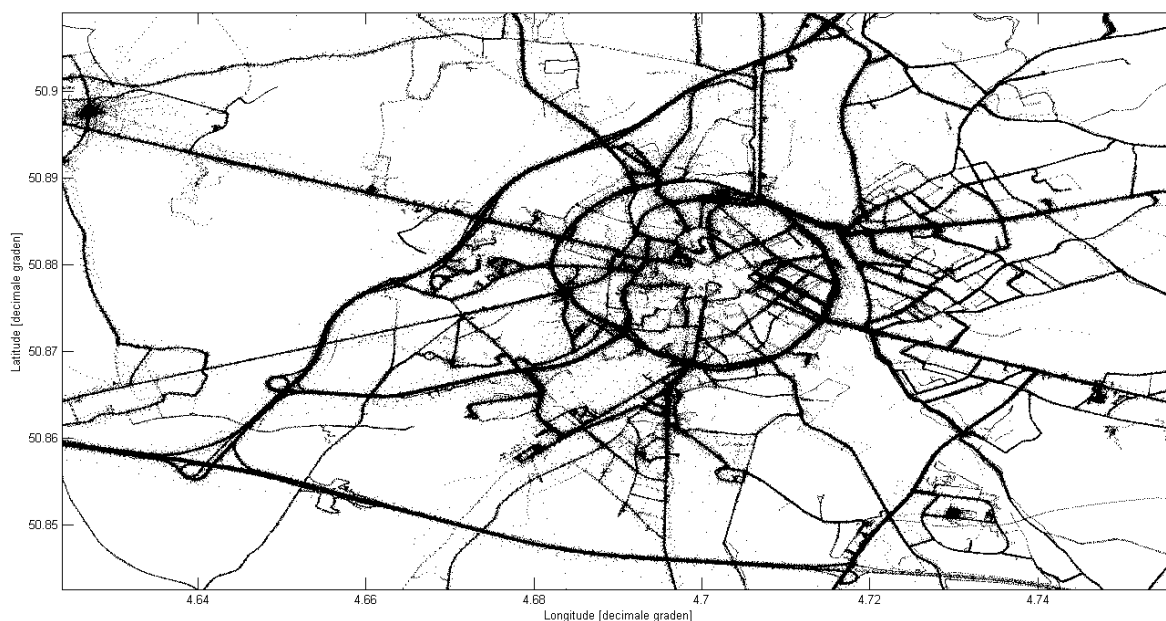
**Figuur 60:** Een ingezoomd beeld op het Gewest Vlaanderen van de geografische dekking door alle geregistreerde GPS posities van alle proefpersonen. Het gebied waar de kilometerheffing van kracht was, werd aangeduid met de zwarte rechthoek.

Indien we nog verder inzoomden op het gebied van de kilometerheffing zelf, dan kregen we het resultaat in Figuur 61, waarbij duidelijk een grote concentratie van verkeersstromen in het Leuvense te zien was, conform de verplaatsingspatronen uit Sectie 4.1.3. Daarnaast is er een kern van verplaatsingen in de buurt van de Brusselse vijfhoek te zien, net als de duidelijke aanwezigheid van het verkeer op de R0 ring rond Brussel. Ook was te zien hoe alle secundaire wegen bereden werden, net zoals een aantal lokale wegen tussen Leuven en Brussel.

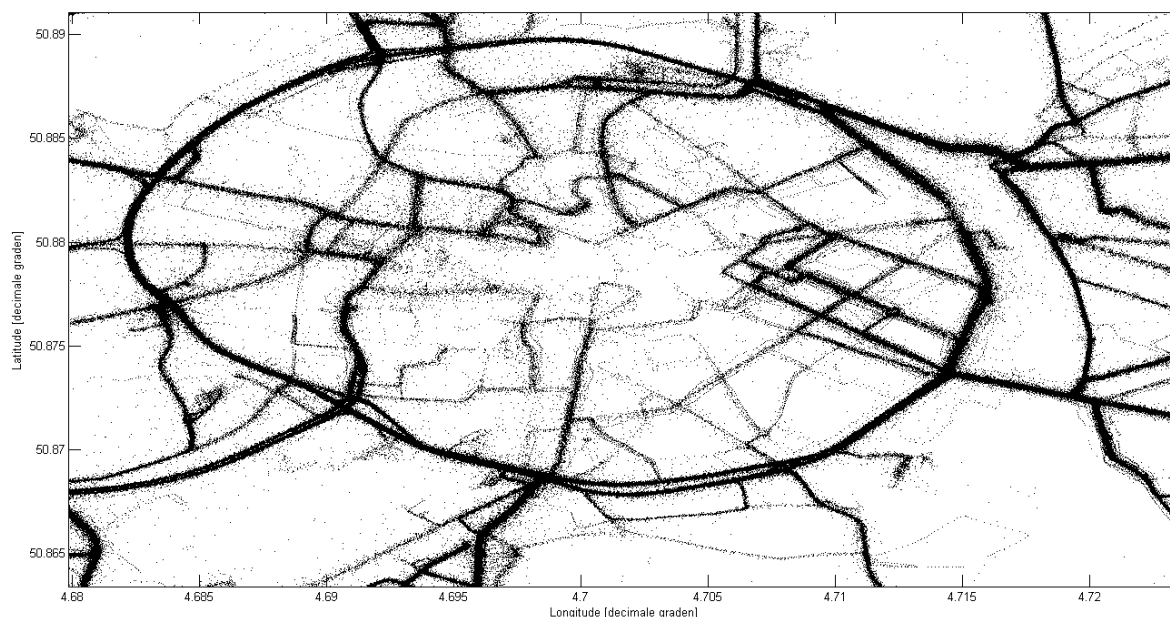


**Figuur 61: Overzicht van alle geregistreerde GPS posities binnen het gebied van de kilometerheffing. Er waren grote concentraties te zien in het Leuvense enerzijds, en in de buurt van de Brusselse vijfhoek anderzijds. Daarnaast was ook te zien hoe alle autosnelwegen, secundaire en lokale wegen bereiden werden.**

Kijkende naar de geregistreerde GPS posities in het Leuvense, kregen we het beeld in Figuur 62. De proefpersonen reden duidelijk op alle types wegen, met hier hier en daar ritten langs bepaalde lokale woonwijken. We zagen ook hoe Leuven zelf goed ingesloten ligt tussen de E40 en E314 autosnelwegen. Een gedetailleerder beeld verkregen we met alle ritten die zich binnen de ring rond Leuven verplaatsten, zoals te zien in Figuur 63. Merk op hoe bepaalde straten regelmatigiger gebruikt werden dan andere, en dat er toch een groot aantal kleine stadsstraten bereiden werd, zij het sporadisch.



**Figuur 62: Alle geregistreerde GPS posities in het Leuvense, waarbij de ring rond Leuven ingesloten ligt tussen de E40 en E314 autosnelwegen.**



Figuur 63: Een gedetailleerder beeld van alle geregistreerde GPS posities binnen de ring rond Leuven, waarbij bepaalde straten regelmatiger gebruikt werden dan de meer sporadisch gebruikte stadsstraten.

## 5.2 Globale statistieken

### 5.2.1 Overzicht van het verplaatsingsgedrag

In totaal werden er **10.871 ritten** succesvol geregistreerd tijdens het experiment, welke een tijdsperiode van **149 dagen** overspanden (van 5 september 2011 tot en met 31 januari 2012); hierbij werd zo'n 154.667 kilometer afgelegd over de volledige geografische dekking<sup>22</sup>. Opgedeeld per fase gaf dit:

Fase	#dagen	#ritten	#ritten/dag	#km
1	56	3,919	70	61,058
2	62	5,265	85	71,448
3	31	1,687	54	22,161
<b>Totaal</b>	<b>149</b>	<b>10,871</b>		<b>154,667</b>

➔ Merk op dat in het afgebakende gebied waar de kilometerheffing actief was de proefpersonen in totaal zo'n 94.552 kilometer aflegden, wat neerkomt op zo'n 61% van de totale verplaatsingen.

De volgende Tabellen geven voor de hele databank met gereden ritten de algemene statistieken weer van de totale afstanden (zowel enkel in het afgebakende gebied uit Sectie 3.4.1.2 gereden, als over de volledige geografische dekking uit Sectie 5.1 waarbij ook wegtypes W4 en W5 werden meegeteld), de genormaliseerde ritkosten en de totale duur:

Ritafstand (in rechthoek)	
Minimum	0,03 km
Maximum	63 km
Gemiddelde	11 km
Mediaan	6 km
Std. afw.	12 km

Ritafstand (volledig gebied)	
Minimum	0,15 km
Maximum	198 km
Gemiddelde	14 km
Mediaan	6 km
Std. afw.	21 km

<sup>22</sup> Merk op dat deze cijfers berekend werden op basis van de werkelijk gereden ritten, en niet de aangepaste aantallen zoals uiteengezet in Sectie 4.3.3.2 en gebruikt bij de berekening van het referentiepatroon per individuele proefpersoon.

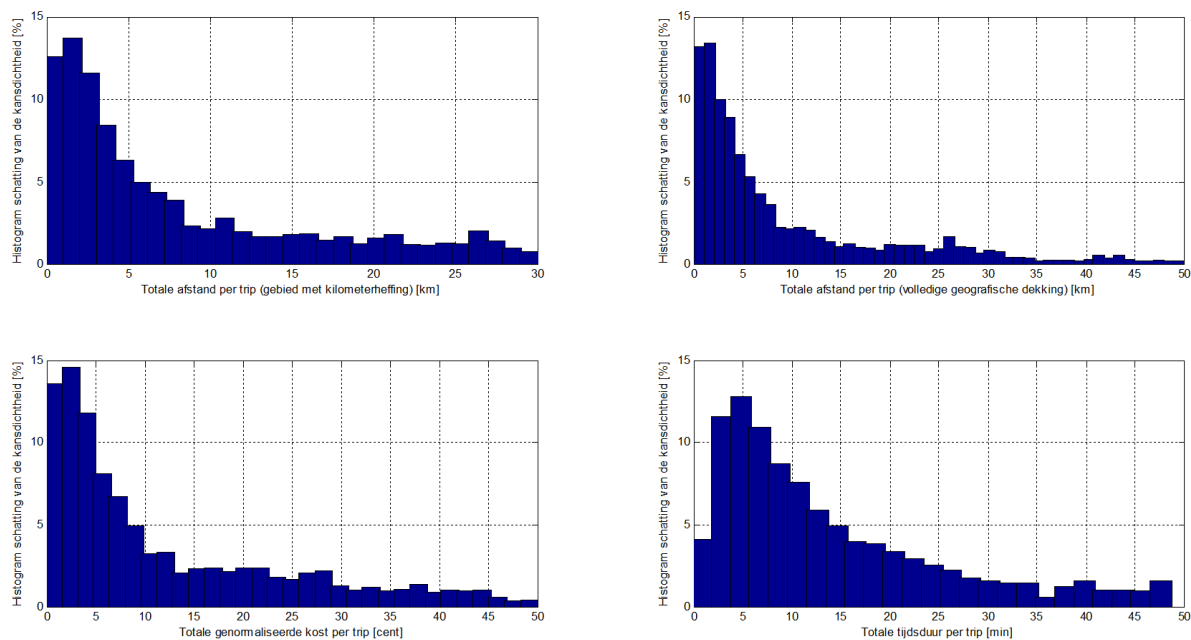
Gegeneraliseerde ritkost	
Minimum	0,03 cent
Maximum	78 cent
Gemiddelde	13 cent
Mediaan	7 cent
Std. afw.	13 cent

Ritduur	
Minimum	0 min
Maximum	7 u
Gemiddelde	17 min
Mediaan	11 min
Std. afw.	19 min

→ Een rit tijdens het hele project had dus een gemiddelde lengte van zo'n 11 km, duurde daarbij zo'n 17 minuten en kostte ongeveer 13 cent (genormaliseerd tarief). Dit kwam overeen met een gemiddelde genormaliseerde kost van zo'n 1,33 cent/km.

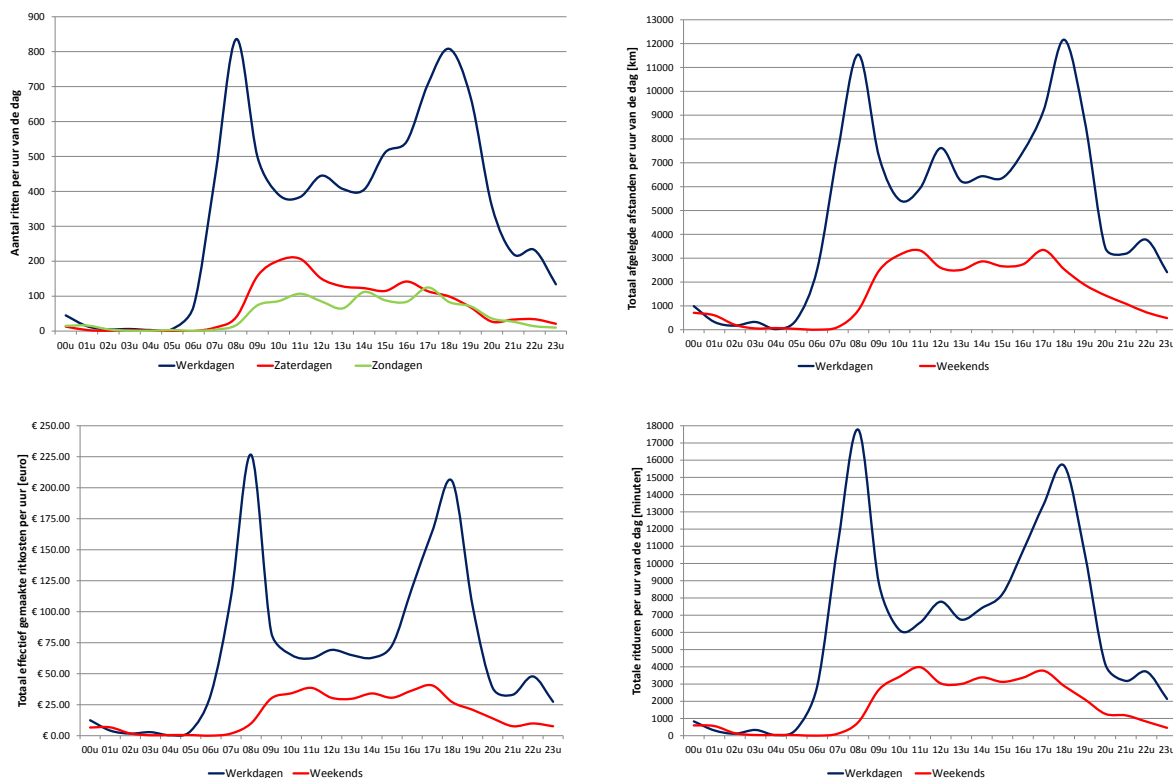
Merk op dat deze resultaten, gegeven dat het gros van de verplaatsingen in en uit het Leuvense gebeuren (zie ook Sectie 4.1.3), deels in lijn lagen met wat uit het Ruimtelijk Structuurplan Leuven naar voren kwam (zie ook Sectie 2.2 en [Leu]): daar werd gesteld dat 40% van alle verplaatsingen over een afstand korter dan 5 km gebeurden en 21% van de verplaatsingen tijdens avondspits zich over een afstand tussen 5 km en 10 km afspeelden. Ook stemden zij overeen met deze uit het Onderzoek Verplaatsingsgedrag Vlaanderen, waarin per rit een gemiddelde afstand van zo'n 13,1 km werd gevonden [MOW09].

De verdelingen van deze statistieken voor de hele databank met gereden ritten worden getoond in Figuur 64. Het valt op dat zij (1) asymmetrisch waren en (2) vaak een lange, zware staart hadden.



Figuur 64: De verdelingen van de totale afstanden, genormaliseerde kosten en duurtijden van elke rit.

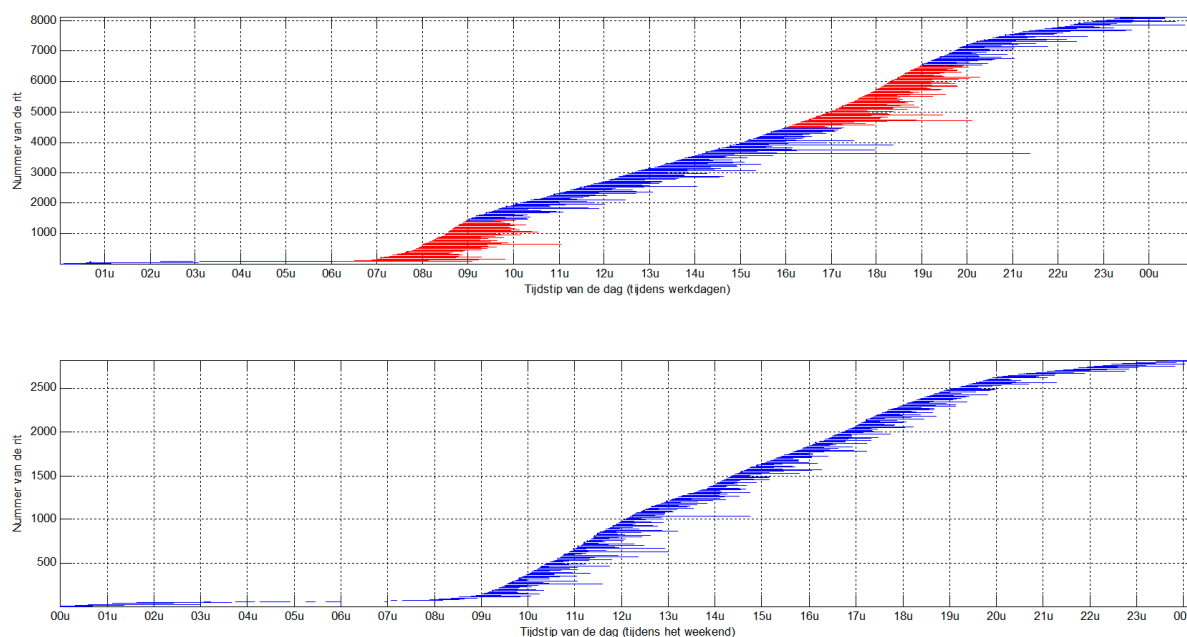
Op basis van de databank met ritgegevens was het ook mogelijk om de spreiding van het aantal ritten doorheen de dag te berekenen. In Figuur 65 geven we een overzicht van het aantal ritten (linksboven), de afgelegde afstanden (rechtsboven), de effectief gemaakte ritkosten (linksonder) en de ritduren (rechtsonder) per uur van de dag.



**Figuur 65: Overzicht van het aantal ritten (linksboven), de afgelegde afstanden (rechtsboven), de effectief gemaakte ritkosten (linksonder) en de duurtijden (rechtsonder) per uur van de dag.**

We merkten dat de ochtend- en avondspitsen duidelijk zichtbaar waren in het aantal ritten per uur van een werkdag. Daarnaast bleek dat de proefpersonen op een zaterdagvoormiddag een aanzienlijk deel van hun weekendverplaatsingen maakten. Gedurende zondag nam het aantal verplaatsingen typisch toe naarmate de dag vorderde. De patronen van de afgelegde afstanden, effectief gemaakte ritkosten en duurtijden waren zeer gelijkaardig en vertoonden ook duidelijk beide ochtend- en avondspitsen.

Figuur 66 geeft een analyse van de start- en eindtijden van alle ritten doorheen de dag, opgesplitst naar werkdagen (boven) en weekends (onder). Ritten in de dalperiodes werden blauw gekleurd; ritten tijdens de piekperiodes (enkel op werkdagen) werden rood gekleurd. Alle ritten werden verticaal gesorteerd op hun tijdstip van vertrek. We zagen ook hier, in overeenstemming met de resultaten in Figuur 65, dat de proefpersonen meestal tijdens de piekperiodes langdurigere ritten maakten. We zagen af en toe enkele uitschieters van proefpersonen die ritten van enkele uren maakten.



**Figuur 66:** Analyse van de start- en eindtijden van alle ritten doorheen de dag, opgesplitst naar werkdagen (*boven*) en weekends (*onder*). Ritten in de dalperiodes werden blauw gekleurd; ritten tijdens de piekperiodes (enkel op werkdagen) werden rood gekleurd.

## 5.2.2 Overzicht van de gereden snelheden op alle wegen

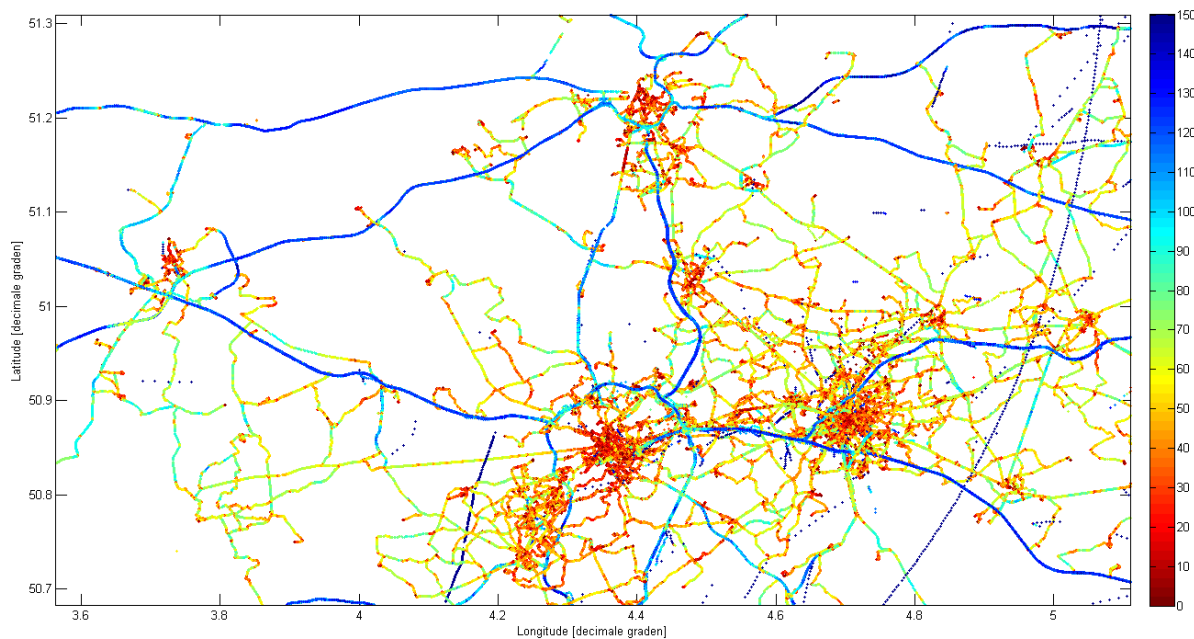
In de volgende Figuren geven we een overzicht van alle berekende mediane snelheden gedurende alle fasen in het hele experiment (telkens geaggregeerd per minuut). De snelheden zelf werden berekend op basis van alle ruwe geregistreerde GPS posities<sup>23</sup>; zij werden niet gefilterd.

De mediane snelheden werden met een kleur aangeduid: rode stippen kwamen overeen met mediane snelheden trager dan 30 km/u, oranje en geel lagen tussen 30 km/u en 60 km/u, groen tussen 60 km/u en 90 km/u, lichtblauw tussen 90 km/u en 110 km/u en donkerblauw sneller dan 110 km/u.

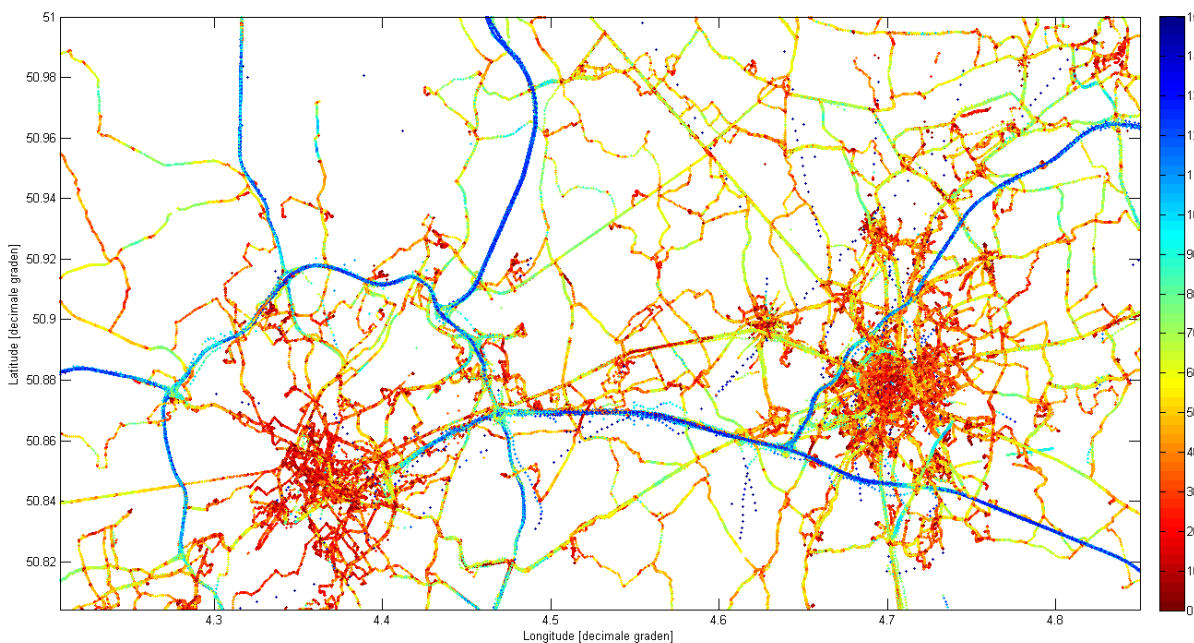
In Figuur 67 geven we een overzicht van het gebied rond Vlaanderen, in Figuur 68 van het gebied waar de kilometerheffing actief was, in Figuur 69 van het gebied rond Leuven en in Figuur 70 van het gebied binnen de ring rond Leuven.

We zagen hoe voornamelijk op de autosnelwegen hogere gemiddelde snelheden geregistreerd werden (blauwe tinten op de Figuren), terwijl de lokale wegen trager verkeer bevatten (gele tinten) en de stadskernen tot zelfs stilstaand verkeer (rode tinten). Op bepaalde gewestwegen zien we hoe de kruispunten zichtbaar gemaakt worden door de lokaal rode tinten van (bijna) stilstaand verkeer).

<sup>23</sup> Hiervoor berekenden we eerst de afstand tussen opeenvolgende GPS posities met behulp van de 'Haversine formule' als benadering van de grootcirkel (*greatest circle distance*) op een gekromd boloppervlak, waarna we met eindige differenties de snelheid afleidden.

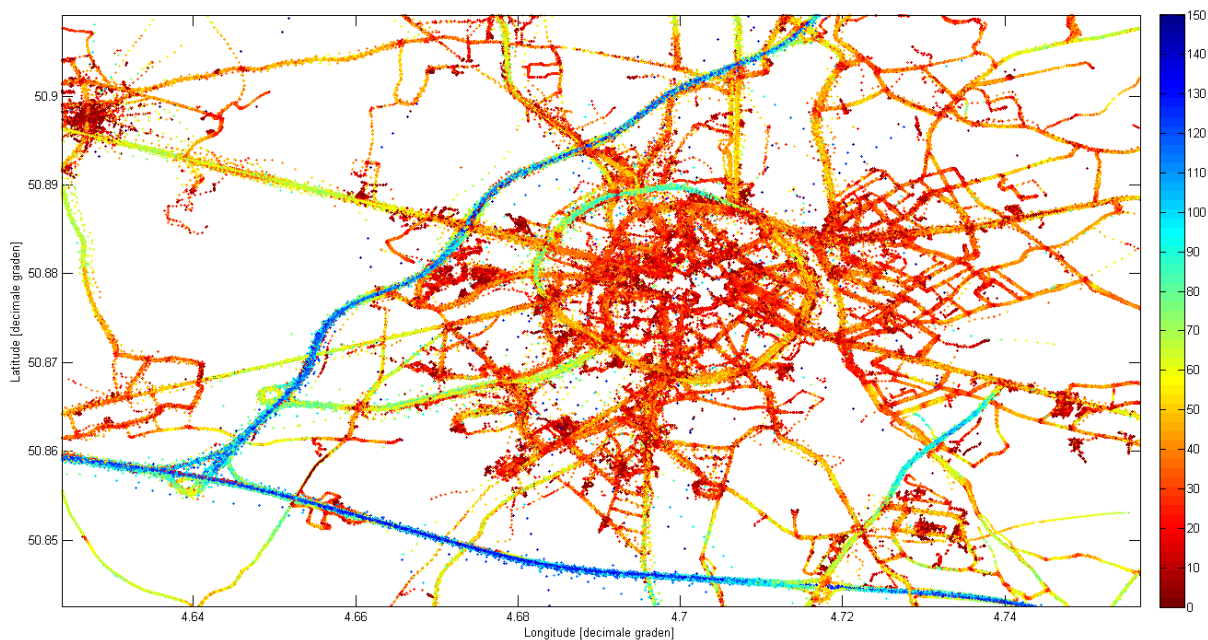


Figuur 67: Overzicht van alle geregistreerde mediane snelheden (per minuut geaggregeerd) in het gebied rond Vlaanderen (rood duidt op traag rijdend verkeer, geel en groen op zo'n 70 km/u en blauw tot donkerblauw op 110 tot en met 150 km/u).

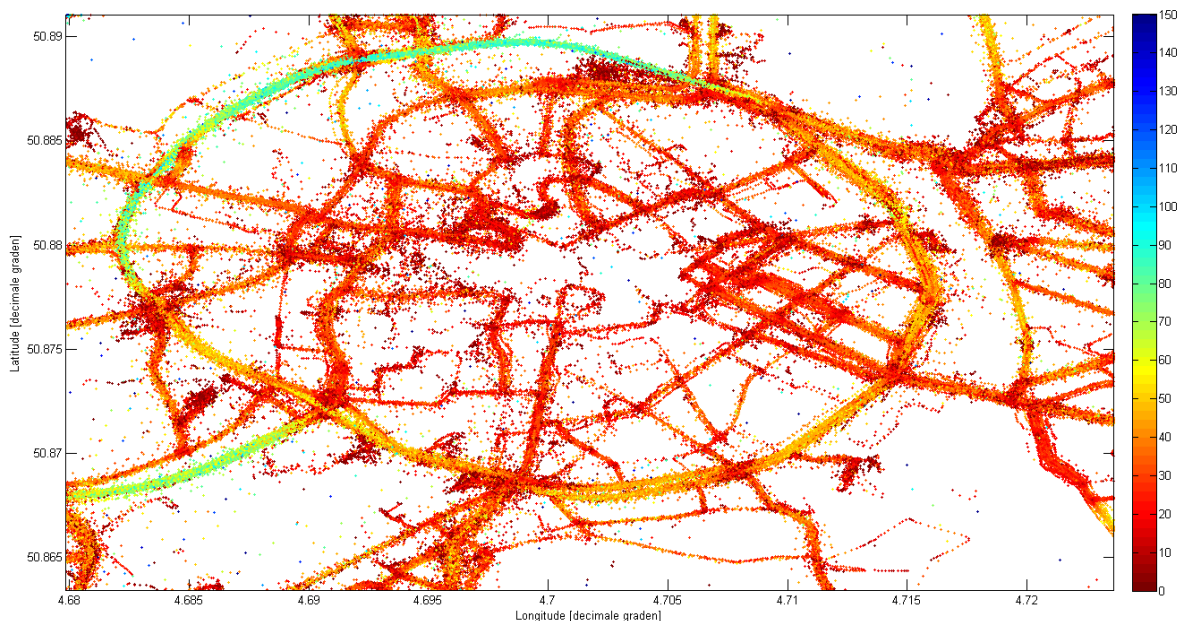


Figuur 68: Overzicht van alle geregistreerde mediane snelheden (per minuut geaggregeerd) in het gebied waar de kilometerheffing actief was (rood duidt op traag rijdend verkeer, geel en groen op zo'n 70 km/u en blauw tot donkerblauw op 110 tot en met 150 km/u).





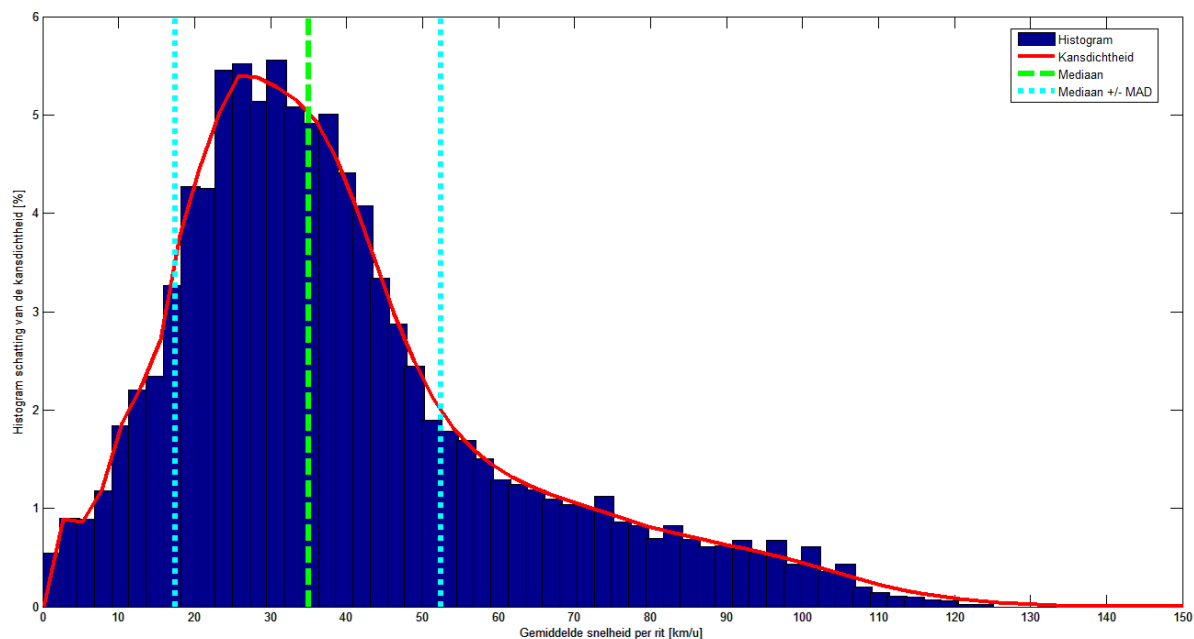
Figuur 69: Overzicht van alle geregistreerde mediane snelheden (per minuut geaggregeerd) in het gebied rond Leuven (rood duidt op traag rijdend verkeer, geel en groen op zo'n 70 km/u en blauw tot donkerblauw op 110 tot en met 150 km/u).



Figuur 70: Overzicht van alle geregistreerde mediane snelheden (per minuut geaggregeerd) binnen de ring rond Leuven (rood duidt op traag rijdend verkeer, geel en groen op zo'n 70 km/u en blauw tot donkerblauw op 110 tot en met 150 km/u).

### 5.2.3 Analyse van de gemiddelde snelheden per rit

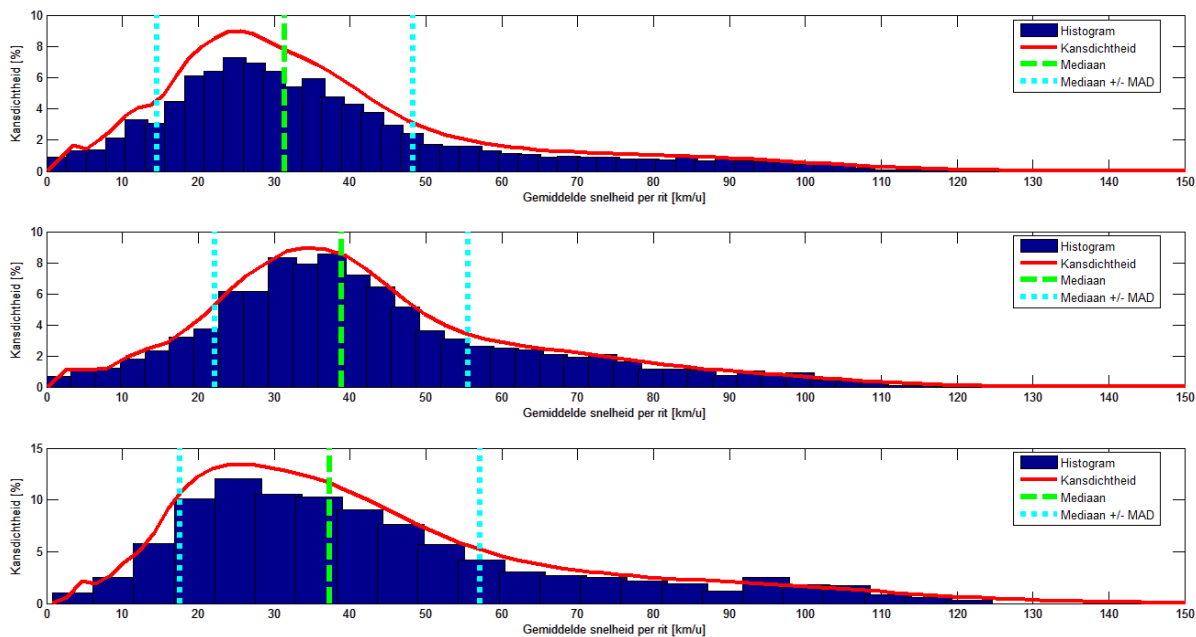
Op basis van de afgelegde afstanden en totale duurtijden van alle ritten, konden we de gemiddelde snelheid per rit afleiden. Voor alle ritten in de hele geografische dekking gaf dit het resultaat in Figuur 71:



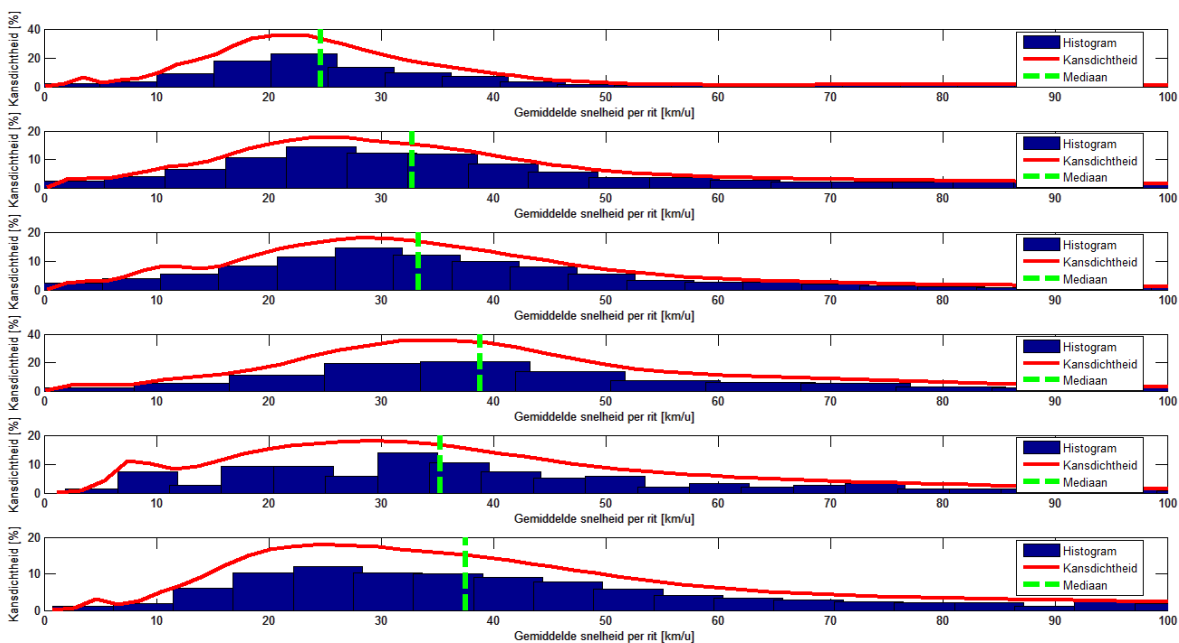
Figuur 71: Overzicht van de verdeling van de gemiddelde snelheid per rit voor alle ritten in de hele geografische dekking.

De mediaan van de gemiddelde snelheid lag op **35 km/u**, met een mediane afwijking (MAD<sup>24</sup>) van 18 km/u. Dit gemiddelde kwam goed overeen met wat men in ander onderzoek vaak terugvindt als gemiddelde snelheid voor een hele rit [ACM12]. In onze analyse gingen we nog een stap verder, en bekeken we de invloed van het type voertuig op de gemiddelde snelheid per rit. Kijkende naar de 3 voertuigtypes uit Sectie 3.4.3, gaf ons dit het resultaat in Figuur 72. Het viel op dat de mediaan van de gemiddelde snelheid (de groene stippellijnen) groter was voor voertuigen van types 2 en 3 dan die van type 1. Een meer gedetailleerd inzicht kregen we door de mediaan van de gemiddelde snelheid nog verder uit te splitsen naar het type fiscale PK, zoals te zien in Figuur 73. Ook daar zagen we een vergelijkbare trend, namelijk dat de gemiddelde snelheid toenam met het aantal fiscale PKs van een voertuig.

<sup>24</sup> De mediane afwijking (*median absolute deviation*, MAD) is een robuuste statistische schatter voor de afwijking van een verdeling en wordt berekend als  $\text{med}_i\{|x_i - \text{med}_j\{x_j\}|\}$ . Om hem geen bias te laten hebben ten opzichte van de normaalverdeling, wordt deze statistische maat nog vermenigvuldigd met 1,4826. De factor komt overeen met de inverse van het 3<sup>e</sup> kwartiel van de cumulatieve normale kansverdeling, met name  $1/\Phi^{-1}(3/4)$ .



Figuur 72: De verdelingen van de gemiddelde snelheid per rit uitgesplitst naar het type voertuig (boven: type 1, midden: type 2, onder: type 3). De medianen worden aangeduid met de groene stippellijn; de mediane afwijkingen (MAD) door de cyane stippellijnen.



Figuur 73: De verdelingen van de gemiddelde snelheid per rit uitgesplitst naar de fiscale PKs (van boven naar onder: FP = 8 tot en met FP = 13). De medianen worden aangeduid met de groene stippellijn; de mediane afwijkingen (MAD) door de cyane stippellijnen.

Een overzicht van deze mediane gemiddelde snelheden per type voertuig en fiscale PK is te zien in volgende Tabellen:

			Gemiddelde snelheid [km/u]		
			Mediaan	MAD	
VT1	31	16	FP8	25	10
VT2	39	18	FP9	33	18
VT3	37	21	FP10	33	16
			FP11	39	18
			FP12	35	19
			FP13	38	21

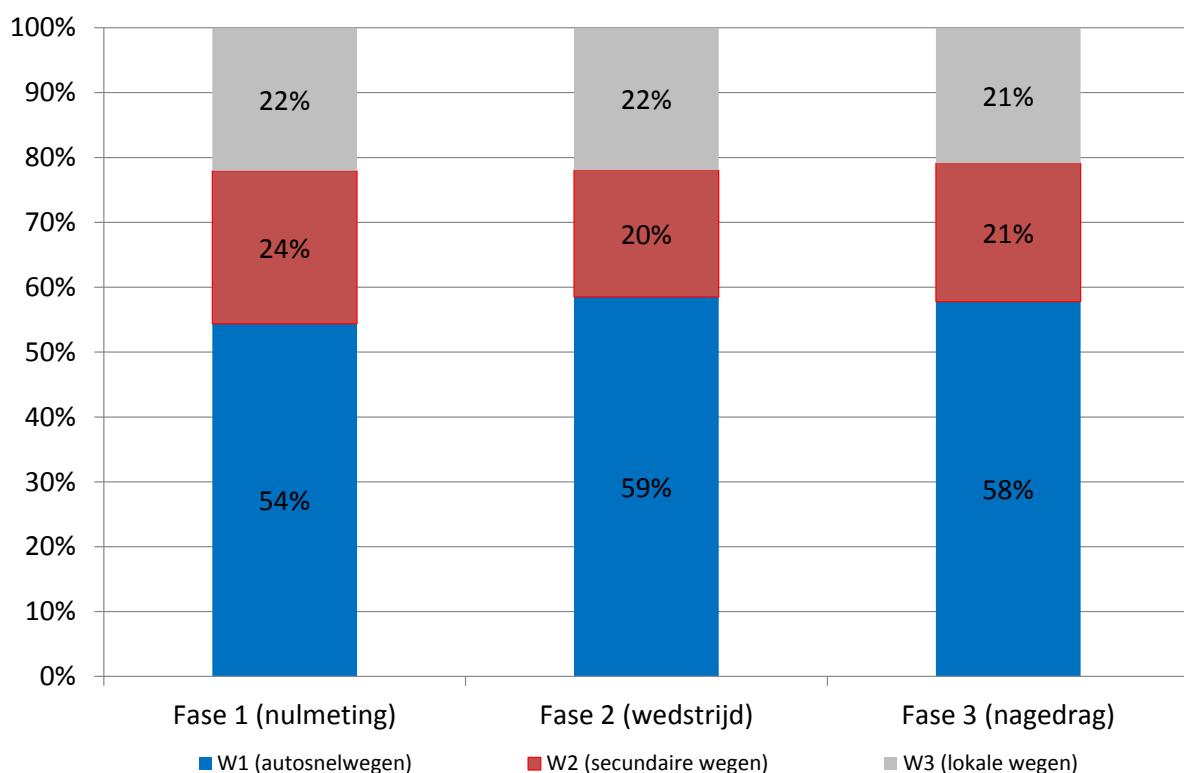
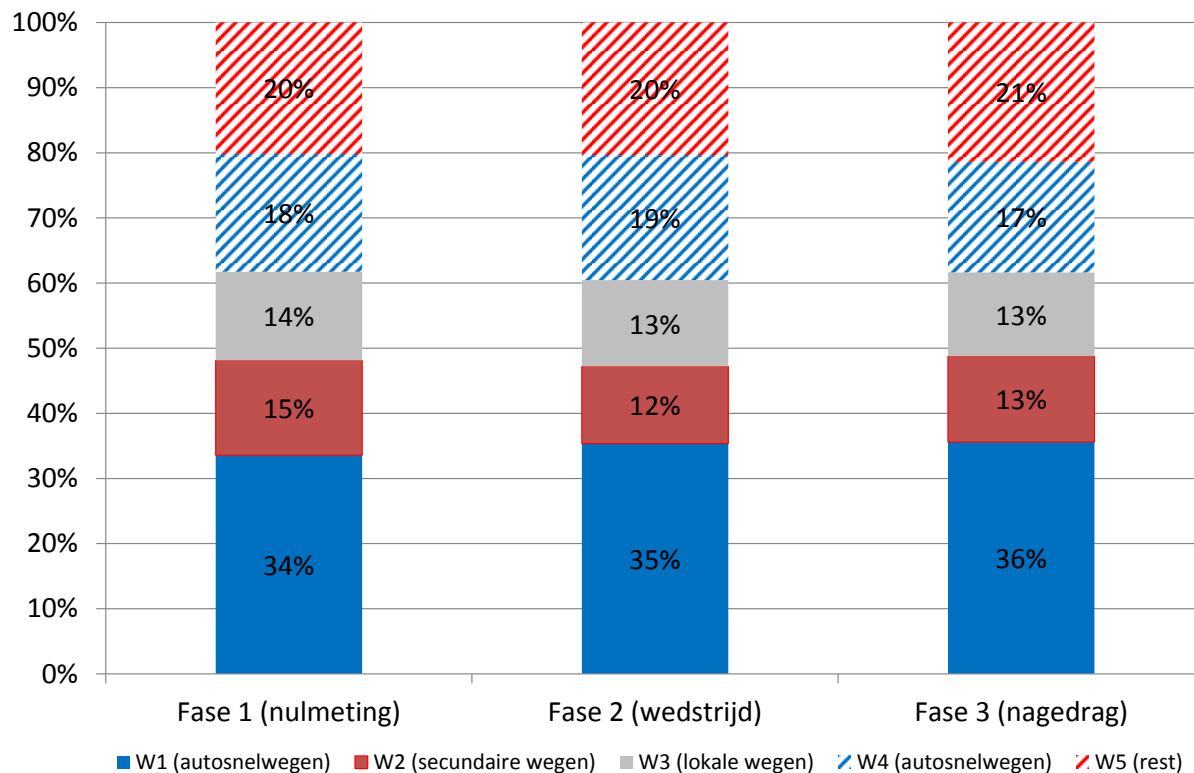
Nader onderzoek leverde op dat de proefpersonen bij hogere gemiddelde snelheden per rit typisch ook op een groter aandeel autosnelwegen (wegtypes W1 en W4) reden, en dat zij bij lagere gemiddelde snelheden het merendeel van hun verplaatsingen op de secundaire en lokale wegen (wegtypes W2, W3 en W5) reden. Daarnaast bleek ook dat proefpersonen met een grotere fiscale PK in de regel ook grotere afstanden aflegden, dat zij daarbij meer op autosnelwegen reden en bijgevolg hogere gemiddelde snelheden haalden. De hogere gemiddelde snelheden van deze proefpersonen waren dus niet te verklaren door hun rijgedrag, maar veeleer door de lange-afstandsverplaatsingen die ze typisch maakten.

## 5.2.4 Evolutie van het gebruik van de verschillende wegtypes en tijdsperiodes

Kijkende naar alle afgelegde afstanden per wegtype per fase, verschaftte ons inzicht in welke wegen door de proefpersonen tijdens de verschillende fasen gebruikt werden; dit leverde ons de informatie in volgende Tabel op:

	Afgelegde afstanden [km]					
	W1	W2	W3	W4	W5	Totaal
Fase 1 (nulmeting)	20.495	8.887	8.314	11.051	12.311	61.058
Fase 2 (wedstrijd)	25.272	8.442	9.482	13.704	14.548	71.448
Fase 3 (nagedrag)	7.892	2.915	2.853	3.765	4.736	22.161

In Figuur 74 geven we dit grafisch weer, met links de verdeling van de afgelegde afstanden voor de hele geografische dekking, en rechts voor het gebied waar de kilometerheffing actief was.



Figuur 74: Weggebruik door alle proefpersonen, per wegtype en fase. Voor de hele geografische dekking (boven). Voor het gebied waar de kilometerheffing actief was (onder).

Het viel op dat deze cijfers beduidend verschilden van de eerder gerapporteerde statistieken van de FOD (zie ook Sectie 3.5.1.1), bijvoorbeeld voor fase 1 (nulmeting):

- W1: 54% (proeftuin) → 36% (FOD).
- W2: 24% (proeftuin) → 41% (FOD).
- W3: 22% (proeftuin) → 23% (FOD).

Deze afwijkingen waren waarschijnlijk een gevolg van het gedrag van de groep proefpersonen, wat niet volledig overeenstemde met het Belgisch gemiddelde. Merk daarbij wel op dat deze cijfers wel meer in lijn liggen met de resultaten van eerdere gelijkaardige analyses op basis van het verplaatsingsgedrag van een 300-tal personen in het Brusselse [ACM12]. Het is onder andere op basis van deze cijfers dat we ook het tariefschema gebaseerd op het reëel geobserveerde gedrag van de proefpersonen berekenden, zoals getoond in Sectie 3.5.4.

Analoog aan de gedragsanalyse uit Sectie 4.4.3 voor een enkele proefpersoon, konden we ook de verdeling van de gereden afstanden en de gemaakte genormaliseerde kosten op de verschillende wegennetten en tijdsperiodes voor de hele databank met ritten berekenen, zoals weergegeven in volgende Tabellen:

Fase 1 (nulmeting)	Afgelegde afstanden [km]		Genormaliseerde kosten	
	Piekperiode	Dalperiode	Piekperiode	Dalperiode
W1 (autosnelwegen)	16%	38%	15%	31%
W2 (secundaire wegen)	10%	14%	12%	11%
W3 (lokale wegen)	9%	13%	17%	13%

Fase 2 (wedstrijd)	Afgelegde afstanden [km]		Genormaliseerde kosten	
	Piekperiode	Dalperiode	Piekperiode	Dalperiode
W1 (autosnelwegen)	18%	41%	17%	34%
W2 (secundaire wegen)	7%	12%	9%	11%
W3 (lokale wegen)	8%	14%	15%	15%

Uit de Tabellen leiden we af dat de kosten en afstanden voor wegtypes W1 en W2 in lijn met elkaar lagen; voor wegtype W3 verschilden de percentages echter beduidend van elkaar voornamelijk omwille van het hogere tarief op dit wegtype.

Op basis van de gereden afstanden en genormaliseerde kosten tijdens fase 1 (nulmeting) en fase 2 (wedstrijd) werd het verschil bepaald en weergegeven:

Verschil (fase 2 - fase 1)	Afgelegde afstanden [km]		Genormaliseerde kosten	
	Piekperiode	Dalperiode	Piekperiode	Dalperiode
W1 (autosnelwegen)	2%	3%	2%	3%
W2 (secundaire wegen)	-3%	-1%	-3%	-1%
W3 (lokale wegen)	-1%	1%	-2%	1%

Hieruit bleek dat er zo'n 4% minder afstand op secundaire (W2) en lokale (W3) wegen in de piekperiode werd gereden, wat overeenkwam met een vermindering van 5% genormaliseerde kosten. Uit de voorgaande Tabellen leiden we ook af dat er tijdens de nulmeting en de wedstrijd zo'n 35% van alle afgelegde afstanden in de piekperiode gereden werden, en bijgevolg 65% in de dalperiode; dit kwam overeen met 44% van de genormaliseerde kosten in de piekperiode en 56% in de dalperiode. Net zoals het gebruik van de verschillende types wegen, verschilden ook deze cijfers beduidend van de eerder gerapporteerde statistieken van de FOD (zie ook Sectie 3.5.1.1).

Analoog aan voorgaande redenering, berekenden we ook de afgelegde afstanden en genormaliseerde kosten voor fase 3 (nagedrag), zoals te zien in volgende Tabel:

Fase 3 (nagedrag)	Afgelegde afstanden [km]		Genormaliseerde kosten	
	Piekperiode	Dalperiode	Piekperiode	Dalperiode
W1 (autosnelwegen)	20%	38%	18%	32%
W2 (secundaire wegen)	10%	12%	12%	10%
W3 (lokale wegen)	8%	13%	15%	13%

Weerom werd op basis van de gereden afstanden en genormaliseerde kosten tijdens fase 2 (wedstrijd) en fase 3 (nagedrag) het verschil bepaald en weergegeven:

Verschil (fase 3 - fase 1)	Afgelegde afstanden [km]		Genormaliseerde kosten	
	Piekperiode	Dalperiode	Piekperiode	Dalperiode
W1 (autosnelwegen)	2%	-2%	2%	-2%
W2 (secundaire wegen)	3%	-1%	3%	-1%
W3 (lokale wegen)	0%	-1%	0%	-1%

Hieruit bleek dat er terug een verschuiving van de dalperiode naar de piekperiode was, waarbij men 3% meer afstand op secundaire en lokale wegen in de piekperiode aflegde, wat overeenkwam met de verschuiving in de genormaliseerde kosten.

Merk op dat, indien we bij fase 1 (nulmeting) uitgaan van een vlaktarief (zoals uiteengezet in Sectie 3.5.1.1), de verschillen in de uiteindelijke genormaliseerde kosten nog groter worden, zoals te zien in volgende Tabel :

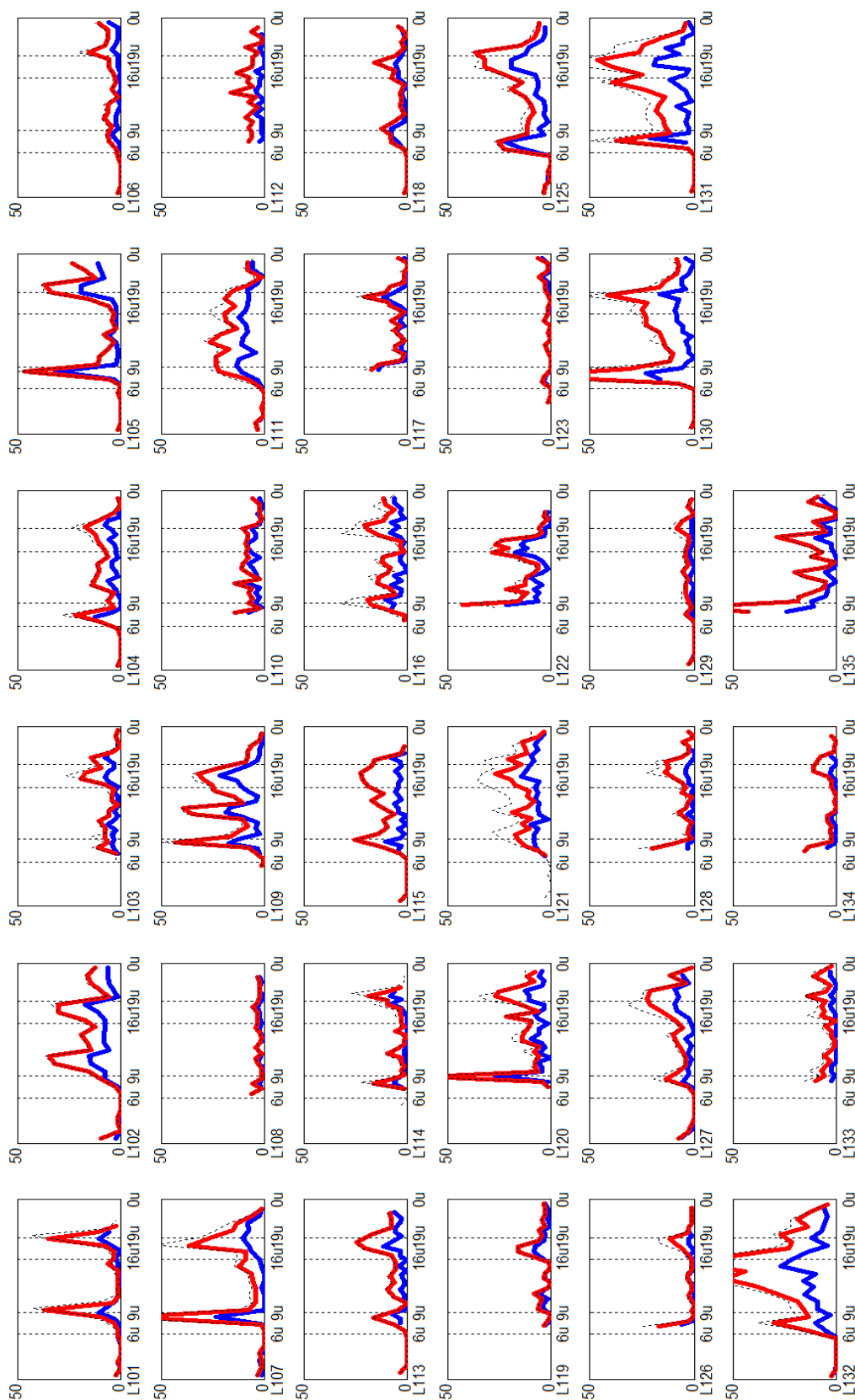
Fase 1 (nulmeting)	Afgelegde afstanden [km]		Genormaliseerde kosten	
	Piekperiode	Dalperiode	Piekperiode	Dalperiode
W1 (autosnelwegen)	16%	38%	16%	38%
W2 (secundaire wegen)	10%	14%	10%	14%
W3 (lokale wegen)	9%	13%	9%	13%

In vergelijking met de vorige berekeningen, worden er nu meer kosten opgelopen voor ritten in de dalperiode terwijl deze in de piekperiode wat lager komen te liggen. Het verschil in gegeneraliseerde ritkosten tussen fase 2 (wedstrijd) en fase 1 (nulmeting) is te zien in volgende Tabel (waarbij voor fase 1 het vlaktarief werd gehanteerd, en voor fase 2 het tarief van de kilometerheffing) :

Verschil (fase 2 - fase 1)	Afgelegde afstanden [km]		Genormaliseerde kosten	
	Piekperiode	Dalperiode	Piekperiode	Dalperiode
W1 (autosnelwegen)	2%	3%	0%	-4%
W2 (secundaire wegen)	-3%	-1%	-1%	-3%
W3 (lokale wegen)	-1%	1%	6%	1%

In vergelijking met de vorige berekeningen worden er nu iets meer kosten opgelopen op de secundaire wegen in de piekperiode (-1% versus -3%), en vice versa in de dalperiode (-3% versus -1%). Het meest opvallende is echter dat de piekperiode op lokale wegen (W3) met 6% duurder geworden is, ten opzichte van -2% daarvoor. Daarenboven varieerden in de dalperiode op autosnelwegen (W1) de kosten met -4% ten opzichte van 3% daarvoor.

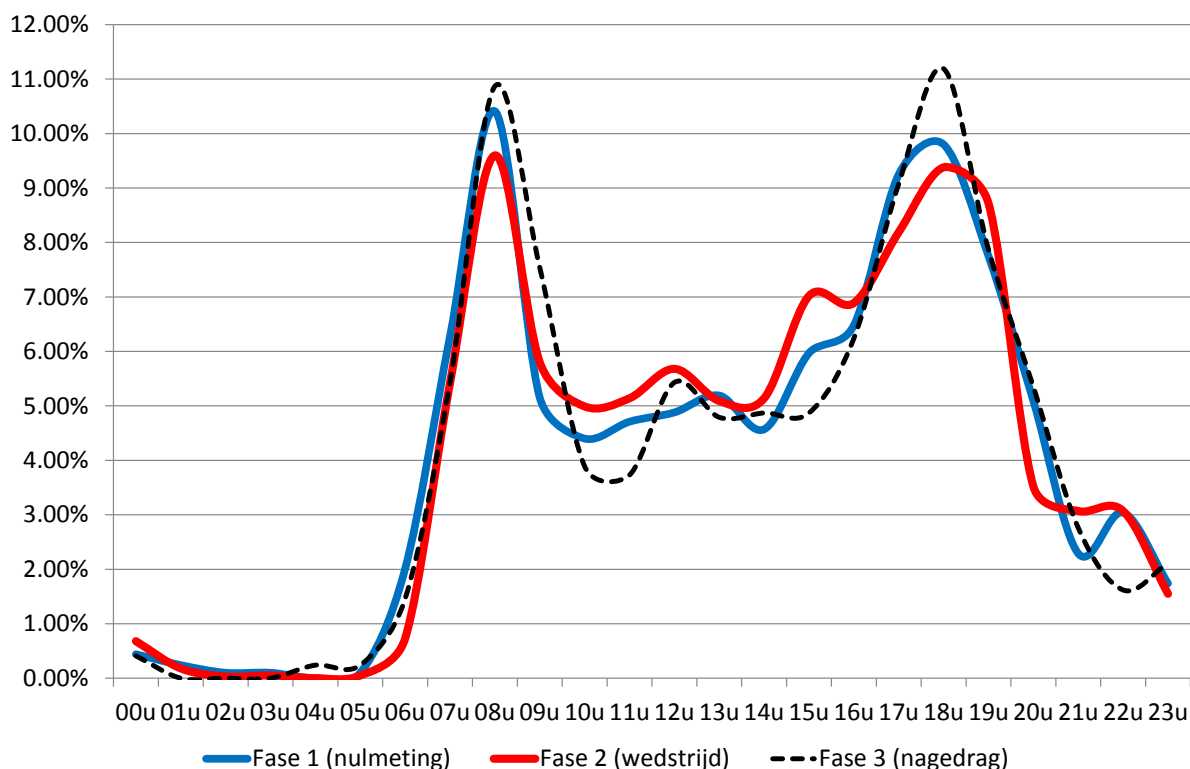
Analoog aan Figuur 65 berekenden we de verdeling van het aantal ritten per fase per uur van de dag, dit telkens voor elke proefpersoon apart, zoals te zien in Figuur 75:



Figuur 75: Overzicht van de verdeling van het aantal ritten per uur van de dag per proefpersoon, telkens voor fase 1 (blauw), fase 2 (rood) en fase 3 (zwarte stippellijn).

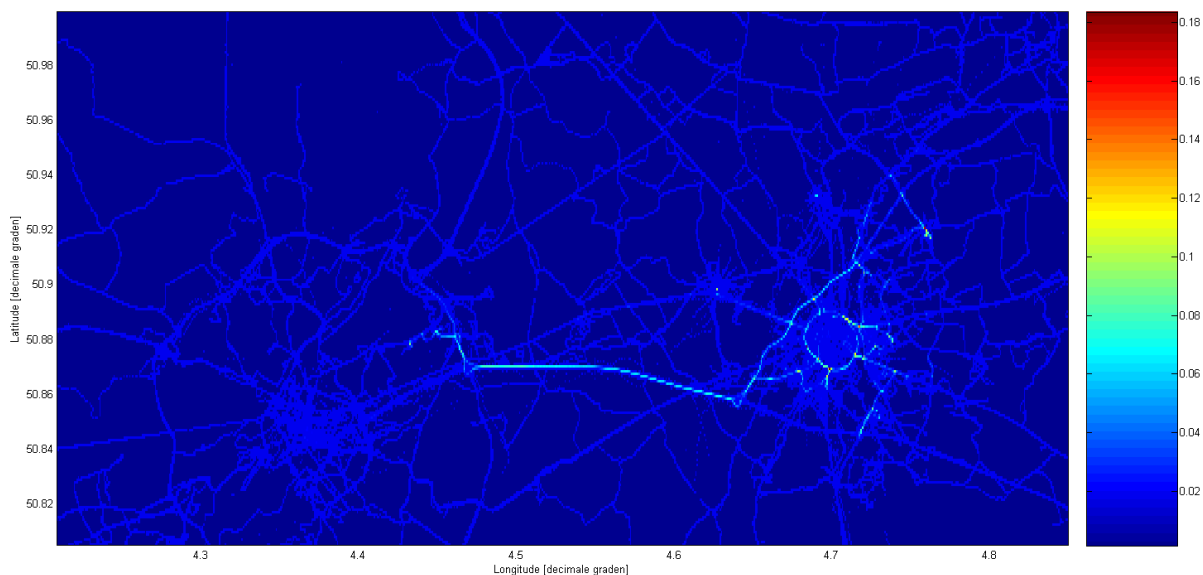


Voor alle proefpersonen tezamen gaf dit de resultaten in Figuur 76, waarbij we weerom in het blauw het aantal ritten tijdens fase 1 gaven, in het rood het aantal ritten tijdens fase 2 en met zwarte stippellijn het aantal ritten tijdens fase 3. We zagen in aanvulling op de vorige resultaten, dat het aantal ritten tijdens de ochtendspits iets lager kwam te liggen. Tijdens de avondspits werden er ook iets minder ritten gereden en verplaatsten deze zich meer naar de dalperiode ervoor en erna (de rode curve ligt daar lager dan de blauwe curve, en zij schoof deels naar rechts op waarbij ze ook sneller afnam dan tijdens de nulmeting in fase 1). Ook merkten we dat er tijdens de dalperiode 's middags meer gedurende fase 2 dan fase 1 werd gereden. Deze observaties komen overeen met hoe men het algemene effect van rekeningrijden inschat, namelijk dat de pieken afgevlakt worden. Het terugvaleffect is hard te zien aan de zwarte stippellijn van fase 3; we merken hierbij op dat, gegeven de korte duur van deze fase en het bijhorend aantal gereden ritten, dit resultaat niet volledig representatief is.

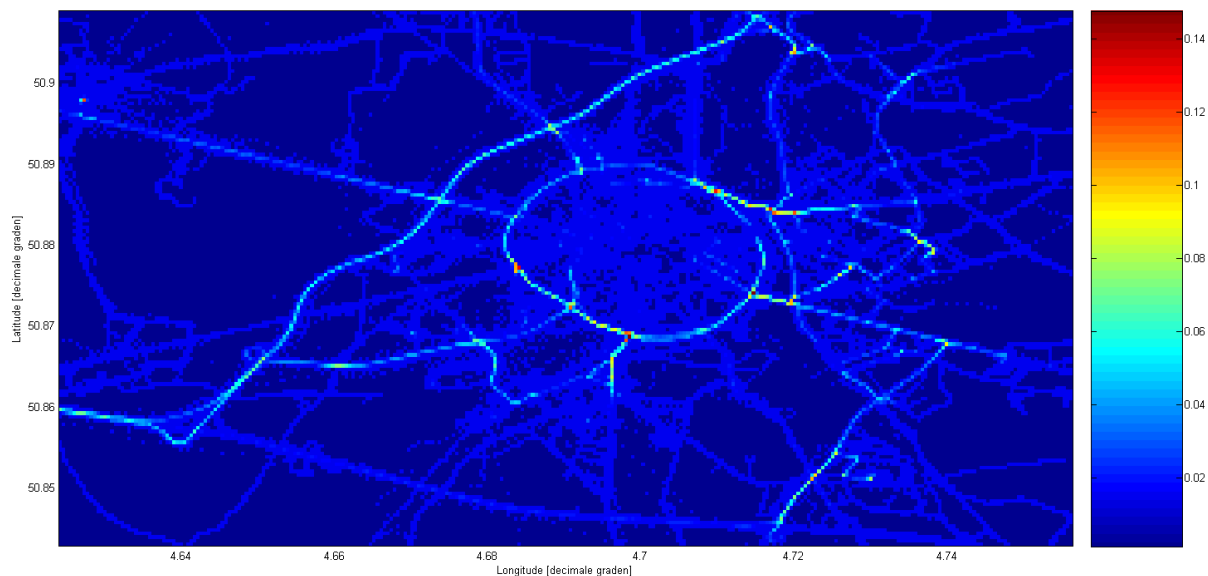


Figuur 76: Overzicht van de verdeling van het aantal ritten per uur van de dag, telkens voor fase 1 (blauw), fase 2 (rood) en fase 3 (zwarte stippellijn). Het gedragseffect van rekeningrijden is voornamelijk te zien aan de vermindering van het aantal ritten in de piekperiodes, en de toenames erbuiten. Merk op dat fase 3 niet representatief is wegens de te korte duur en het te lage absoluut aantal gereden ritten.

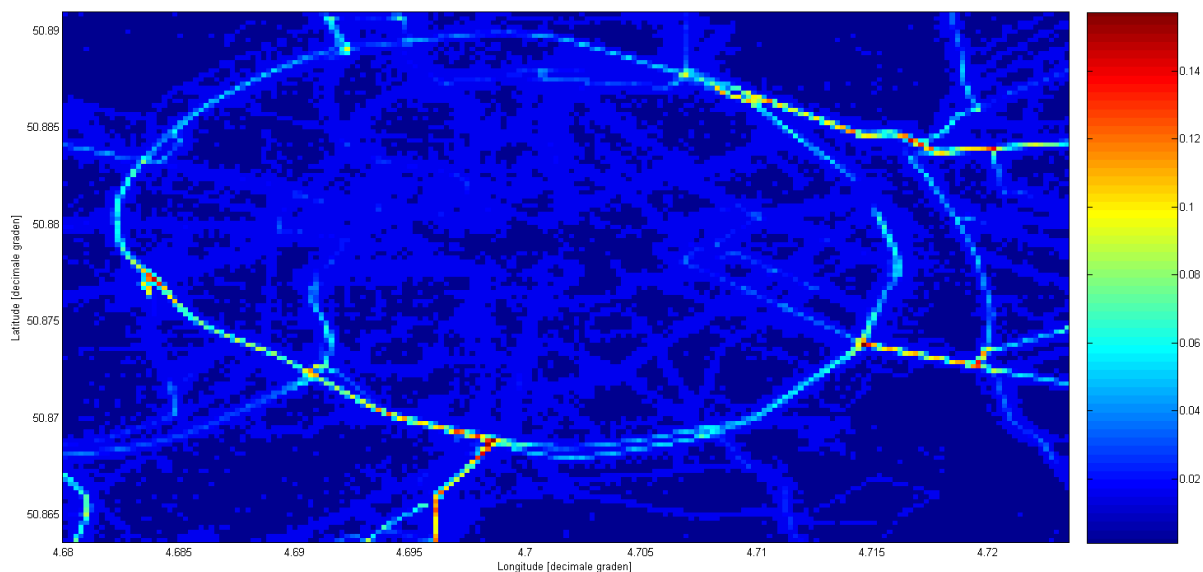
In Figuur 77, Figuur 78 en Figuur 79 geven we het weggebruik per seconde weer op basis van alle geregistreerde GPS posities van alle proefpersonen (dit voor het gebied waar de kilometerheffing actief was, het gebied rond het Leuvense en het gebied binnen de ring rond Leuven, respectievelijk). Deze posities werden telkens geteld op een rooster met vakjes van zo'n 10.000 m<sup>2</sup> (100 m op 100 m), 2.500 m<sup>2</sup> (50 m op 50 m) en 625 m<sup>2</sup> (25 m op 25 m), respectievelijk. Plaatsen waar meer ritten gereden werden, zijn groen, geel tot rood gekleurd.



**Figuur 77:** Het weggebruik per seconde voor alle geregistreerde GPS posities in het gebied waar de kilometerheffing actief was (het gebruikte rooster heeft vakjes van 10.000 m<sup>2</sup>).

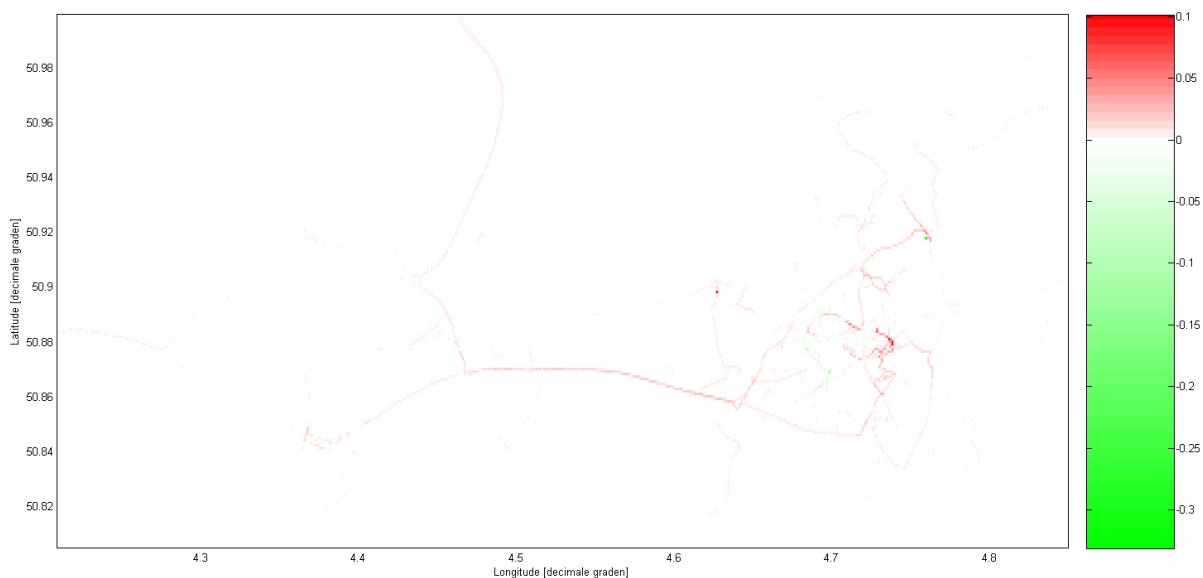


**Figuur 78:** Het weggebruik per seconde voor alle geregistreerde GPS posities in het gebied rond het Leuvense (het gebruikte rooster heeft vakjes van 2.500 m<sup>2</sup>).

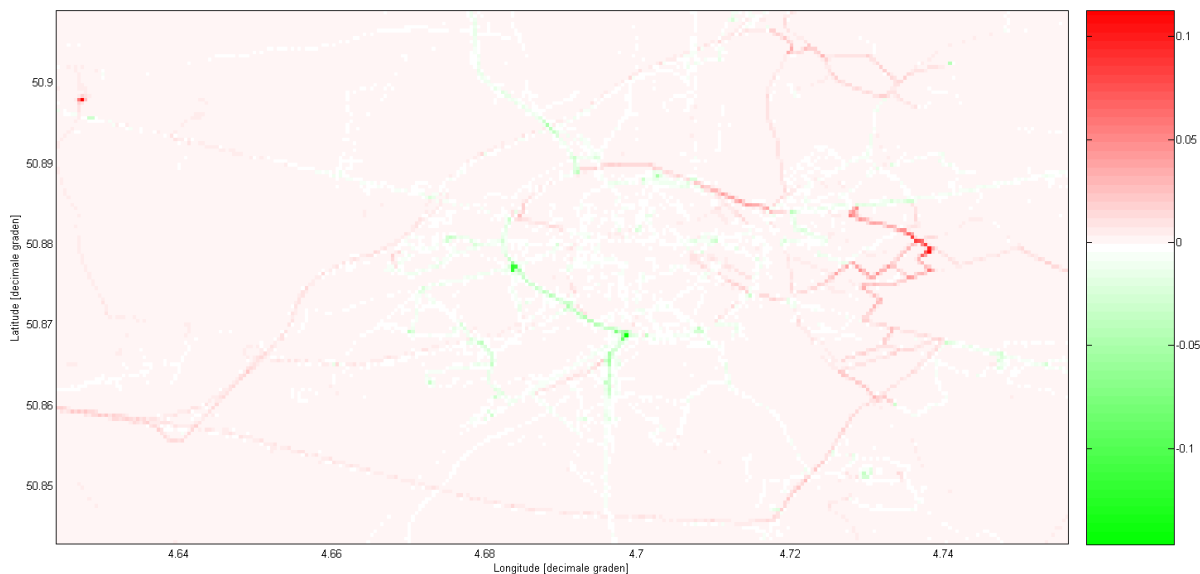


**Figuur 79:** Het weggebruik per seconde voor alle geregistreerde GPS posities in het gebied binnen de ring rond Leuven (het gebruikte rooster heeft vakjes van 625 m<sup>2</sup>).

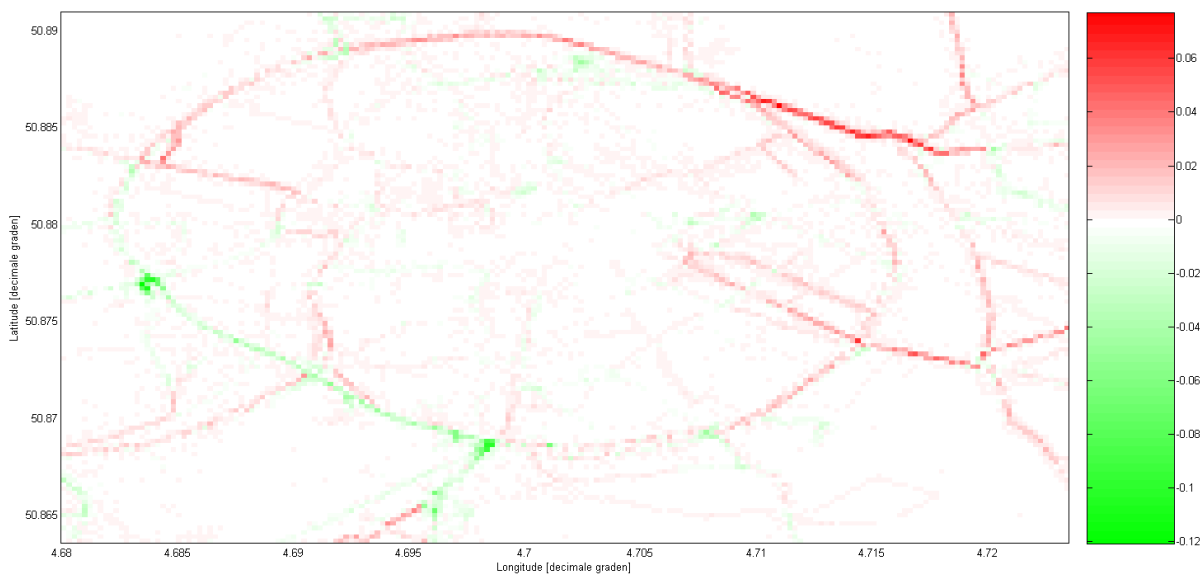
Op basis van het gemeten weggebruik, berekenden we het verschil tussen fase 2 (wedstrijd) en fase 1 (nulmeting). Dit wordt – overeenkomstig de vorige Figuren – getoond in Figuur 80, Figuur 81 en Figuur 82. Groene en rode kleuren duiden op een afgenomen, respectievelijk toegenomen, weggebruik. De meest interessante informatie is te zien in Figuur 82 waar het gebied binnen de ring rond Leuven getoond wordt. We zagen hoe de proefpersonen tijdens fase 2 (wedstrijd), conform het beleid van de Stad Leuven, meer gewenst gedrag vertoonden door langs de noord-west kant van de ring rond Leuven te rijden.



**Figuur 80:** Verschil in het weggebruik per seconde tussen fase 2 (wedstrijd) en fase 1 (nulmeting) in het gebied waar de kilometerheffing actief was (groene en rode kleuren duiden op een afgenomen, respectievelijk toegenomen, weggebruik).



**Figuur 81:** Verschil in het weggebruik per seconde tussen fase 2 (wedstrijd) en fase 1 (nulmeting) in het gebied rond het Leuvense (groene en rode kleuren duiden op een afgenomen, respectievelijk toegenomen, weggebruik).



**Figuur 82:** Verschil in het weggebruik per seconde tussen fase 2 (wedstrijd) en fase 1 (nulmeting) binnen de ring rond Leuven (groene en rode kleuren duiden op een afgenomen, respectievelijk toegenomen, weggebruik).

## 5.2.5 Berekening van de prijselasticiteit

We konden ook de segmentelasticiteit berekenen op basis van het aantal gereden ritten tijdens fases 1 (nulmeting) en 2 (wedstrijd), en de daarbijhorende gemaakte genormaliseerde kosten per rit:

$$\frac{\Delta q}{\Delta p} \cdot \frac{p_1}{q_1}$$

Om geen vertekend beeld te krijgen, werden we voor de berekening van elasticiteit enkele proefpersonen die hun OBU pas later kregen (zie ook het einde van Sectie 4.3.2.2). Voor de gemaakte ritkosten hielden we de kost per kilometer constant op 1 voor alle wegtypes en tijdsperiodes (i.e., we gebruikten een vlaktarief wat overeenkwam met geen variabilisering van de verkeersbelasting), en gebruikten we de genormaliseerde ritkosten tijdens fase 1 welke overeenkwamen met de gewichten  $R_{x,t,k}$  uit Sectie 3.5.1.2. Dit gaf volgend resultaat:

Parameter	Beschrijving	Waarde	
		Piekperiode	Dalperiode
q1	#ritten tijdens fase 1	1078	2122
q2	#ritten tijdens fase 2	1229	2556
p1	kost per rit tijdens fase 1	€ 11,63	€ 11,57
p2	kost per rit tijdens fase 2	€ 10,00	€ 10,61
	<b>elasticiteit</b>	<b>-1,0037</b>	<b>-2,4547</b>

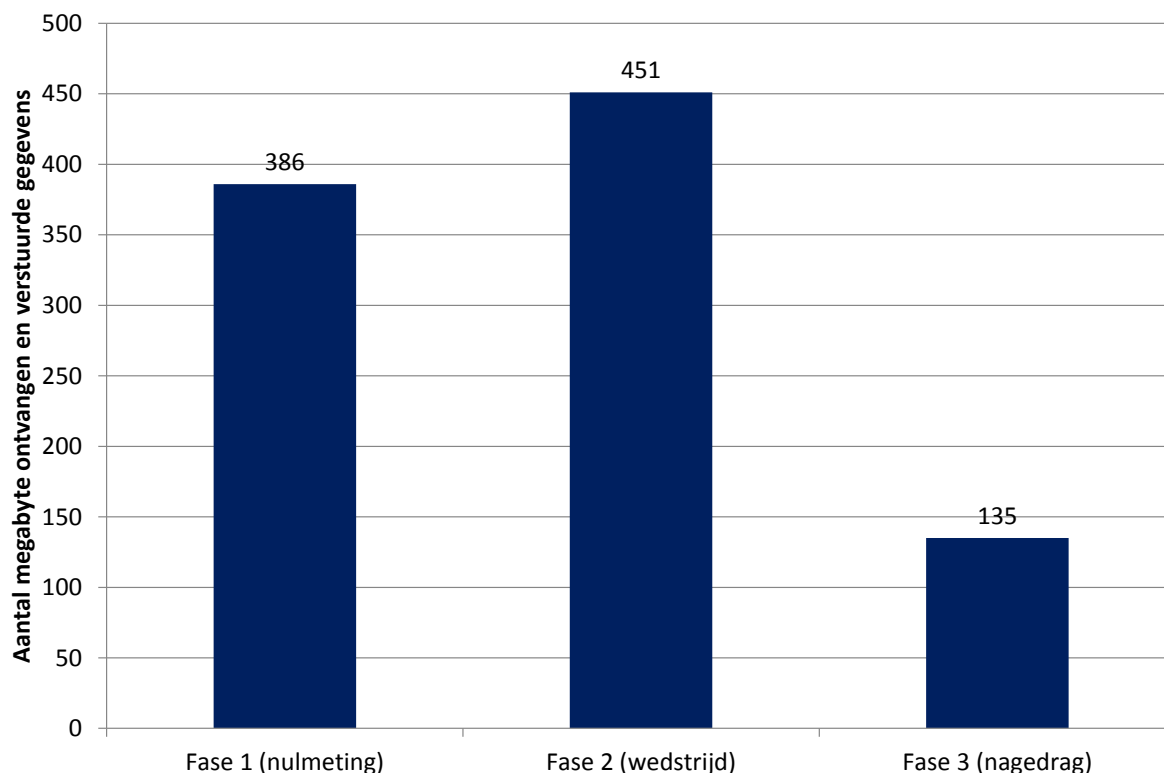
We merkten dat de kost per rit tijdens fase 2 (wedstrijd) lager dan die van tijdens fase 1 (nulmeting) lag. Dit komt omdat er gedurende de wedstrijd een verschuiving optrad naar goedkopere wegtypes (cfr. eerdere analysesresultaten uit Sectie 5.2.4). Uit de berekening van de prijselasticiteit blijkt dat indien bijvoorbeeld de kost per rit met 1% stijgt, het aantal gereden ritten met 1% in de piekperiode en met zo'n 2,5% in de dalperiode zou dalen. Het effect is groter in de dalperiode omdat men dan meer vrijheid in tijd en ruimte heeft om het verplaatsingsgedrag aan te passen dan bijvoorbeeld het geval is in de piekperiode waarin je vaker 'vast' pendelverkeer hebt.

In tegenstelling wat met in debatten rond rekeningrijden maar al te vaak wordt gesteld, namelijk dat het rijden duurder zou worden, bleek uit ons experiment dat (1) de kost afnam en (2) het aantal gereden ritten toenam. Men dient hierbij evenwel rekening te houden met het feit dat dit een mogelijk gevolg is van bijvoorbeeld selectiebias in de groep, een te kleine steekproef of andere factoren. Kijkende naar de sensitiviteit van de resultaten, merken we op dat de berekende prijselasticiteit wel vrij gevoelig is voor aanpassingen (a rato van 10%) in het aantal gereden ritten.

Het gedragsexperiment in deze proeftuin stoelde louter op de variabilisering van de verkeersbelasting, waarbij de tariefinformatie tijdens de nulmeting voor de proefpersonen verborgen werd gehouden. De veronderstelling was dat zij enkel zouden reageren op het feit dat ze plots de gemaakte ritkosten zouden zien, waarbij het hen duidelijk gemaakt werd dat rijden op autosnelwegen en tijdens de dalperiodes goedkoper is dan anders. Zij reageerden dus vooral op de verschillen tussen piek, dal en wegtypes, wat in lijn ligt met hoe het project opgezet en aan hen voorgesteld werd, en niet op het feit dat de verkeersbelasting gevariabiliseerd werd ten opzichte van een voorheen vlak tarief. In die zin hielden zij dus enkel rekening met de monetaire prijs en veronderstelden we dat de tijdskosten constant bleven.

## 5.2.6 Analyse van het GSM dataverkeer

Tijdens het gedragsexperiment communiceerde de OBU via het GSM/GPRS netwerk. Gedurende deze hele periode werden er nauwkeurig statistieken van de transacties bijgehouden. In totaal werd er voor de drie fasen tezamen zo'n 972 megabyte aan gegevens ontvangen en verstuurd. In Figuur 83 wordt weergegeven hoeveel gegevens dit per fase bedroeg.

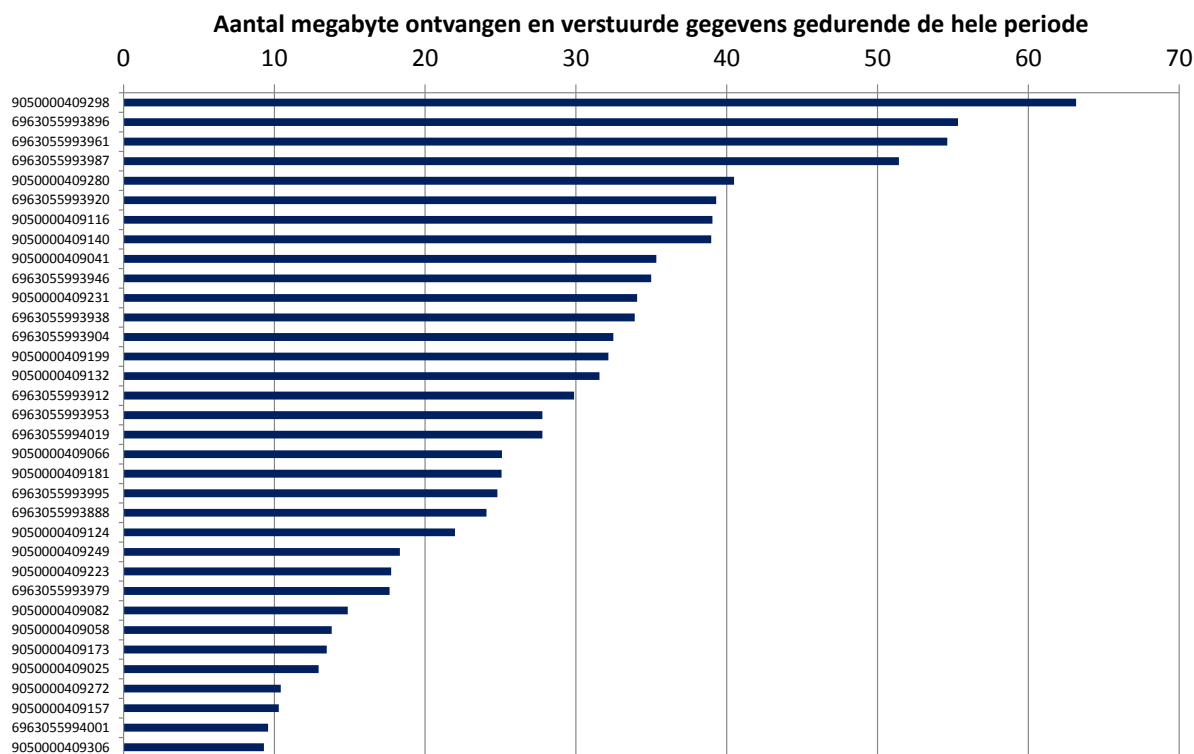


Figuur 83: Aantal megabyte aan gegevens dat per fase door de OBUs ontvangen en verstuurd werd.

De verschillen tussen de fasen waren te verklaren doordat niet alle proefpersonen hun OBU op hetzelfde moment kregen, en voor een aantal onder hen fase 2 (wedstrijd) iets later begon dan voor de anderen.

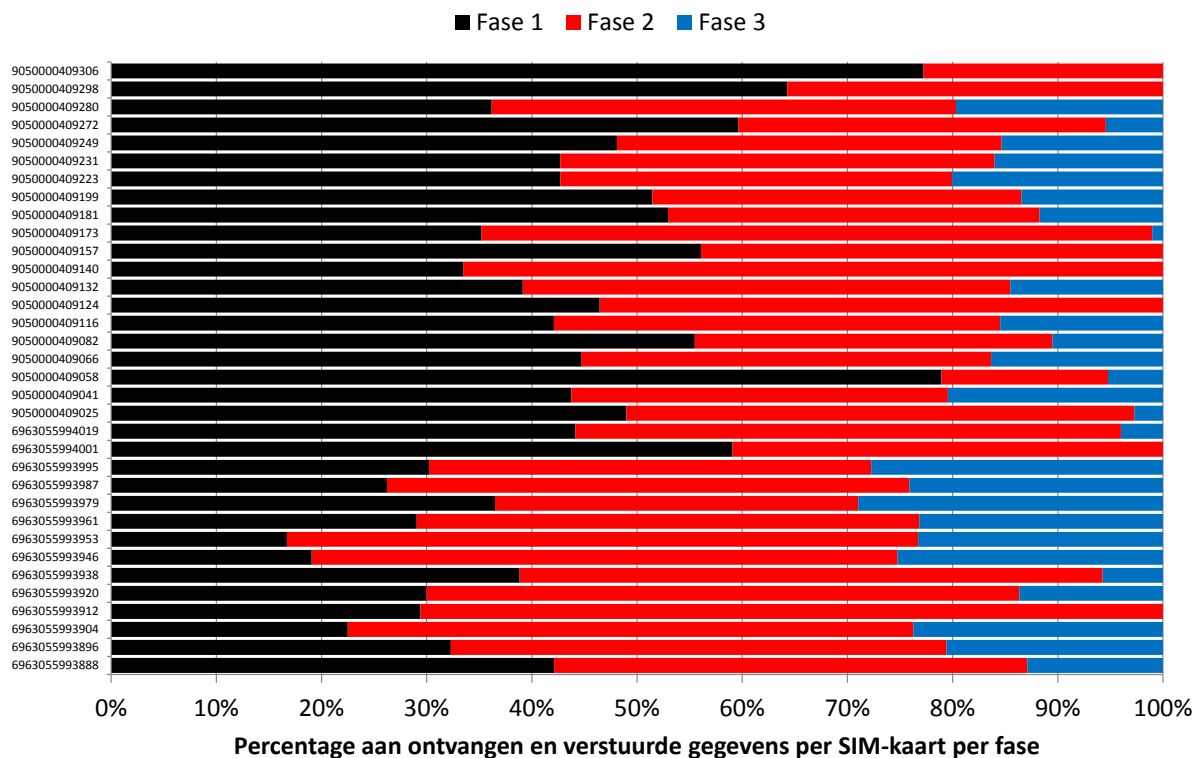
In analogie met de privacy en security aspecten (zie ook Sectie 2.4), had de telecommunicatiebeheerder geen toegang tot de persoonsgegevens van de proefpersonen. Er bestond in diens databank enkel een koppeling tussen het nummer van de SIM-kaart en het identificatienummer van de OBU.

Kijken we naar het verbruik per actieve SIM-kaart, dan kregen we de resultaten in Figuur 84, waarbij we dit ordenden van hoog naar laag verbruik:



**Figuur 84: Aantal megabyte ontvangen en verstuurd gegevens per SIM-kaart gedurende de hele periode.**

Hieruit konden we afleiden dat er per SIM-kaart gemiddeld zo'n  $6,4 \pm 4,2$  megabyte aan gegevens per maand verstuurd werden. Splitsen we dit per SIM-kaart op naar de verschillende fasen, dan kregen we de resultaten in Figuur 85. Merk op hoe sommige SIM-kaarten bijna geen gegevens communiceerden gedurende fase 3 (nagedrag), wat overeenkwam met proefpersonen die gedurende die periode zeer weinig ritten reden. De verdeling per SIM-kaart over de verschillende fasen volgde vrij goed de informatie die ook in Figuur 83 getoond wordt.



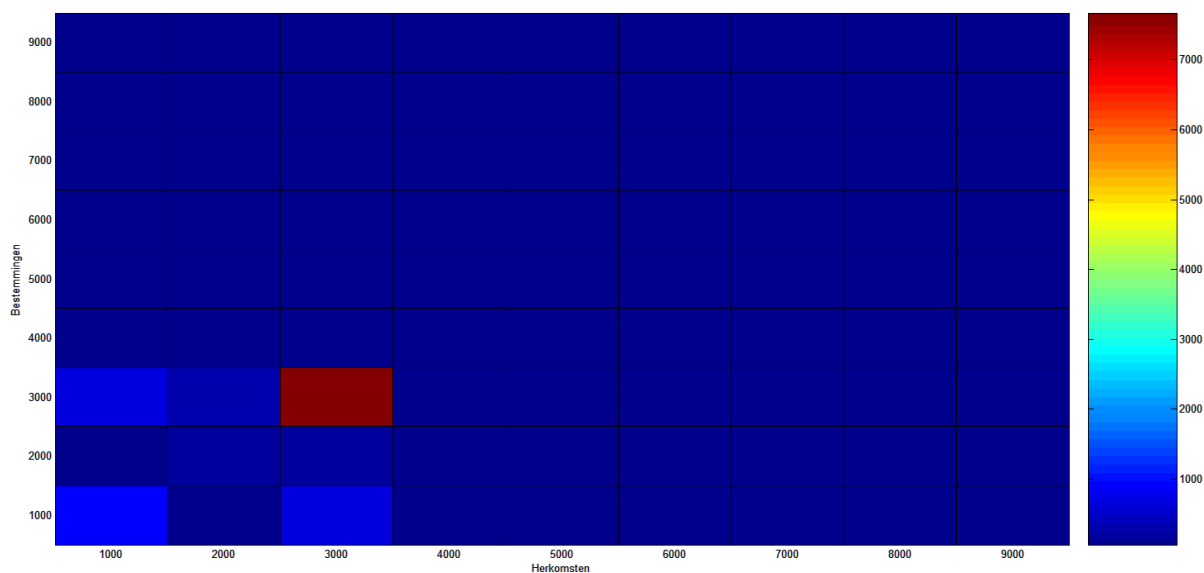
Figuur 85: Percentage aan ontvangen en verstuurd gegevens per SIM-kaart per fase.

Merk op dat deze statistieken louter informatief waren. Zij waren geenszins een voorbeeld voor een volledig uitgerolde kilometerheffing, waarin uiteindelijk de transactie- en communicatiekosten geoptimaliseerd zouden worden. Een uitgebreidere analyse werd wel in het IBBT ‘NextGenITS’ project uitgevoerd [IBB11]. Hierin werd onder andere ook gekeken naar de optimale communicatieduur en –grootte, gegeven de hoeveelheid informatie die verstuurd moet worden, de tijdstippen waarop dit moet gebeuren en de telecommunicatiekosten die hiervoor aangerekend worden.



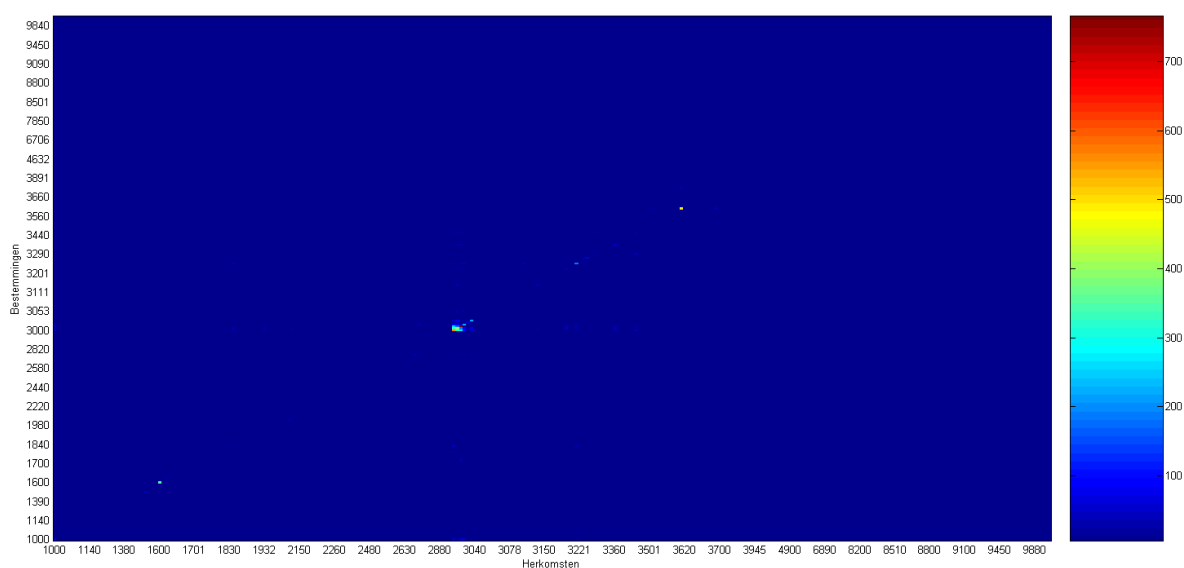
### 5.3 Analyse van de herkomsten en bestemmingen

Indien we de herkomsten en bestemmingen van alle ritten groepeerden per postcode, dan bleken alle proefpersonen zich te verplaatsen van **280 herkomsten** naar **271 bestemmingen**. Om al de verplaatsingen tussen elke herkomst en elke bestemming in kaart te brengen, bundelden we de totale aantallen aanvankelijk per groep postcodes (1000 tot en met 1999, 2000 tot en met 2999, ..., 9000 tot en met 9999). De **herkomst-bestemmingsmatrix** wordt grafisch voorgesteld in Figuur 86 (blauw duidde op weinig verplaatsingen, t.t.z., minder dan 1000, rood op veel verplaatsingen, t.t.z., meer dan 6000):



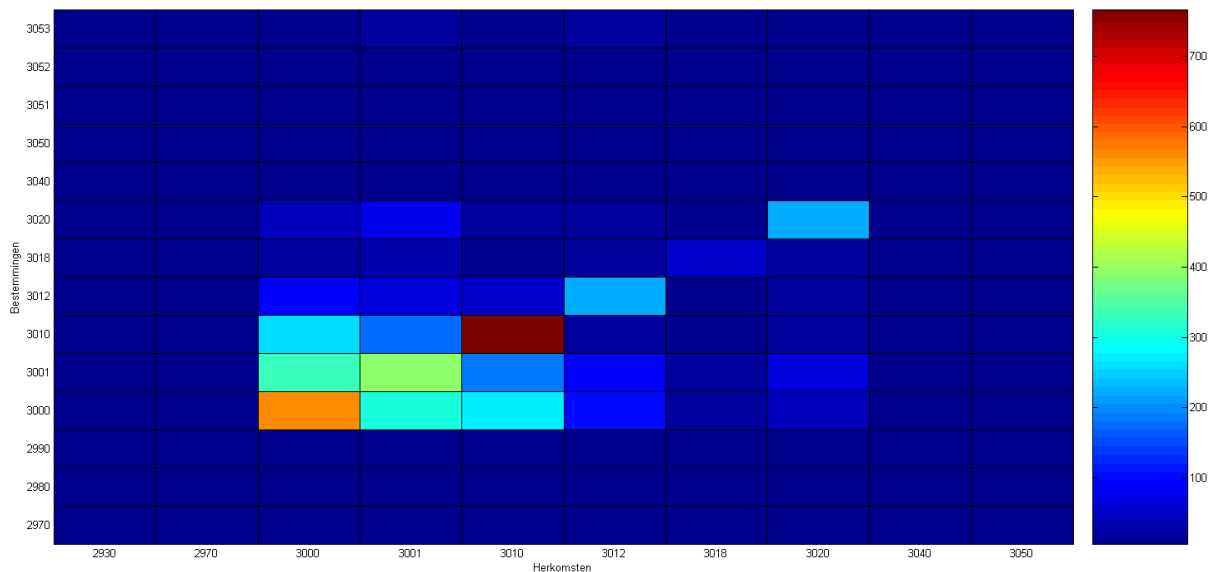
Figuur 86: Overzicht van de aantallen verplaatsingen tussen herkomsten en bestemmingen, gebaseerd op groepen postcodes (blauw/rood duidt op weinig/veel verplaatsingen).

We zagen dat de meeste verplaatsingen van en naar postcodes 3000 – 3999 gingen, dit is het gebied rondom Leuven. Daarnaast zagen we ook verplaatsingen in de regio Brussel ↔ Leuven en in het Brusselse zelf (postcodes 1000 – 1999). Indien we de postcodes niet groepeerden maar elk afzonderlijk als een herkomst en bestemming beschouwden, dan kregen we het resultaat in Figuur 87:



Figuur 87: Overzicht van de aantallen verplaatsingen tussen alle beschikbare herkomsten en bestemmingen afzonderlijk (blauw/rood duidt op weinig/veel verplaatsingen).

We zagen zoals verwacht een cluster met postcodes 3000 en verder. In Figuur 88 zoomde we in op dit gebied, wat een gedetailleerder beeld opleverde:

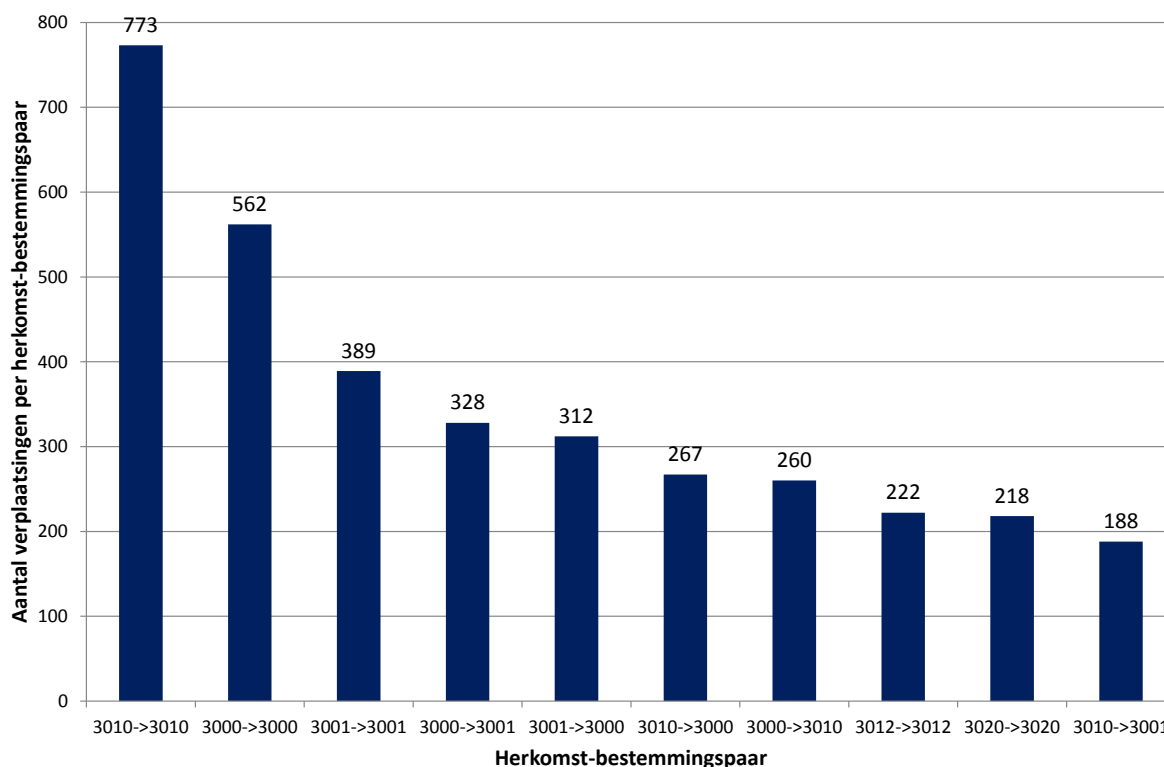


Figuur 88: Overzicht van de aantallen verplaatsingen tussen alle beschikbare herkomsten en bestemmingen afzonderlijk (ingezoomd beeld) (blauw/rood duidt op weinig/veel verplaatsingen).

Nader onderzoek leverde volgende Tabel met het aantal verplaatsingen in deze cluster op:

		Herkomsten					
		3000	3001	3010	3012	3018	3020
Bestemmingen	3000	562	328	260	92	15	39
	3001	312	389	170	72	31	76
	3010	267	188	773	50	7	23
	3012	99	91	24	222	18	14
	3018	13	23	5	10	60	6
	3020	48	62	15	16	13	218

Indien we al deze herkomst-bestemmingsparen ordenden volgens het aantal verplaatsingen, dan kregen we de grafiek in Figuur 89:



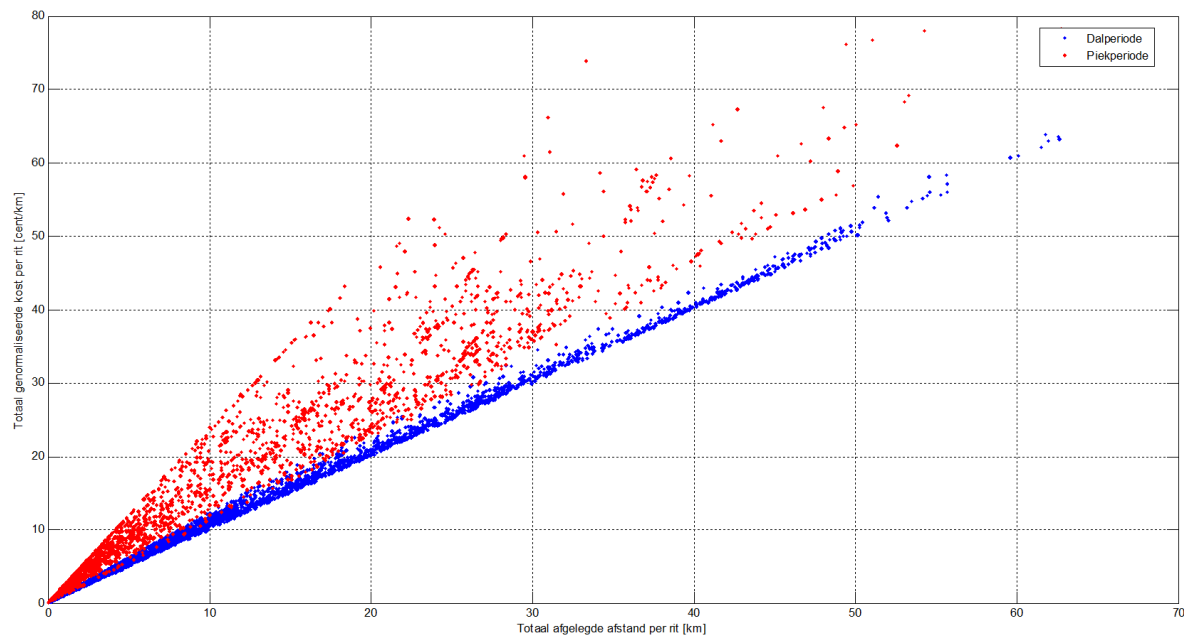
Figuur 89: Geordend overzicht van het aantal verplaatsingen per herkomst-bestemmingspaar.

Hieruit bleek dat de meeste verplaatsingen (zo'n 773) in Kessel-Lo (postcode 3010) gebeurden, gevolgd door een grote groep verplaatsingen (zo'n 562) in Leuven zelf (postcode 3000). Daarnaast waren er een groepje verplaatsingen (tussen de 300 en 400) in Heverlee (postcode 3001), tussen Leuven en Heverlee (postcodes 3000 en 3001) en vice versa.

## 5.4 Evolutie van de gemaakte genormaliseerde ritkosten per fase

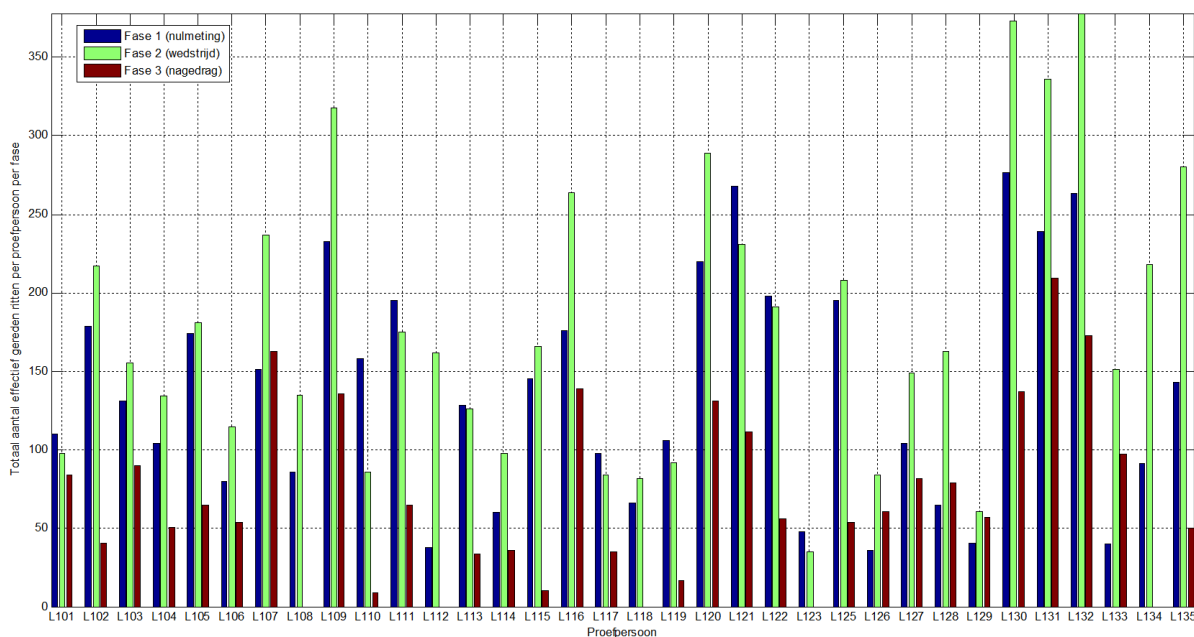
Daar waar de databank met effectief gereden ritten gebruikt werd om het verplaatsingsgedrag per rit te analyseren, vertrokken we voor de analyse van de gemaakte ritkosten van de databank met aangepaste ritten (zie ook Sectie 4.3.3.2). Deze databank bevatte per proefpersoon een overzicht van de wekelijkse afgelegde afstanden en gemaakte genormaliseerde ritkosten, waarbij rekening gehouden werd met diens referentiepatroon als maat voor representatief verplaatsingsgedrag.

In Figuur 90 geven we een overzicht van de correlaties tussen de totaal afgelegde afstand per rit en de overeenkomstige genormaliseerde kost die daarbij gemaakt werd. We splitsten de analyse op naar ritten gemaakt tijdens de dal- en piekperiodes, waarbij we zagen dat er een grote spreiding was in de piekperiode, in tegenstelling tot de relatief sterk positieve correlatie in de dalperiode. Deze observaties lagen in lijn met wat we verwacht hadden op basis van de opgestelde tariefschema's uit Sectie 3.5.2: er was daar ook veel minder variatie tussen de verschillende tarieven in de dalperiodes dan in de piekperiodes.



**Figuur 90:** Overzicht van de correlaties tussen de totaal afgelegde afstand per rit en de overeenkomstige genormaliseerde kost die daarbij gemaakt werd, opgesplitst naar ritten tijdens de dalperiodes (blauwe punten) en piekperiodes (rode punten).

Zoals in Sectie 4.3.3.2 reeds aangehaald, werden alle ritgegevens voorbereid waarbij het aantal ritten per proefpersoon kunstmatig aangepast werd zodat deze meer in lijn kwamen te liggen met elk van hun representatief verplaatsingsgedrag. In Figuur 91 geven we een overzicht van het aantal ritten per proefpersoon per fase (blauwe balken duiden op fase 1, groene op fase 2 en rode op fase 3). We zagen hier er voornamelijk in fase 2 (wedstrijd) meer ritten gereden werden, en dat er een grote spreiding op het aantal ritten zat tussen de proefpersonen onderling. Door sommige proefpersonen werd een beduidend klein aantal ritten in fase 3 gereden, wat er op kon duiden dat dit voor hen karakteristiek voor deze periode was (fase 3 duurde slechts 1 maand en begon voor velen met nog een deel kerstvakantie).



**Figuur 91:** Overzicht van het aantal ritten per proefpersoon per fase.

Zoals in Sectie 4.4.2 reeds aangehaald, werden de proefpersonen tijdens het gedragsexperiment beoordeeld aan de hand van 2 criteria, namelijk (C1) de procentuele verandering van de totale absolute kost van fase 1 (nulmeting) naar fase 2 (wedstrijd) en (C2) de relatieve kost per kilometer van fase 2 (wedstrijd). De analyse van de evolutie van de gemaakte genormaliseerde kosten per fase gebeurde in 3 stappen:

- 1) We berekenden eerst per proefpersoon voor elke week de totale absolute en mediane relatieve kosten (per kilometer); deze groepering en aanpassing van alle ritten per week gebeurde in de voorbereidingen zoals uiteengezet in Sectie 4.3.3.2.
  - ⇒ *Indien een proefpersoon bijvoorbeeld 8 weken in een bepaalde fase had, dan leverde deze stap 8 totale absolute kosten en 8 mediane relatieve ritkosten op.*
- 2) Vervolgens berekenden we per fase per proefpersoon de totale absolute kost en mediane relatieve kost over alle relevante weken.
  - ⇒ *Het resultaat van deze stap waren 102 absolute en 102 mediane relatieve ritkosten ( $102 = 3 \times 34$  voor 3 fasen en 34 proefpersonen).*
- 3) Tot slot namen we per fase de mediaan over alle zonet berekende kosten per proefpersoon, om deze dan onderling met elkaar te vergelijken.
  - ⇒ *Na deze bewerking schoten er nog 3 absolute en 3 mediane relatieve ritkosten over (telkens per fase over de 34 proefpersonen genomen).*

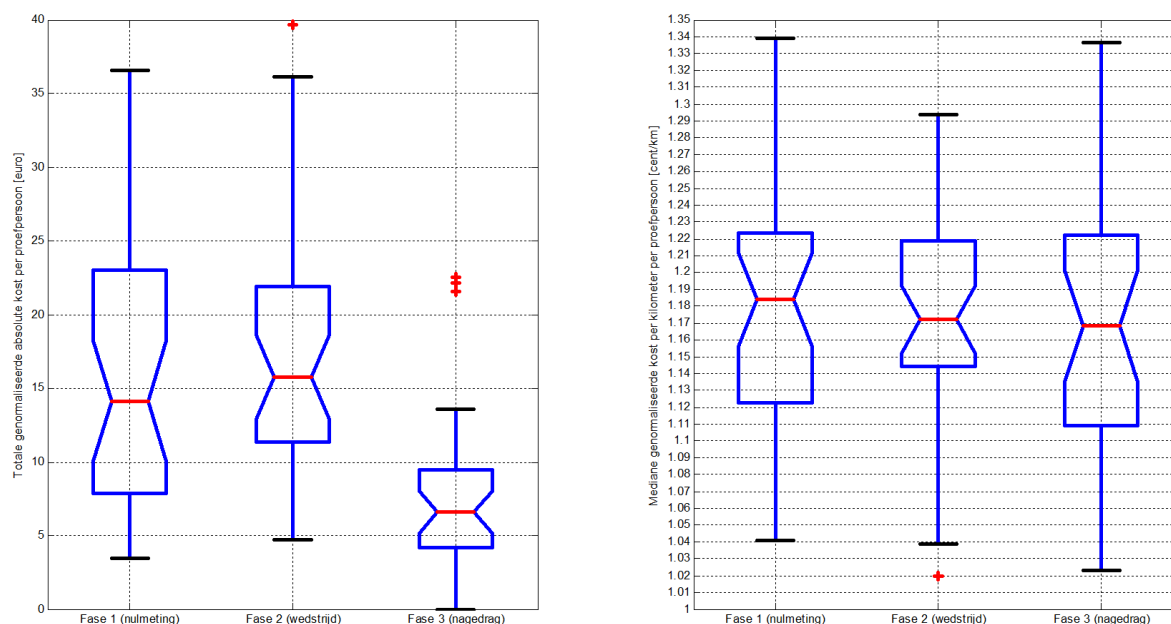
Deze werkwijze steunde dus deels op de medianen van ritkosten per week per proefpersoon berekend, en vervolgens daar dan weer de mediaan van genomen per fase over alle weken per proefpersoon heen, en tot slot de mediaan van per fase over alle proefpersonen heen genomen. Het bleek dat deze ‘mediaan van de medianen’ in de regel statistisch minder dan 1% van de mediaan van de hele groep afweek (dit voor even grote populaties gegevens), wat haar maatstaf als graadmeter voor de uitslag van het gedragsexperiment bevestigde.

In deze berekeningen steunden alle ritkosten op basis van de voorbereidingen en aanpassingen naar het representatief verplaatsingsgedrag per proefpersoon. Het was echter ook mogelijk om te vertrekken van de oorspronkelijke databank met ritgegevens, waarbij we dan voor elke fase apart per proefpersoon per rit de totale absolute genormaliseerde kost, de totaal afgelegde afstand, en de relatieve genormaliseerde kost als het quotiënt van beiden berekenden. Vervolgens konden we de mediaan van al deze absolute en relatieve ritkosten per proefpersoon nemen, en per fase de medianen van de relatieve genormaliseerde absolute en relatieve ritkosten van alle proefpersonen analyseren. In de praktijk bleken deze resultaten lichtjes af te wijken van onze eerder gevolgde methode, maar bleven de onderlinge verschillen wel gelijkwaardig.

De resultaten zijn te zien in de boxplots in Figuur 92. In de linkerplots zien we hoe de totale absolute kost (uitgedrukt in euro) van alle proefpersonen varieerde tussen de verschillende fasen; de rechterplots tonen de evolutie van de relatieve kosten per kilometer van alle proefpersonen. Hierbij vielen een aantal zaken op:

- Voor fase 2 werd een hogere absolute kost opgetekend dan voor fase 1 (de rode lijnen in de linkerplots). Dit was logisch aangezien er meer ritten in fase 2 voorkwamen (zie ook Figuur 91) aangezien sommige proefpersonen pas later in het experiment meededen.
- Voor fase 3 werden, in vergelijking met de andere 2 fasen, betrekkelijk weinig absolute kosten opgetekend. Er werden in die fase zelfs na opschaling ook beduidend minder ritten door de proefpersonen gereden (door sommigen zelfs geen), wat er op kon duiden dat deze fase mogelijk niet representatief genoeg is voor het nagedrag.
- De variatie tussen de absolute kosten van de verschillende proefpersonen was ook kleiner tijdens fase 2 dan tijdens fase 1 (te zien aan de grootte van de blauwe balkjes in de linkerplots, en de kleinere blauwe schuine streepjes).
- De relatieve kosten per kilometer gedurende fase 2 kwamen lager te liggen dan gedurende fase 1 (rode streepjes in de rechterplots), wat erop duidde dat de groep zich in zijn geheel verbeterd had.

- Daarenboven was de variatie in de relatieve kosten per kilometer ook lager tijdens fase 2 dan tijdens fase 1 (te zien aan de grootte van de blauwe balkjes in de rechterplots, en de kleinere blauwe schuine streepjes).



Figuur 92: Statistische boxplots van de verdelingen van de totale genormaliseerde absolute kosten per proefpersoon per fase (*links*) en de mediane genormaliseerde relatieve kosten per kilometer per proefpersoon per fase (*rechts*).

In volgende Tabel geven we een overzicht van de mediane absolute en relatieve kosten, samen met hun mediane absolute afwijkingen (MAD):

	Absolute kost [euro/maand]		Relatieve kost [cent/km]	
	Mediaan	MAD	Mediaan	MAD
Fase 1	€ 14.1	€ 10.2	1.1841	0.0644
Fase 2	€ 15.7	€ 8.3	1.1719	0.0586
Fase 3	€ 6.6	€ 3.9	1.1683	0.0822

Het bleek dat alle proefpersonen samen hun mediane absolute kost met zo'n 11% steeg van fase 1 (nulmeting) naar fase 2 (wedstrijd). Tegelijk verbeterden ze wel hun relatieve kost met 1% procent.

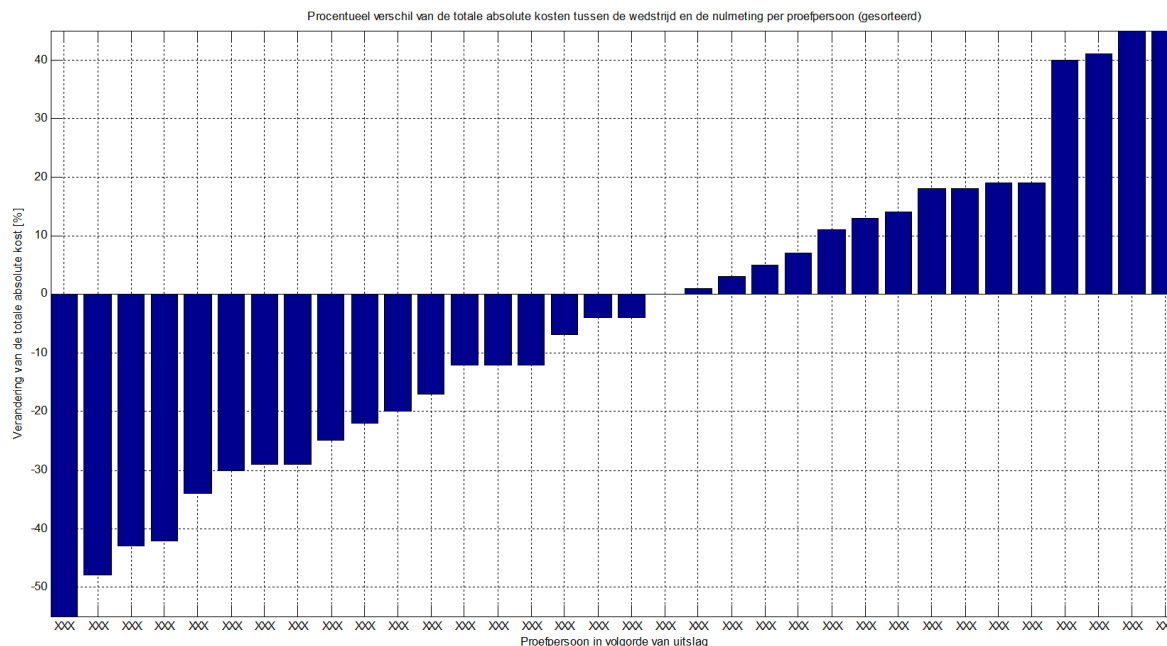
## 5.5 Uitslag van de wedstrijd

Voor de berekening van de uitslag van de wedstrijd (fase 2) werden eerst, zoals in Secties 4.3.3.2 en 5.4 reeds besproken, alle ritten genormaliseerd en werd er per proefpersoon rekening gehouden met diens referentiepatroon als maat voor representatief verplaatsingsgedrag. Zelf dienden zij, zoals in Sectie x vermeld, rekening te houden met 2 criteria, namelijk:

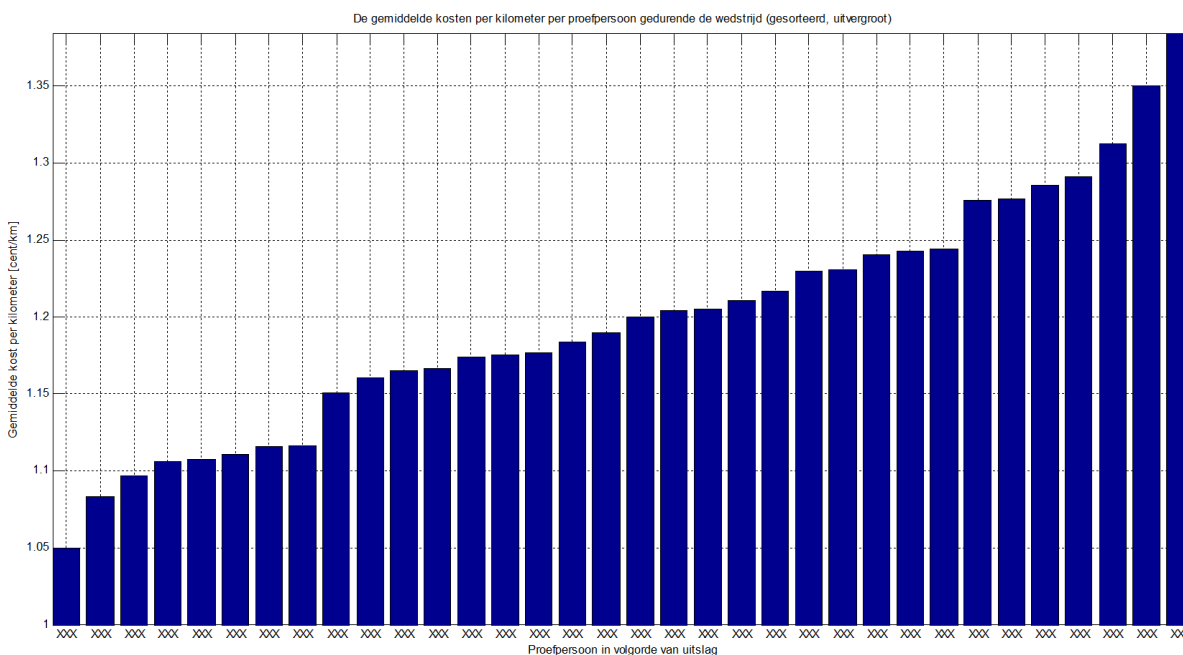
(C1) de procentuele verandering van de totale absolute kost van fase 1 (nulmeting) naar fase 2 (wedstrijd) en

(C2) de relatieve kost per kilometer van fase 2 (wedstrijd).

De rangschikking van de proefpersonen volgens beide criteria werd weergegeven in Figuur 93 en Figuur 94, respectievelijk. Om de privacy te beschermen werd in dit verslag de uitslag van de proefpersonen anoniem gehouden.



Figuur 93: Overzicht van de procentuele verandering van de totale absolute kost van fase 1 (nulmeting) naar fase 2 (wedstrijd) voor alle proefpersonen gerangschikt (= criterium C1).



Figuur 94: Overzicht van de relatieve kost per kilometer van fase 2 (wedstrijd) voor alle proefpersonen gerangschikt (= criterium C2).

We zagen dat voor criterium C1 de ‘goedkoopste’ proefpersoon een verbetering van ruim 50% in absolute kost had, terwijl de ‘duurste’ proefpersoon ruim een 50% hogere absolute kost in fase 2 had. Het bleek dat zo’n 53% van de proefpersonen hun gedrag op deze manier verbeterden.

Qua criterium C2 bleek dat de ‘goedkoopste’ proefpersoon een relatieve kost van zo’n 1,05 cent/kilometer had, terwijl deze voor de ‘duurste’ proefpersoon ruim 1,35 cent/kilometer bedroeg (wat zo’n 39% duurder was). Daarnaast berekenden we ook dat zo’n 56% van alle proefpersonen hun eigen relatieve kost verbeterden van fase 1 naar fase 2.

Interessant om weten was dat van fase 2 (wedstrijd) naar fase 3 (nagedrag) toe, 65% een gelijkaardige of hogere absolute kost had, en tot 74% van de proefpersonen een gelijkaardige tot hogere relatieve kost had en bijgevolg herviel richting hun oorspronkelijk representatief verplaatsingsgedrag.

De rangschikking volgens C1 en C2 waren per proefpersoon meestal verschillend, en soms heel uiteenlopend. Beide criteria beklemtoonden het verplaatsingsgedrag van de proefpersonen elk op een andere manier. Om een unieke winnaar uit te roepen, werden ze dan – in overleg met de andere leden van het consortium – ook tot een finale rangschikking gecombineerd. Zoals reeds uitgelegd in Sectie 4.4.2, werd de eindrangschikking na een aantal gevoeligheidsanalyses bepaald als **het gemiddelde van de C1 en C2 rangschikkingen**. Dit betekende dat iemand die bijvoorbeeld goed scoorde voor C1, maar slechter voor C2, een meer gemiddelde eindscore zou behalen. Enkel zij die het zowel voor C1 als C2 goed deden, kwamen daarbij dan in aanmerking om de wedstrijd te winnen, wat een eerlijkere maatstaf vormde.

Omdat dit criterium enige gevoeligheid met zich meebracht (we konden op basis van C1 en C2 immers niet voor elke proefpersoon even goed doen aangezien we beide criteria met elkaar vermengden), besloten we om de effectieve eindrangschikking niet mee te delen. Wel hebben we de groep proefpersonen in 3 delen gesplitst, waarbij we een kopgroep met ‘goedkoopsten’, de ‘middenmoot’ en de rode lantaarn met de ‘duursten’ aflijnden, zoals te zien in volgende 2 Tabellen:

Testgebruiker	Eindgroep
LEUVEN101	2
LEUVEN102	1
LEUVEN103	3
LEUVEN104	3
LEUVEN105	2
LEUVEN106	1
LEUVEN107	3
LEUVEN108	1
LEUVEN109	3
LEUVEN110	1
LEUVEN111	1
LEUVEN112	1
LEUVEN113	3
LEUVEN114	2
LEUVEN115	1
LEUVEN116	3
LEUVEN117	3

Testgebruiker	Eindgroep
LEUVEN118	2
LEUVEN119	1
LEUVEN120	1
LEUVEN121	1
LEUVEN122	3
LEUVEN123	1
LEUVEN125	3
LEUVEN126	3
LEUVEN127	2
LEUVEN128	3
LEUVEN129	2
LEUVEN130	3
LEUVEN131	1
LEUVEN132	2
LEUVEN133	2
LEUVEN134	2
LEUVEN135	2

Groep 1	Groep 2	Groep 3
LEUVEN102	LEUVEN101	LEUVEN103
LEUVEN106	LEUVEN104	LEUVEN104
LEUVEN108	LEUVEN105	LEUVEN107
LEUVEN110	LEUVEN114	LEUVEN109
LEUVEN111	LEUVEN118	LEUVEN113
LEUVEN112	LEUVEN127	LEUVEN116
LEUVEN115	LEUVEN129	LEUVEN117
LEUVEN119	LEUVEN132	LEUVEN122
LEUVEN120	LEUVEN133	LEUVEN125
LEUVEN121	LEUVEN134	LEUVEN126
LEUVEN123	LEUVEN135	LEUVEN128
LEUVEN131		LEUVEN130

Proefpersoon ‘LEUVEN121’ werd uitgeroepen als winnaar van de wedstrijd, met proefpersoon ‘LEUVEN123’ op de 2<sup>e</sup> plaats.

Op het einde van het gedragsexperiment kregen alle proefpersonen ook een eigen individueel rapport met daarin een volledig overzicht van de afgelegde afstanden en gemaakte absolute en relatieve kosten per fase, inclusief het weggebruik tijdens de verschillende fasen (zie ook Sectie 4.4.3 voor een voorbeeld).



## 5.6 Resultaten kwalitatieve bevraging van de proefpersonen

Zoals in Sectie 4.5.2 reeds vermeld, werd op het einde van het gedragsexperiment aan elke proefpersoon een vragenlijst voorgelegd, en kregen ze de mogelijkheid om zelf feedback te geven. Van de 34 proefpersonen waren er 17 (= 50%) die de vragenlijst invulden.

- Op de vraag of ze hun gedrag tijdens de wedstrijd aanpasten, antwoordden er 10 van wel en 7 niet. Deze laatsten vonden in de regel dat ze reeds goed bezig waren. Een enkeling antwoordde dat hij/zij slechts tijdelijk van gedrag was veranderd.
- De groep was met 16 proefpersonen zo goed als unaniem in het antwoorden dat ze geen rekening met de wedstrijdbeloning hielden en dat de wedstrijdbeloning als prikkel om van gedrag te veranderen irrelevant was. Ze deden vooral mee omwille van het experiment; de beloning was voor sommigen gewoon een leuk extraatje.
- Over het feit of de proefpersonen voldoende vrijheid hadden om hun mobiliteitsgedrag aan te passen waren de meningen eerder verdeeld:
  - Zij die dit positief beoordeelden (8 proefpersonen), deden meer aan thuiswerken, namen vaker de fiets of het openbaar vervoer en vermijdden vaker sluiptwegen en piekperiodes (al was dit laatste niet altijd even verenigbaar met het gewenste verplaatsingspatroon).
  - De andere 9 proefpersonen vonden dat ze onvoldoende vrijheid hadden om zich aan te passen. De hoofdredenen hiervoor waren het moeten omgaan met vaste tijdstippen (onder andere de kinderen 's ochtends naar school brengen), een te beperkte keuze in het wegennet, wegomleggingen die gedurende 1 maand tijdens de wedstrijd hun keuze in de war stuurden, het gebrek aan alternatieven en in een gebied wonen dat reeds verzadigd was. We noteerden ook dat sommige proefpersonen duurder uitkwamen of langer onderweg waren indien zij hun gedrag aanpasten.
- Een belangrijke vraag peilde naar het duurzame karakter van het experiment, met name of proefpersonen bij hun veranderd gedrag bleven nadat de wedstrijd afgelopen was (tijdens fase 3). Hierop antwoordden 11 proefpersonen positief; bij de 6 anderen werd opgemerkt dat en middels het oude gedrag toch sneller op zijn of haar bestemming kwam. Ironisch genoeg bleek dat in tegenstelling tot wat deze groep van 64% van de proefpersonen dacht, uiteindelijk toch, zoals eerder al opgemerkt in Sectie 5.5, zo'n 65% tot 74% van hen herviel richting hun oorspronkelijk representatief verplaatsingsgedrag. Dit toonde aan dat mensen zichzelf niet altijd even goed kunnen inschatten. Een proefpersoon maakte hierbij wel een interessante opmerking: zolang de OBU in de wagen zat, werd de proefpersoon erop attent gemaakt dat hij/zij 'weer in de auto was gestapt'.

Tot slot kregen de proefpersonen nog de kans om zelf opmerkingen te geven. Dit leverde volgende resultaten op:

- Piekperiodes afhankelijk van de locatie en rijrichting maken. Zij waren ook meer geschikt voor autosnelwegen dan voor het onderliggend wegennet.
- De kilometerheffing niet op alle lokale wegen laten gelden aangezien deze vaak onvermijdbaar waren en veel mensen er langs wonen. Het tijdsaspect dient evenwel behouden te worden aangezien dit als zeer goed werd beoordeeld.
- Het was soms moeilijk om zelf het gedrag aan te passen door gedurende verschillende tijdsperiodes te rijden.
- Het huidige tarief voor lokale wegen werd door sommigen als te laag aanzien om het sluipverkeer rond Leuven naar de secundaire wegen af te leiden.
- De gebruikerservaring kon nog beter door middel van een eenvoudigere gebruikersomgeving op de persoonlijke pagina's op de back-end server (een enkeling vond het overzicht per rit te ingewikkeld en onoverzichtelijk; het overzicht per wegtype werd door die persoon ook als niet relevant bevonden).
- Een overzicht met advies over de snelste en/of goedkoopste route zou handig geweest zijn.
- Een enkele proefpersoon wenste meer feedback via de OBU; er werd echter niet verder gespecificeerd welke extra feedback dan wel gewenst was.
- Vermits een aparte GPS en de OBU dezelfde 12V-voeding gebruikten, moest tijdens bepaalde trajecten de OBU soms wijken voor de GPS. Niettemin begreep men dat deze proeftuin meer een testomgeving (*'proof-of-concept'* opstelling) was, waardoor dit niet als hinderlijk werd ondervonden.

Op de slotvergadering na fase 3 (nagedrag) werd niet alleen een prijsuitreiking georganiseerd, maar kregen alle proefpersonen ook de resultaten van de proeftuin te horen en kregen ze de kans om hun ervaringen onderling uit te wisselen en eigen vragen uit te laten klaren.

➔ **Al bij al werd het gedragsexperiment door bijna alle proefpersonen als 'een leuke ervaring' bestempeld. Deze gedachte reflecteert de positieve instelling waarmee zij aan het experiment deelnamen.**

## 6. Welke systemen bestaan er in andere steden?

In deze Sectie geven we ter illustratie een beknopt overzicht van enkele systemen van een kilometerheffing voor personenwagens, die in andere steden werden toegepast, waarvan het merendeel in het buitenland. We bekeken achtereenvolgens volgende niet-exhaustieve voorbeelden:

- Mechelen (België).
- London (Verenigd Koninkrijk).
- Singapore (Zuid-oost Azië).
- Stockholm (Zweden).
- Assen (Nederland).

### 6.1 Mechelen (België)

In de binnenstad van Mechelen heeft het stadsbestuur sinds 7 december 2011 een zone gecreëerd welke autoluw is tussen 11u en 18u<sup>25</sup>. Deze zone kadert in het nieuwe circulatieplan; doelstelling was om het autoverkeer fel te verminderen, meerbepaald het percentage sluipverkeer waarvan men denkt dat dit tussen de 20% en 30% ligt. De verhoging van de leefbaarheid en de bereikbaarheid stonden hierbij centraal., waarbij men in het kader van verkeersveiligheid de maximaal toegelaten snelheid in de binnenstad tot 30 km/u beperkte. Verder werden randparkings voorzien zodat maximaal op het zogenaamde STOP principe (*‘Stappen, Trappen, Openbaar vervoer, Privaat vervoer’*) kon ingezet worden.



Met ‘autoluw’ bedoelt de Stad dat het altijd toegankelijk is voor voetgangers en fietsers, en gedurende een bepaalde venstertijd niet toegankelijk voor gemotoriseerd verkeer (zoals auto’s, moto’s, ...). Uitzonderingen, waaronder lijnbussen en taxi’s, zijn evenwel mogelijk door middel van tijdelijke en permanente vergunningen die men kan aanvragen. Laden en lossen wordt integraal verplaatst naar het tijdsslot van 18u ’s avonds tot 11u ’s voormiddags.

De controle gebeurt door een systeem van 11 camera’s die aan nummerplaatherkenning doen en in de binnenstad verspreid opgesteld werden. Wie zonder geldig bewijs toch de zone in- of doorrijdt, dient een verkeersboete van 50 euro te betalen.

<sup>25</sup> <http://www.mechelen.be/autoluw/>

## 6.2 Londen (Verenigd Koninkrijk)

Sinds februari 2003 bestaat in Londen de zogenaamde ‘congestion charge’ (CC); hierbij wordt een heffing opgelegd in een afgebakend gebied in centraal Londen, gedurende werkdagen tussen 7u en 18u [Lea06, Seg06, SF06]. Doel is onder andere om expliciet de congestie in het gebied tegen te gaan, en de stimulans om het openbaar vervoer te nemen en daarin te investeren. Het bedrag om de zone te betreden bedraagt een vlaktarief van 50 Britse pond per dag (dus geen onderscheid tussen piek- of dalperiodes), met boetes van 60 tot 187 Britse pond bij niet-betaling. Bepaalde milieuvriendelijke wagens mogen gratis in het gebied rijden, bijvoorbeeld een wagen met Euro-5 norm die een CO<sub>2</sub> uitstoot lager dan 100 gr/km heeft.

De detectie van de voertuigen gebeurt aan alle toe- en uitgangen van het gebied, op basis van camera’s die nummerplaatherkenning doen. Er was een grote politieke steun voor de invoering van de tol, mede doordat het van in het begin zeer duidelijk was waar de opbrengsten naartoe zouden gaan. Ook hield men een publieke consultatie van zo’n 18 maanden, wat tot een groot maatschappelijk draagvlak leidde. Factoren die een sterke rol speelden waren de zware congestie in het gebied, een goed uitgebouwd openbaar vervoersnetwerk, het feit dat London een zekere politieke autonomie waarbij het een daadkrachtige en toegewijde keuze maakte.



De impact van de tolheffing werd goed bemeaten, waarbij men op voorhand detectieapparatuur installeerde om de lange-termijntrends in kaart te kunnen brengen. Men vermeldt cijfers tot 30% vermindering in het aantal belaste voertuigen in het gebied, en tot 22% in verbetering van de gemiddelde reistijd in het gebied. De luchtkwaliteit nam toe, samen met het gebruik van het openbaar vervoer.

## 6.3 Singapore (Zuid-Oost Azië)

Singapore heeft al sinds 1998 een systeem voor elektronische tolheffing, namelijk hun ‘*electronic road pricing*’ (ERP) [Daa10, Goh02, MC98, MK04, OX05, PT04].

Aan het systeem gingen meerdere jaren van veelvuldige testen en demonstraties vooraf. Het werkt aanvullend op een eerdere beleidsmaatregel die de overheid oplegde, namelijk een beperking in het aantal beschikbare nummerplaten. Het systeem bestaat uit een 80-tal ERP poorten die op diverse plaatsen rondom Singapore’s centrum (*central business district*, CBD) opgesteld staan; elke poort is uitgerust met camera’s die aan nummerplaatherkenning doen. Elk voertuig heeft ook een verplichte OBU aan boord met daarin een digitale betaalkaart (de ‘*NETS CashCard*’, cfr. Proton). Telkens een voertuig onder een ERP poort passeert, gaat er een bepaald bedrag van de betaalkaart af (de communicatie tussen poort en OBU gaat via ‘*dedicated short-range communication*’, DSRC). Het bedrag is afhankelijk van het tijdstip door middel van ‘*shoulder pricing*’, waarbij het bedrag in stappen toe- en afneemt per half uur voor en na de piekperiodes.

Indien een voertuig niet met OBU is uitgerust, of het krediet op de betaalkaart is ontoereikend, dan wordt binnen 2 weken een boete per post naar de eigenaar van de nummerplaat opgestuurd. Het is evenwel mogelijk om, voor bijvoorbeeld buitenlands-geregistreerde voertuigen, een OBU te lenen, of een dagelijks vlak tarief te betalen. Privacy kwesties konden ook tot een minimum herleid worden, aangezien het hier een actief systeem betrof waarbij de financiële transacties direct via de digitale betaalkaart gebeurden (de transacties zelf werden in de OBU bijgehouden). Daarnaast stelde de overheid dat ze alle andere informatie omtrent transacties binnen de 24 uren uit het centrale computersysteem zou wissen.



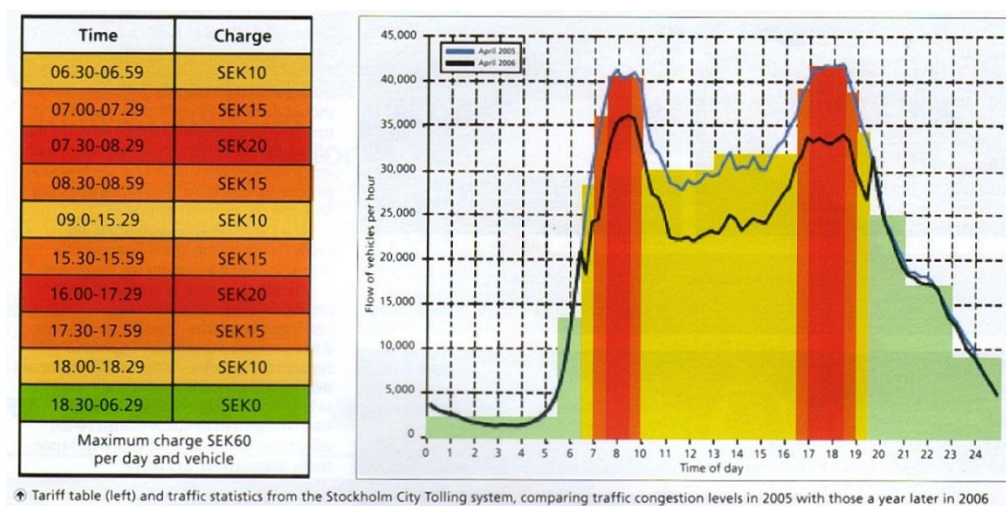
Singapore’s elektronische tolheffing had meerdere effecten, waarbij in het gebied onder andere het aantal voertuigen met 13% daalde en de gemiddelde snelheid met 20% steeg. Ook nam het aandeel carpoolen toe, en verspreidde het verkeer zich ook in de daluren waarbij de capaciteit van de wegen dus beter benut werd.

Recentelijk werd ook geëxperimenteerd met een prijszetting die in real-time varieerde al naargelang de verkeersdrukke (deze wordt via een model tot een uur in de toekomst voorspeld, gebaseerd op real-time actuele metingen en historische gegevens). Door middel van geschatte curves die de gemiddelde snelheid van het verkeer uitdrukten in functie van de verkeersdrukke, kon het tarief aangepast worden op basis van de voorspelde verkeersdrukke. Door deze actieve vorm van verkeerssturing, trof de overheid een beslissing om ernaar te streven dat men een minimale gemiddelde snelheid op expresswegen (45 tot 65 km/u) en stadswegen (20 tot 30 km/u) kon rijden (hoe meer verkeer, hoe lager de snelheid, hoe hoger het tarief, en vice versa) [Kia02].

## 6.4 Stockholm (Zweden)

In Stockholm werd in augustus 2007 besloten om een taks in te voeren voor voertuigen die het stadscentrum in willen rijden [Eli08]. Aan deze beslissing ging een heel proces ter voorbereiding vooraf, waarbij men in 2006 eerst gedurende 7 maanden als proef de taks invoerde, vervolgens in september 2006 een referendum met de bevolking hield, waarna dankzij een pro-meerderheid een positief besluit werd genomen om de taks permanent in te voeren.

De taks wordt enkel geheven op werkdagen (met uitzondering van de maand juli), telkens tussen 6u30 en 18u30. Het betreft hier een variabel tarief, dat in intervallen van 30 minuten stapsgewijs varieert naar de piekperiodes toe (cfr. 'shoulder pricing'); zie ook Figuur 95. Er bestaan uitzonderingen voor bijvoorbeeld bussen en voertuigen met alternatieve brandstoffen.



**Figuur 95:** Een fijner afgestemde tariefbepaling bij een cordontol in Stockholm; tijdens en rond de piekuren is het tarief hoger, daarbuiten is het gradueel lager.

Het systeem bestaat uit onbemande elektronische controlepunten die aan alle toegangswegen in het gebied opgesteld staan. Er werd gebruik gemaakt van camera's voor nummerplaatherkenning, in combinatie met 'dedicated short-range communication' (DSRC) radars die OBU's in voertuigen scanden. Vermits de nummerplaatherkenning zeer goed werkte, besloot de overheid om bij de installatie van het permanente systeem de DSRC radars te laten vallen, wat de operationele kosten naar beneden deed gaan. Op het einde van de maand krijgt elke eigenaar van een gedetecteerde nummerplaat een factuur in de bus, die al dan niet via domiciliëring betaald moet worden.



De hoofddoelstelling van de taks was om de congestie in het stadscentrum te doen minderen, en de emissies te laten afnemen. Beiden leverden anno 2010 een status van 20% minder congestie en 10% tot 14% minder emissies op, waarbij het openbaar vervoer eerst beter uitgebouwd werd en ten gevolge van de taks meer gebruikt werd [Daa10]. De geïnde bedragen werden gebruikt om nieuwe wegen in en rond Stockholm aan te leggen, en werden bijgevolg niet herinvesteerd in het openbaar vervoer. Een ander neveneffect van de taks is dat de omzet van de handelaars in de stad groeide, daar waar men oorspronkelijk dacht dat de taks een negatief effect hierop zou geven.

## 6.5 Nederland

In Nederland bestaan er verschillende, rekeningrijden-gerelateerde projecten. We geven eerst een overzicht van wat de oorspronkelijke bedoeling op nationale schaal was, waarna we enkele gekozen projecten beknopt toelichten.

### 6.5.1 Anders Betalen voor Mobiliteit

Het systeem dat in Nederland ingevoerd zou worden sloot nog het dichtst aan bij wat in de proeftuin Leuven uitgebouwd werd [Rij01, TK11]. Er diende per gereden kilometer betaald te worden, waarbij het tarief afhankelijk was van de locatie, het tijdstip en het type voertuig (en men daarbij koos voor een technologische opzet op basis van GPS-gebaseerde metingen en OBUs). De kilometerheffing werd vorm gegeven voor het Nationaal Platform ‘*Anders Betalen voor Mobiliteit*’, waarvan de naam ook bijdroeg om maatschappelijk draagvlak te creëren in tegenstelling tot het vaak onpopulaire ‘*rekeningrijden*’. In het platform zetelden vertegenwoordigers van de ANWB, werkgevers en werknemers, de gemeenten en de milieubeweging.

Het onderscheid naar type voertuig gebeurde voor personenwagens en bestelwagens op basis van hun CO<sub>2</sub> uitstoot, en voor vrachtwagens op basis van hun toegestane maximummassa en indeling naar Euro-klasse. Daarnaast werd ook rekening gehouden met het type brandstof, zijnde benzine versus diesel of LPG (waarbij ook een brandstoftoeslag werd bepaald en voor diesel rekening werd gehouden met de uitstoot van roetdeeltjes). Het onderscheid naar tijdsperiode werd gemaakt door een standaard basistarief te hanteren, waarbij enkel op drukke trajecten met files (afhankelijk van de locatie) een spitstarief gold. Voor het onderscheid naar plaats maakte men het tarief afhankelijk van het type weg, zijnde snelwegen, provinciale wegen en doorgaande wegen. Op het tarief werden een aantal uitzonderingen voorzien, met name voor taxi's, bussen van het openbaar vervoer, de brandweer, ambulances, politie, ... Motoren zouden de vaste belastingen blijven betalen.

Om de invoering kostenneutraal te houden, zouden de vaste belastingen (dit zijn de aanschaf- (BPM) en wegenbelasting) verdwijnen. Met andere woorden, de automobilisten zouden er samen niet meer aan betalen. Initiële schattingen stelden dat 59% van de automobilisten minder zou gaan betalen. De tarieven kwamen voor 2012 neer op een gemiddelde van 3 cent per kilometer, waarbij tijdens de spits een extra heffing tot een totaal van 7 cent per kilometer zou leiden. Het plan was om dit basistarief tegen 2018 stapsgewijs tot gemiddeld 6,7 cent per kilometer op te trekken.

Als impact van de kilometerheffing berekende men 58% minder files en een 15% tot 20% verbetering van het milieu. Men verwachtte slechts een geringe toename van het gebruik van het openbaar vervoer; de grootste effecten zouden eerder piekspreiding en het gebruik van alternatieve routes zijn. Alle inkomsten zouden naar een zogenaamd ‘*Infra-fonds*’ gaan, dat de aanleg en het onderhoud van de wegen zou betalen.

Normaal zou de kilometerheffing vanaf 2012 ingevoerd worden (eerst voor de vrachtwagens, en vanaf eind 2012 voor de personenwagens), maar na de val van de Nederlandse regering werd deze aan de kant geschoven door het kabinet Rutte.

### 6.5.2 Sensor City Assen

In samenwerking met de provincie Drenthe en de gemeente Assen zetten een groep bedrijven een proefproject op, waarin men slimmer reizen mogelijk maakt door met behulp van dynamische verkeersmodellen, gekoppeld aan sensortechnologie, een beeld van de verkeerssituatie in de stad te vormen [Bur12]<sup>26</sup>. Hiermee wordt dan aan verkeersbeheersing gedaan en krijgen de reizigers op maat gemaakte verkeersinformatie.

<sup>26</sup> <http://www.sensorcity.nl/>

Een duizendtal proefpersonen hun personenwagens worden uitgerust met een OBU die alle ritten registreert. Zij krijgen ook tablet met navigatiesysteem en andere interessante apps voor parkeerinformatie, file informatie, multimodaal reisadvies et cetera. Er zijn ook een 500-tal proefpersonen geselecteerd om reisapps op hun smartphone te gebruiken. Al deze informatie wordt door de verkeersmodellen verwerkt, tezamen met de gegevens van meetlussen, Bluetooth detectoren en camera's die aan nummerplaatherkenning doen. Het reisadvies wordt gegenereerd op basis van voorspelde reistijden en evoluties van de beschikbare capaciteiten; de resulterende informatie wordt ook gebruikt om bepaalde installaties actief aan te sturen zodat het verkeer meer wordt gespreid en zo de doorstroming bevordert.

### 6.5.3 Spitsvrij

De doelstelling van spitsvrij, een lopende samenwerking tussen de gemeenten Hilversum, Utrecht en Amersfoort onder het Regionaal Koepelconvenant Mobiliteitsmanagement, is om de regio betere bereikbaar te maken en de doorstroming erin te verbeteren door de bestaande infrastructuur beter te benutten [Utr12]<sup>27</sup>. Dit probeert men te doen door een deel van de 60.000 automobilisten in de piekperiode te verleiden om hun reisgedrag te veranderen, wat uit preliminaire resultaten blijkt te werken (men streeft naar 8,5% van de groep). Daarnaast doet men ook onderzoek naar de invloed van prijsprikkels en innovatieve informatiediensten op het reisgedrag.

Alle proefpersonen (maximaal 5.000 wat genoeg is om een statistische schatting voor het gebied te krijgen) werden zo geselecteerd dat zij initieel gemiddeld meer dan 5 keer per week tijdens de ochtend- of avondpiek rijden, en ruim 5 kilometer van hun werk wonen. Hiervoor werden teaser campagnes opgezet waarin het project in sociale media en elders aangekondigd werd.

In het systeem wordt elke personenwagen uitgerust met een OBU, de zogenaamde S-Box; hiervoor werden speciale 'inbouwdagen' georganiseerd. Elke deelnemer krijgt via een persoonlijke pagina op de website ook 100% op maat feedback over zijn of haar reisgedrag. Hierbij wordt van een multimodale reisplanner gebruik gemaakt met daarin gecombineerd advies voor de fiets, openbaar vervoer en personenwagens. Daarnaast werden zij tijdens hun rit ook van vertragingen, hinder, wegenwerken, ... op de hoogte gehouden.

Het tarief wordt in dit project in de vorm van een maandelijks beloningsbudget gegoten, waarbij dit afhankelijk is van de kenmerken per proefpersoon, zijnde de afstand naar het werk en het aantal keren dat de wagen tijdens de nulmeting in de piekperiode werk gesignaleerd (het budget loopt uiteen van 60 euro tot maximaal 120 euro per maand). Het idee is dat reizigers geld en tijd kunnen verdienen als de piekperiodes op autosnelwegen mijden, zijnde tussen 6u30 en 9u30 's ochtends en 15u30 en 18u30 's avonds. Dus telkens zij in de piekperiode rijden, wordt een bepaald bedrag van hun beloningsbudget afgehouden. Een deelnemer mag hetgeen aan het einde van de maand overblijft houden (gemiddeld bedraagt dit zo'n 30 euro).

In het project heeft men een nauwe samenwerking met de werkgevers in de regio (een 60-tal op dit moment), dit om het mogelijk te maken dat werknemers bijvoorbeeld op andere tijden en locaties kunnen werken. Voor bijna 90% van de proefpersonen is het de eerste keer dat zij kennis maken met alternatieven voor het rijden tijdens de piekperiodes met hun wagen. Het project haalt, volgens preliminaire cijfers, zo'n 1,5% tot 2% van alle auto's uit de piekperiodes. De uitdaging zal zijn om de proefpersonen hun gewijzigde gedrag te laten behouden, nadat de financiële prikkel verdwijnt (cfr. fase 3 (nagedrag) in de proeftuin Leuven).

Merk op dat een gelijkaardig insteek wordt gebruikt in het mobiliteitsproject 'SLIM Prijzen op de regioing Arnhem Nijmegen', waarbij deelnemers een vergoeding krijgen indien ze niet in een bepaald gebied tijdens de piekperiode rijden [DVK11].

<sup>27</sup> <http://www.spitsvrij.nl/>



## 7. Slotbevindingen en aanbevelingen

In de volgende Secties geven een overzicht van de directe resultaten die het gedragsexperiment opleverde, waarna we dieper op enkele bedenkingen en kanttekeningen ingaan, om tot slot aanbevelingen voor een vervolgproject te formuleren.

### 7.1 Directe resultaten van het gedragsexperiment

De proeftuin toonde aan dat de techniek zich volledig heeft bewezen en klaar voor gebruik is. Vermits het in dit project om een testomgeving (*‘proof-of-concept’*) ging, werden een aantal aspecten niet volledig uitgebouwd. Er werden bijvoorbeeld naar uitbating van de dienst rekeningrijden toe onder andere geen serviceniveau-overeenkomsten (*‘service-level agreement’*, SLA) gemaakt zoals dat in een productie omgeving wel het geval zou zijn.

De proefpersonen legden in het gebied van de kilometerheffing bijna 11.000 ritten en 100.000 km af. Tijdens de effectieve test, werd er bij hen een aantoonbare en meetbare wijziging in hun mobiliteitsgedrag vastgesteld. Hiervoor werd een tariefstructuur opgezet waarbij de hoogte afhankelijk was van het type weg (autosnelwegen waren goedkoper dan secundaire en lokale wegen), het tijdstip waarop men reed (daluren waren goedkoper dan piekuren) en het type wagen (met name voor de verkeersbelasting).

Ruim de helft verbeterde zich persoonlijk doordat ze goedkoper gingen rijden. Alle proefpersonen reden samen 4% minder in de piekperiode op lokale wegen en maakten daarbij 5% minder genormaliseerde kosten. Tijdens de nulmeting en de wedstrijd werd zo’n 35% van alle afgelegde afstanden in de piekperiode gereden werden, en bijgevolg 65% in de dalperiode; dit kwam overeen met 44% van de genormaliseerde kosten in de piekperiode en 56% in de dalperiode. De mediane absolute kost van alle proefpersonen tezamen steeg met zo’n 11% van fase 1 (nulmeting) naar fase 2 (wedstrijd). Tegelijk verbeterden ze wel hun relatieve kost met 1% procent.

Nu er (fictieve) kosten werden aangerekend per afgelegde kilometer, gingen de proefpersonen ook bewuster met hun mobiliteit om. Er werd nagedacht over alternatieve vormen van vervoer, zoals bijvoorbeeld fiets of openbaar vervoer. Ook vertrok men voor of na de spits om de file, en bijgevolg een hogere kost, te vermijden.

Opmerkelijk was dat van fase 2 (wedstrijd) naar fase 3 (nagedrag) toe, 65% een gelijkaardige of hogere absolute kost had, en tot 74% van de proefpersonen een gelijkaardige tot hogere relatieve kost had. We konden dus stellen dat driekwart van de proefpersonen herviel richting hun oorspronkelijk representatief verplaatsingsgedrag nadat de kilometerheffing werd uitgeschakeld.

Globaal gezien zijn de resultaten in overeenstemming met het mobiliteitsbeleid van de Stad Leuven. Als positieve effecten noteerden we dat er minder maatschappelijke kosten waren, minder tijdsverliezen en files, en minder sluipverkeer op lokale wegen en in de piekperiode. Daarenboven verhoogde ook de leefbaarheid en verkeersveiligheid langs de lokale wegen.

Deze proeftuin maakte het concept van een slimme kilometerheffing tastbaar, en liet zien hoe met behulp van dit instrument het gedrag van bestuurders werd gewijzigd, de overheid (in casu de Stad Leuven) hiermee sturend kon werken en het kon laten aansluiten op haar mobiliteitsbeleid. Daarnaast werd ook extra inzicht verkregen op de verplaatsingen in en rondom het Leuvense, en hoe deze aansloten bij de observaties in het Ruimtelijk Structuurplan Leuven.

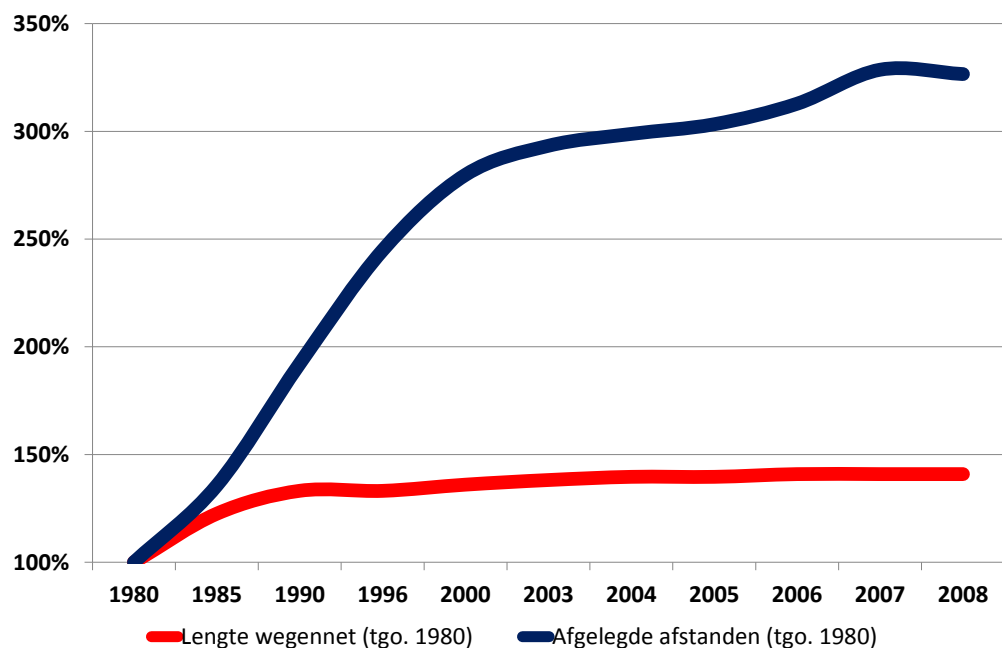
We hebben de resultaten ook vergeleken met deze van de proeftuin in het ‘Samenwerkingsverband Regio Eindhoven’ (SRE); deze bleken vrij goed in lijn met elkaar te liggen. Een vergelijking van de tarieven werd reeds uitgelegd in Sectie 0. Er werd daar zo’n 141.000 kilometer aan ritten gereden gedurende 3 fasen (2 keer 2 maanden, respectievelijk voor nulmeting en wedstrijd, en 1 maand voor het nagedrag). Van de 50 proefpersonen bleek een grote groep van zo’n 70% zijn persoonlijke kost per kilometer te verbeteren. Nadat de beloning werd weggenomen hervielen 2 op de 3 personen terug in hun oude verplaatsingsgedrag.

## 7.2 Bedenkingen en kanttekeningen

- De tarieven werden deels gebaseerd op de statistieken van de afgelegde afstanden en de samenstelling van het wagenpark, afkomstig van de Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer. Zoals reeds aangehaald in Sectie 5.2.4, verschilden deze van de resultaten omtrent weggebruik door de proefpersonen. In principe konden we ook a posteriori de tariefschema’s herberekenen op basis van de geobserveerde gereden kilometers, zodat deze het effectief gemiddelde rijgedrag van de proefpersonen weerspiegelden en niet louter dat van het Belgisch gemiddelde. Op zich maakte dit echter niet zo uit, aangezien we voor de wedstrijd enkel naar de relatieve veranderingen keken, en dat het gebruik van de huidige tariefschema’s geen afbreuk aan de resultaten deden. Het enige verschil zou waarschijnlijk geweest zijn dat een extrapolatie van de gemaakte kosten op jaarbasis meer kostenneutraal voor de proefpersonen zou zijn indien we hun eigen rijgedrag als maatstaf hanteerden.
- De uitwerking van de proeftuin leverde ook op dat het quasi onmogelijk is om voor iedereen goed te doen. Weliswaar varen we maatschappelijk gezien gemiddeld wel bij een slimme kilometerheffing, maar dat betekent ook dat sommigen beter of slechter af zijn dan anderen. Het bleek zeer moeilijk te zijn om een bepaald sturende mobiliteitsinstrument te laten aansluiten bij de mobiliteitsnoden van individuele personen. Het enige dat dan echt volledig eerlijk zou zijn, is een tarief per persoon en per traject apart, met piekperiodes afhankelijk van de locatie, rijrichting en congestie, met als gevolg dat de tariefzetting een vrij complex gegeven wordt.
- De keuze van de tariefschema’s dient in lijn met het beleid te zijn. Een slimme kilometerheffing vormt een instrument om te betalen voor de toegang en het gebruik van de infrastructuur. In de huidige vorm in deze testomgeving dient ze bijvoorbeeld niet om sluipverkeer op wegen te ontraden. Om de sociale weerstand weg te werken is het belangrijk dat de overheid het doel van de maatregel aflijnt (door bijvoorbeeld assen van vlot verkeer definiëren). Zonder een achterliggende mobiliteitsstrategie creëert het beprizen ervan een onzinnige situatie.
- In deze proeftuin werden geen analyses van het verplaatsingsgedrag per persoon gedaan, met name hoe proefpersonen hun individuele verplaatsingen tot ketens van ritten aan elkaar zouden rijgen. Dit zou dan leiden tot dag- en weekpatronen, routekeuze, vertrektijdstipkeuze en onderzoek naar de elasticiteiten bij het kiezen tussen verschillende vervoerswijzen. In principe was dit mogelijk, maar daar was in de proeftuin geen budget voor voorzien. Voor een vergelijkbare doorgedreven analyse waarin een 300-tal personen gedurende een jaar elke seconde werden gevolgd, verwijzen we naar een studie omtrent co-modaliteit [ACM12].
- In het kader van ‘open data’ merken we op dat overheden moeten gestimuleerd worden om hun meetgegevens voor iedereen vrij beschikbaar te stellen, dit in het kader van een democratisch en transparant beleid. Dit kan aan een betrekkelijk beperkte operationele kost gebeuren, waarbij de voordelen dit zeker de moeite maken (onder andere door de creatie van economische meerwaarde, dienstverleningen voortbouwend op deze meetgegevens, ...). Argumenten dat er fouten of onvolledigheden inzitten zijn minder relevant: dit vormt geen probleem, elke groep meetgegevens bevat wel fouten, presenteer de meetgegevens maar geef niet garantie dat ze perfect zijn en wacht ook niet tot dat wel zo zal zijn. Openstaan voor feedback is hierbij een must, wat er toe leidt dat de kwaliteit van meetgegevens enkel maar beter kan worden.

- Herinner dat, zoals uiteengezet in Sectie 3.1.1 file ontstaat doordat teveel mensen op hetzelfde moment op dezelfde plaats willen rijden. **De files oplossen is onmogelijk:** verkeer is een dynamisch iets, zeg maar een eigen biotoop. Er zal altijd wel file zijn. We kunnen er wel naar streven om ze te **beheersen**. Je doet dit alles ook niet in 1 keer. Beter is om het met kleine stukjes lokaal aan te pakken (dé oplossing bestaat niet), maar toch een goed en gericht globaal beleid in het achterhoofd te houden. Daarenboven is het vaak een combinatie van factoren (bijvoorbeeld ander rijgedrag, andere handhaving, andere communicatie, ...) die een maatregel succesvol maakt. Een slimme kilometerheffing is in deze geen wondermiddel, en vaak een ontoereikend instrument indien het enkel op zichzelf staand wordt gebruikt (waarbij afstemming met de andere Gewesten en het voeren van een globaal beleid met een geïntegreerde visie een noodzakelijkheid is). Het is daarom efficiënter om deze deel te laten uitmaken van een maatregelenpakket om congestie op verschillende niveaus te bestrijden (met onder andere kadering in een stedelijke context en een omarming van diverse **intelligente transportsystemen**, ITS, voor dynamisch verkeersmanagement, DVM):
  - Een gericht **parkeerbeleid** als onderdeel van een mobiliteitsplan, waarbij rekening wordt gehouden met dynamische real-time (eventueel voorspelde) parkeerinformatie, parkeerroutegeleiding, ... Een voorbeeld van een onderdeel hiervan waarbij in samenwerking met private partners ook een betalingsmechanisme werd uitgewerkt, is de iPark4U demonstratie [ML09]. Een goed parkeerbeleid is bijgevolg nodig om de concurrentiepositie van steden onderling en de aantrekkingskracht van een stad te behouden en te vergroten. Wagens die uit een stadscentrum geweerd worden, kan men aan de rand onderbrengen (bijvoorbeeld via randparkings), op voorwaarde dat er daarbij voldoende mogelijkheden voorzien worden om toch het centrum te bereiken (bijvoorbeeld via frequente pendelbussen, ...).
  - Optimalisatie van **verkeerslichtenregelingen**: gewone verkeerslichten hebben vaste rood- en groentijden, waar slimme verkeerslichten op rood of groen springen al naargelang de het aantal voertuigen dat er passeert. Daardoor kan het verkeer vlotter verlopen. Men stelt de lichten dan zo in, dat hoofdwegen bijvoorbeeld langer groen licht krijgen, en deze slechts rood worden indien er een voertuig of voetganger op een zijweg wordt gedetecteerd. Financieel is dit een heel intelligente oplossing: je kan grote winst boeken op het vlak van doorstroming en gezondheid, zonder dat het veel geld hoeft te kosten (de grootste kost is die van de aankoop en installatie van de sensoren). Men dient immers niets zuiver infrastructureel te wijzigen, enkel de bestaande signalisatie te optimaliseren. In de praktijk zien we dat veel verkeerslichten in Vlaanderen wel al een vraag-afhankelijke regeling hebben, maar dat de coördinatie ervan op kruispunten nog optimaler kan.
  - Bekijken van de tijdsinstellingen met **groene golven**: indien verschillende opeenvolgende kruispunten op een weg door verkeerslichten geregeld worden, dan kunnen deze zo op elkaar afgesteld worden dat een automobilist zo goed als altijd groen heeft wanneer hij naar het volgende kruispunt rijdt (en hierbij een gemiddelde rijdsnelheid aanhoudt). Ook hier kunnen tijdsinstellingen geboekt worden indien de groene golven goed afgesteld worden. Dit maakt ook dat het bijvoorbeeld niet aangeraden is om openbaar vervoer zomaar voorrang op dergelijke lichtenregelingen te geven (een onverwachtse voorrang aan dwarsverkeer onderbreekt namelijk het patroon van een groene golf). Daarenboven zijn dergelijke slimme verkeerslichtenregelingen doeltreffend in de zogeheten ‘*street canyons*’ (dit zijn straten die langs beide zijden geflankeerd worden door hoge gebouwen, zoals bijvoorbeeld de Wetstraat in Brussel), waar de uitlaatgassen meestal tussen de huizen blijven hangen of erboven blijven circuleren (zie ook 3.2.2.2 voor de schadelijke effecten van deze uitlaatgassen).

- Men kan maatregelen treffen om de **bezettingsgraad** te verhogen. Hiermee wordt aangeduid hoeveel mensen in een voertuig zitten tijdens een verplaatsing (deze worden gemeten en geteld met (inter)nationale statistieken, enquêtes, ...). Deze is afhankelijk van de vervoerswijze (auto, bus, trein, ...) en het motief van de verplaatsing (vrijetijd, zakelijk en pendelend). In België bedraagt ligt deze voor personenwagens gemiddeld rond de 1,65 personen/wagen [TML]. Niet alle plaatsen zijn zo maar direct bereikbaar met het openbaar vervoer, en carpoolen en carpoolparkings kennen slechts een beperkt succes want mensen willen uiteindelijk zelf de vrijheid hebben om te beslissen wanneer ze ergens naartoe gaan. Daarenboven is het voor- en natransport belangrijk en rijgen mensen hun verplaatsingen aan elkaar tot ketens (*'trip chaining'*) en dit over een hele dag. De bezettingsgraad verhogen kan door de ketens van verplaatsingen te doorbreken, wat vaak een grondige aanpassing van het gedrag en meer algemeen van het verplaatsingspatroon van mensen vereist (hierbij werken we niet langer naar multimodaliteit maar eerder naar **co-modaliteit** toe, waarbij de aparte delen van verplaatsingsketens bekeken worden vanuit een volledige integratie). Zoiets werkt vooral op bedrijfsniveau (via bedrijfsvervoersplannen, aanmoedigingen door meer flexibele werkuren, ...), waarbij werknemers van grote bedrijven hun vervoer op elkaar kunnen afstemmen. Vandaag de dag zijn er al vrij geavanceerde technologische oplossingen bedacht, waarbij mensen real-time via een website of een smartphone app kijken of zij met iemand kunnen meerijden of iemand met hen kan meerijden (dit wordt dynamisch carpoolen of *'ride sharing'* genoemd).
- Ons autosnelwegennet is sinds de jaren '50 vooral tot ongeveer 1990 sterk gegroeid tot ruim 1600 km (2 rijrichtingen samen). De verkeersvraag is daarentegen gestadig blijven groeien (zie ook Figuur 96).

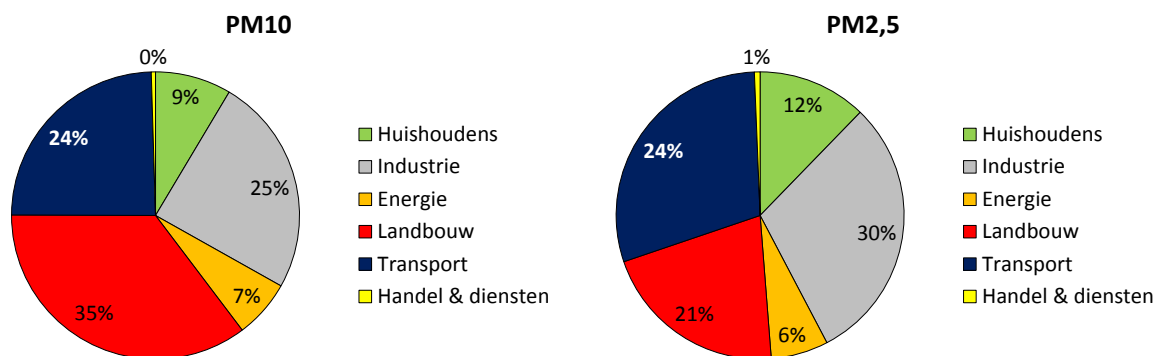


Figuur 96: Groei van het wegennet versus de afgelegde afstanden in het verkeer, uitgedrukt als een percentage ten opzichte van 1980.

Het blijft belangrijk om deels in nieuwe wegen te investeren. De oude structuur van ons wegennet was gericht op de vroegere lokale of lange afstandsverplaatsingen van stadskern tot stadskern. Dit past echter niet meer bij het huidige, moderne mobiliteitspatroon, waarbij er meer verplaatsingen tussen regio's zijn en waarvoor de auto het meest natuurlijke vervoersmiddel is. De uitbouw van een regionaal wegennetwerk kan hier soelaas bieden, door het wegennet overeenkomstig te laten evolueren (waarbij geen capaciteit van N-wegen wordt afnemen). Hiervoor dient men de capaciteit in het wegennet te vergroten daar waar het nodig is, en tezamen de betrouwbaarheid van het wegennet garanderen. Dit leidt tot **een robuust en hiërarchisch wegennet** met daarin een **opgewaardeerd samenhangend regionaal netwerk**. Dit is een vrij complex vraagstuk waarin ook ruimtelijke ordening dient betrokken te worden, zodat de maximaal toegelaten snelheid op en de vorm (beeld) van een weg overeenstemt met de functie van de weg. Daarenboven dient men zwarte punten ook te bekijken op het vlak van doorstroming, efficiëntie en milieu en niet louter op het vlak van verkeersveiligheid.

- Ook is een goede **informatie van de weggebruiker** broodnodig. De toekomst is op dit vlak weggelegd voor gepersonaliseerde verkeersinformatie, op maat van de individuele weggebruiker. Zoiets kan niet louter door de overheid gebeuren; er is nood aan samenwerking met de private sector. De overheid (bij monde van de media) kan files wel als een sociaal gegeven aankaarten (wat ook maakt dat lange verkeersbulletins blijven uitgezonden worden). Maar de echte finesses kunnen zij nooit gedetailleerd genoeg op bijvoorbeeld de radio brengen. De grootste rol is hier voor de overheid voornamelijk bij incidentele files weggelegd (bijvoorbeeld bij stakingen): daar helpt informatie op voorhand heel goed.
- De overheid kan daarenboven in het kader van de volksgezondheid een aantal maatregelen treffen die gericht zijn op de vermindering van de uitstoot van schadelijke gassen. We maken evenwel bij sommige maatregelen en de redenen er achter een aantal kanttekeningen, waaronder:
  - Reductie van broeikasgassen zoals CO<sub>2</sub>:
    - Men kan voertuigen minder kilometers laten rijden, een slimme kilometerheffing kan hier deels voor gebruikt worden.
    - De voertuigtechnologie kan verbeterd worden, door enerzijds via wetgeving emissiestandaarden op te leggen, en anderzijds marktgerelateerde instrumenten zoals subsidies en taksen te hanteren. Dit met betrekking tot zuinigere wagens, elektrische voertuigen, hybride voertuigen, ...
    - Zoals in Sectie 3.3.2 reeds vermeld, is brandstofverbruik 1-op-1 gerelateerd aan de uitstoot van CO<sub>2</sub>. Dit maakt dat internalisering van de hieraan gerelateerde externe kosten al voor een groot deel door middel van brandstofkosten afgedekt is.
  - ➔ We merken hierbij wel volgende aspecten op [DLN11]:
    - De belastingen op dieselwagens kunnen best op jaarbasis evenveel opleveren dan voor benzinewagens, met een hogere belasting voor oudere dieselwagens aangezien die beduidend meer vervuilen.
    - Een ton CO<sub>2</sub> besparen kost de industrie 'slechts' 25 euro, daar waar deze besparing door de bevoordeling van dieselwagens tegenover benzinewagens een kost van 1000 euro per ton draagt (analoog kan men vragen stellen bij hoge subsidies van elektrische voertuigen in België). In plaats van subsidies voor energiezuinige wagens bestaan er veel goedkopere manieren om CO<sub>2</sub> emissies te verminderen, zoals bijvoorbeeld een slimme kilometerheffing.

- Reductie van fijn stof<sup>28</sup> (PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub>) en ultrafijn stof (bijvoorbeeld PM<sub>0,1</sub>):
  - Een centrale vraag hierbij is: in hoeverre moet het verkeer aangepakt worden om hier iets aan te doen? Of anders gesteld: wat is de impact van transport op de concentraties?
  - Daar waar CO<sub>2</sub> een 'globaal pollutent' is, hebben emissies van (ultra)fijn stof voornamelijk een lokaal effect. De impact van verkeer op de luchtkwaliteit is dan ook vooral sterk in stedelijke omgevingen tijdens de piekperiodes. Niettemin bedroeg het aandeel van verkeer in de PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> emissies toch zo'n 24% in 2006, zoals te zien aan het donkerblauw gedeelte in Figuur 97 [VMM07].



Figuur 97: Verdeling van de uitstoot van PM<sub>10</sub> fijn stof (*links*) en PM<sub>2,5</sub> (*rechts*) per sector; transport (het donkerblauw gedeelte) heeft een bijdrage van zo'n 24%.

- Een van de manieren om de uitstoot van dergelijk fijn stof te verkleinen is met behulp van betere voertuigtechnologie. Dit kan voornamelijk via emissiestandaarden opgelegd worden (cfr. de Euronormen, Ecoscores, ...), subsidies voor roetfilters, lage-emissiezones (LEZ) rond steden in combinatie met goed uitgebouwd openbaar vervoer, ...
- ➔ We merken hierbij wel volgende aspecten op:
  - Het gunstige effect van een maatregel heeft onder andere te maken met de menselijke, fauna en flora blootstelling aan de schadelijke stoffen. Hierbij speelt vooral elementair koolstof ('*elemental carbon*', EC) een belangrijke rol in de gezondheidseffecten veroorzaakt door fijn stof.
  - Dit maakt dat maatregelen zoals het smogalarm slechts een impact hebben in het dichtbevolkte gebieden. De gezondheidsbaten van trager rijden op autosnelwegen in rurale gebieden zijn beperkt, aangezien er meestal weinig tot geen mensen binnen de 500 meter langs een autosnelweg wonen, waar de concentratie meetbaar hoger is maar waar de blootstelling dus zeer laag is. Het is daarentegen wel nuttig om dit te doen op ringwegen rond en toegangswegen tot verstedelijkte gebieden. In de steden zelf is de maatregel quasi zinloos gezien er hoe dan ook aan lagere snelheid wordt gereden in de stad. Het is beter om daar bijvoorbeeld lage-emissiezones in te stellen, waarbij het aantal gereden kilometers hetzelfde zal blijven doordat men gestimuleerd wordt tot nieuwe voertuigtechnologie [YVV11].

<sup>28</sup> Fijn stof zoals PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> zijn in de regel stofdeeltjes met een diameter kleiner dan respectievelijk 10 en 2,5 micrometer.

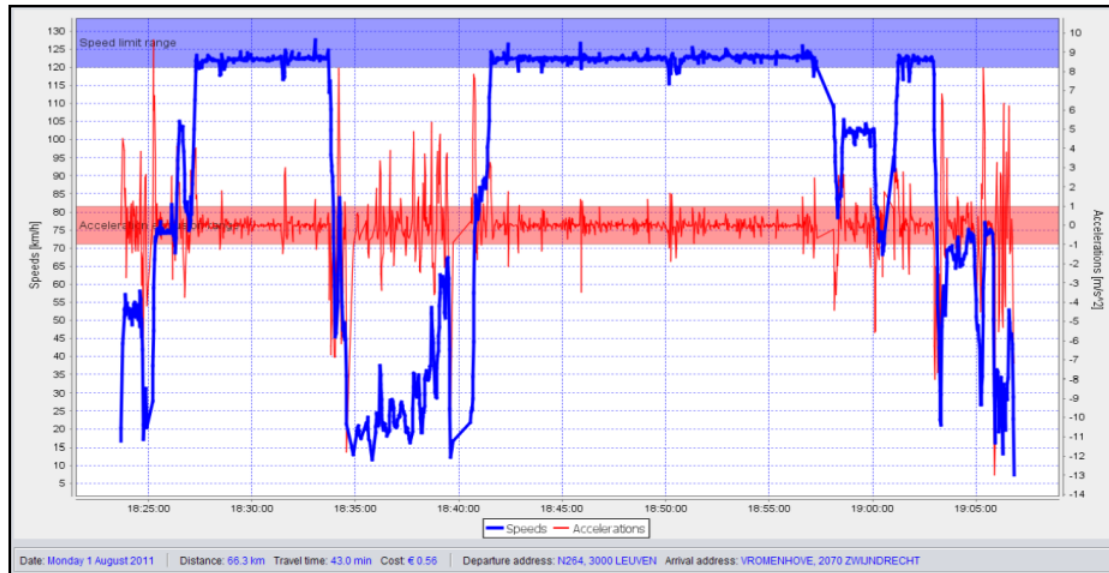
## 7.3 Aanbevelingen voor een vervolgproject

Gegeven de opgedane ervaringen en bekomen resultaten van de proeftuin, formuleren we in deze Sectie een aantal aanbevelingen voor een vervolgproject. Hierbij is het de bedoeling dat de effecten van de invoering van een kilometerheffing eens doorgedreven bestudeerd worden. Deze manier van werken, waarbij een wetenschappelijk onderbouwd en objectief oordeel over de effectiviteit van een kilometerheffing gevormd wordt, dient men als een kans aan te grijpen, in plaats van op voorhand zonder concrete argumenten of onderzoek deze af te schieten. Daarnaast is het van essentieel belang om de doelstelling scherp af te lijnen, zodat het gepaste instrument of een combinatie daarvan (met inbegrip van flankerende maatregelen) ingezet kan worden (bijvoorbeeld verandering van het aantal gereden voertuigkilometers, gebruik van fiets en openbaar vervoer, stimulatie van milieuvriendelijkere voertuigen, verandering van de gekozen routes, vermindering van het aantal verkeersslachtoffers, aanpassing van het vertrektijdstop, extra middelen genereren, (gedeeltelijke) internalisatie van de de externe kosten, ...).

- We stellen voor om een grootschaliger proefproject op te zetten, bijvoorbeeld in de GEN-zone en eventueel als een samenwerking tussen Vlaanderen, het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (BHG) en Wallonië. BHG heeft zich al meermaals positief uitgesproken over een kilometerheffing, en ook de Vlaamse regering<sup>29</sup> vindt dat het debat daaromtrent zeker gevoerd moet worden (gegeven dat er tussen de partijen onderling wel verschillen in invalshoek en uitwerking zitten). Niettemin is een samenwerking tussen verschillende Gewesten essentieel, aangezien files bijvoorbeeld al ver buiten de grenzen van BHG beginnen of eindigen en niet louter aan de ring rond Brussel. Het interessante aan de technologie zoals uitgewerkt in deze proeftuin, is dat het een zeer flexibele oplossing is die aan de verschillende verlangens van de gewesten kan voldoen (in principe kan elk lokaal bestuur diens eigen beleid hierin vinden). In Nederland werd destijds iets soortgelijks op touw gezet, waar het ‘Samenwerkingsverband Regio Eindhoven’ (SRE) een stimulans voor regionale samenwerking bood en initiatieven steunde voor de bevordering van de regionale mobiliteit en het milieu, en de aantrekkingskracht van de regio als high-tech proeftuin werd gepromoot.
- We mikken daarbij op een 1.000- tot 2.000-tal proefpersonen met verschillende demografische kenmerken (zoals bijvoorbeeld inkomen, wagenbezit, ...). Deze proefpersonen zouden gedurende een langere periode moeten gevolgd worden, waarbij de feedback naar hen best geautomatiseerd wordt. Het lijkt ons daarenboven belangrijk om de proefpersonen ook buiten hun personenwagen te volgen, bijvoorbeeld wanneer zij de fiets of het openbaar vervoer nemen. In het kader van de algemene ethische regels dient dan ook een akkoord met de privacy commissie bereikt te worden, waarin onder anderer wordt uitgewerkt wie in het proefproject met de gegevens werkt, ze verwerkt en aggregereert.
- In een dergelijk project dienen de sociale effecten (zoals op gevoeligheid voor inkomensklassen, sociale rechtvaardigheid, ...) doorgerekend te worden. Vooral het effect op de inkomensverdeling is initieel immers moeilijk te beantwoorden, aangezien er 2 effecten elkaar tegen werken: enerzijds hebben de minder bedeelde huishoudens vaak geen auto en gebruiken ze daarbij meer het openbaar vervoer, maar wordt anderzijds, eens ze auto hebben, het rijden ermee voor hen (relatief gezien) fors duurder (en dit is op zijn beurt dan weer afhankelijk van in hoeverre de andere gebruikskosten veranderen). Hierbij aansluitend dient ook bekeken te worden hoe de opbrengsten het best gebruikt kunnen worden en hoe de (auto)fiscaliteit eventueel hervormd dient te worden om een slimme kilometerheffing mogelijk te maken. Een gegeven hierbij is dat men dus niet enkel verkeersmodellen dient te gebruiken om de impact in te schatten, maar ook goede keuzemodellen.

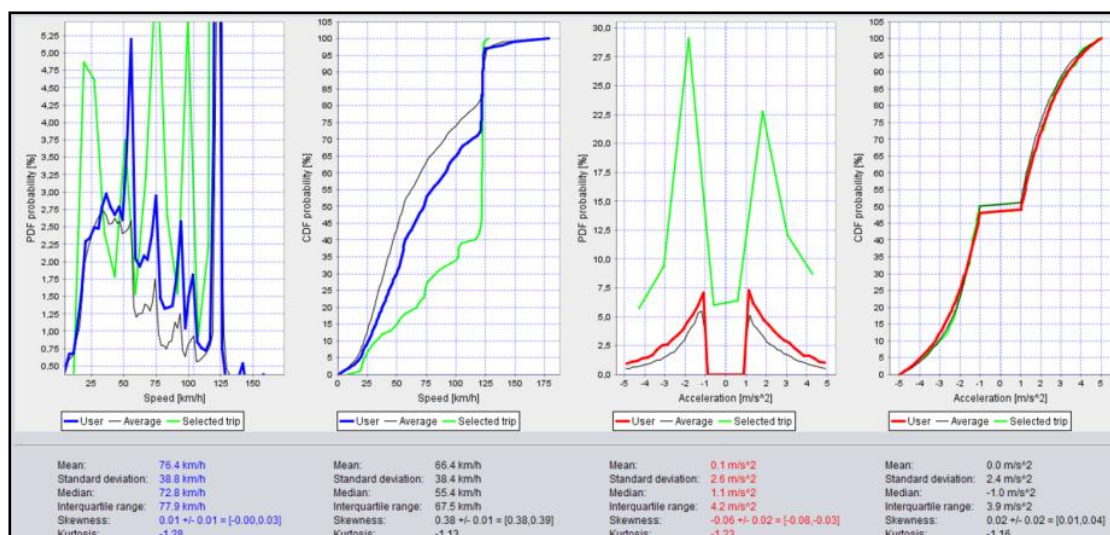
<sup>29</sup> Merk op dat ‘Slimme mobiliteit’ in de beleidsnota van het departement Mobiliteit en Openbare Werken werd opgenomen, waarbij een slimme kilometerheffing onderdeel van dynamisch verkeersmanagement uitmaakt [MOW09b]. Daarbij stellen we wel dat een (elektronisch) vignet geenszins vergelijkbaar is met een slimme kilometerheffing.

- Ook dient gekeken te worden naar de impact van de verschillende tarieven, en hierbij de proefpersonen op te volgen gedurende een langere periode om zo overgangseffecten (zoals een leerperiode) in te schatten en uit te sluiten. Men kan tijdens het gedragsexperiment de tarieven ook laten variëren en zo de prijsgevoeligheid van de proefpersonen voor de onderlinge verschillen in tarieven te onderzoeken (wat met bijvoorbeeld verschillend tarieven naargelang de afstand van het traject, gebruiken we een systeem van betalen per kilometer of belonen van goed gedrag, ...). In plaats van enkel rekening te houden met de monetaire kosten zoals in deze proeftuin, kan dit ook worden uitgebreid naar gegeneraliseerde kosten, waarin onder andere de private kosten (aankoop, verzekering, brandstof, tijdskosten, ...). Voor wat betreft de brandstofverbruik is het dan ook handig indien de OBU rechtstreeks op de CAN-bus kan worden aangesloten. In dit alles is terugkoppeling naar de proefpersonen noodzakelijk, daar in de praktijk vooral de zichtbare kosten effectiever blijken te zijn, omdat ze direct moeten worden betaald dan algemene heffingen. De effecten hoeven daarenboven niet zo uitgesproken te zijn: zelfs bij een kleine verschuiving van verkeer uit de piek- naar de dalperiodes kan er al een sterk effect voor vermindering van de files zijn. Een overzicht en analyse van de psychologische factoren die een rol spelen bij de effectiviteit van een kilometerheffing lijkt een must.
- Men kan ook de impact van de kilometerheffing op de CO<sub>2</sub> uitstoot (en andere pollutanten) berekenen, en deze vergelijken tussen een nulmeting en de invoering ervan. Een vereiste hiervoor is wel dat de databank met GPS posities eerst statistisch geanalyseerd moet worden (om fouten op te sporen) en vervolgens deze op gepaste wijze te bewerken waarbij we de trajecten dienen te analyseren en de uitstoot van schadelijke gassen telkens te berekenen [ACM12].
- Interessant is ook dat men op basis van de gegevens van de OBUs ook andere informatie kan afleiden, zoals analyses van gereden snelheden en versnellingen, ... Een voorbeeld van de gereden snelheid op een traject en de overeenkomstige verdeling van de snelheid en versnelling voor proefpersoon 'LEUVEN102' is te zien in Figuur 98 en Figuur 99, respectievelijk.



Figuur 98: Overzicht van de per seconde gereden snelheid (blauw) en versnelling (rood) gedurende een bepaald traject horende bij een rit voor proefpersoon 'LEUVEN102'.





Figuur 99: Overzicht van de statistische verdelingen van de snelheid (blauw) en versnelling (rood) voor proefpersoon 'LEUVEN102'. De afgelijnde pieken zijn een gevolg van het vaak rijden met cruise-controle.

- Ook dienen de risicofactoren voor de invoering van beprijzing in kaart gebracht te worden, waaronder de verwachte effectiviteit ervan om de gewenste doelstellingen te bereiken, effecten op de verschillende inkomens, de noodzakelijke creatie van een politiek draagvlak, het ontzenuwen van discussies over privacy en security en betere informering hieromtrent, wegwerken van de juridische onzekerheid, begroting van de investerings-, uitbatings- en handavingskosten in functie van de gewenste technologische en organisatorische uitwerking, ... Voor een deel van de antwoorden hierop kan wel een aanzet gevonden worden in de voorbereiding van de kilometerheffing voor vrachtwagens die in België ingevoerd zal worden. Daarnaast bestaat het 'betalen-per-gereden-kilometer principe' reeds in bijvoorbeeld de verzekeringssector ('pay as you drive', PAYD), zodat ook de daar opgedane ervaringen meegenomen kunnen worden. Met het oog op de technische uitwerking, geven we nog mee dat hele technologie niet per se van naaldje tot draadje dient beschreven te worden; de uitwerking hier gaat meer over het aanbieden van een dienst die de bedrijven naar eigen mogelijkheden zullen invullen.
- Bij de uitwerking van een dergelijk project dient ook gekeken te worden naar eerdere en lopende proefprojecten in bijvoorbeeld andere landen. Dit zal dan integraal deel uitmaken van het onderzoek. De partners in deze proeftion hebben via hun netwerk reeds nauw contact met de onderzoekers in de reeks van Nederlandse projecten. Voorbeelden hiervan zijn Den Haag (Nederland) waar men in plaats van taxatie de impact van een beloning op het gedrag van autobestuurders om de spitsperiodes te mijden inschat. In Assen (Nederland) loopt momenteel een grote test. Het betreft hier een geïntegreerd ITS systeem waarbij alle ITS diensten aan bod komen, met inbegrip van actieve sturing van het verkeer. Hierbij wordt het verkeer over de verschillende wegen verdeeld, en worden toegevoegde waarde diensten voorzien waarmee de proefpersonen ook parkeerplaatsen kunnen reserveren (de OBU is gecertificeerd om ook andere diensten aan te bieden, zoals PAYD).

In een grootschaliger onderzoek dienen alle voorgaande nuances aan bod te komen, zodat zeker de invloed op onder andere de verschillende sociaal-economische bevolkingsgroepen beter in kaart gebracht kan worden (cfr. de rechtvaardigheid van de maatregel). Ook worden hiermee de prangende vragen over de kosten van het systeem, hoogte van de tarieven, geschiktheid voor pendelverkeer, ... aangekaart, zodat de overheid beschikt over een correcte inschatting van de effectiviteit van een kilometerheffing. Merk op dat men voor de meer logistieke uitwerking en organisatie van het project op de FESTA methode (Field Operational Test support Action) beroep kan doen, welke in opdracht van de Europese Commissie ontwikkeld werd om de opzet van proeftuinen gestructureerd aan te pakken [FES08].

## 8. Referenties

- [ACM12] Lars Akkermans, Kristof Carlier en Sven Maerivoet (2012) **Co-modality study Toyota**, eindverslag (vertrouwelijk) voor Toyota Motor Europe.
- [AWV07] Vlaamse Overheid (2007) **Verkeerstellingen 2007 in Vlaanderen met automatische telapparaten**, nr. 214, Agentschap Wegen en Verkeer, Afdeling Verkeerskunde.
- [Bae12] Peter Baeyens (2012) **Een kilometerheffing stuurt ons verplaatsingsgedrag – Resultaten proefproject rekeningrijden in Leuven**, Verkeersspecialist, nummer 184, maart.
- [BLT06] Peter Bonsall, Heike Link, Kathleen Toepel et al. (2006) **Information requirements for analysis of optimal complexity**, Deliverable 2 version 5 of Generalisation of Research on Accounts and Cost Estimation (GRACE), European Commission FP6, 15 maart.
- [Bur12] Jan Burgmeijer (2012) **Slimmer reizen in Assen door sensortechnologie**, NM Magazine, jaargang 7, nr. 1.
- [Cav11] Ann Cavoukian (2011) **Privacy by Design**, Information & Privacy Commissioner, Ontario, Canada, <http://privacybydesign.ca/>.
- [Daa10] John Q. Daan (2010) **International Scan: Reducing Congestion & Funding Transportation Using Road Pricing**, SRF Consulting Group, AASHTO/FHWA/NHCRP/TRB/USDOT, april.
- [DDCM10] Eef Delhaye, Griet De Ceuster en Sven Maerivoet (2010) **Internalisering van externe kosten van transport in Vlaanderen**, eindverslag voor Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA Milieurapport Vlaanderen, december.
- [DLN11] Johan Driesen, André Loeckx, Benoit Nemery et al. (2011) **Personenmobiliteit in Vlaanderen**, Visietekst werkgroep Metaforum Leuven, 25 maart.
- [DVK11] Henk Driessen, Koost Voerman, Margo Kulk-Van Oosterhout et al. (2011) **Vliegende start mobiliteitsproject SLIM Prijzen op Regioring Arnhem Nijmegen**, Verkeerskunde, nr. 2, maart.
- [EC04] Europese Commissie (2004) **Directive 2004/52/EC** of the European Parliament and of the Council on the interoperability of electronic road toll systems in the Community, 29 april.
- [EC09] Europese Commissie (2009) **Commission Decision 2009/750/EC** on the definition of the European Electronic Toll Service and its technical element, 6 oktober.
- [Eli08] J. Eliasson (2008) **Lessons from the Stockholm congestion charging trial**, Transport Policy, vol. 15, nr. 6, pagina's 395—404.
- [FES08] FESTA Consortium (2008) **FESTA Handbook v2 for Field-Operational Tests (FOTs)**, European Commission, augustus.
- [FOD] Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer, **START-SITTER (Systeem Trafiek Autowegen in Reële Tijd / Système Intelligent de Trafic en Temps Réel des autoroutes)**, Directoraat-generaal Mobiliteit en Verkeersveiligheid, Directie Mobiliteit.
- [FOD08] Federale Overheidsdienst Economie (2008) **Afgelegde afstanden in het verkeer 2008**.
- [FOD08b] Federale Overheidsdienst Economie (2008) **Grootte van het voertuigenpark 2008**.
- [FOD10] Federale Overheidsdienst Financiën (2011) **Tarieven van de verkeersbelasting (1 Juli 2010 – 30 Juni 2011)**.
- [FOD11] Federale Overheidsdienst Economie (2011) **Grootte van het voertuigenpark 2011**.
- [Goh02] M. Goh (2002) **Congestion management and electronic road pricing in Singapore**, Journal of Transport Geography, vol. 10, nr. 1, pagina's 29—38.
- [IBB11] IBBT, 2011. **NextGenITS**, <http://www.ibbt.be/en/projects/overview-projects/p/detail/nextgenits>.
- [Kia02] Chin Kian-Keong (2002) **Road Pricing: Singapore's Experience**, 3<sup>rd</sup> seminar of the IMPRINT-EUROPE Thematic Network "Implementing Reform on Transport Pricing: Constraints and Solutions: Learning from Best Practice", Brussel, 23-24 oktober.
- [Lea06] J. Leape (2006) **The London congestion charge**, Journal of Economic Perspectives, vol. 20, nr. 4, pagina's 157—176.
- [Leu] Stad Leuven, **Ruimtelijk Structuurplan Leuven (RSL)**.
- [MAD09] Friedl Maertens, Jean-Luc Albert en Karl De Backer (2009), **Intelligente mobiliteit in**

- [Mae06] **België: Visie van IBM**, IBM, juni.  
Sven Maerivoet (2006) **Modelling Traffic on Motorways: State-of-the-Art, Numerical Data Analysis, and Dynamic Traffic Assignment**, Doctoraatsdissertatie, Katholieke Universiteit Leuven, juni.
- [Mae10] Sven Maerivoet (2010) **Een variabele prijszetting voor weggebruik in Leuven**, Presentatie over externe kosten aan de Stad Leuven, Transport & Mobility Leuven, 14 januari.
- [Mae10b] Sven Maerivoet (2010) **Schatting verliestijden op trajecten**, Transport & Mobility Leuven, december.
- [Mae10c] Sven Maerivoet (2010) **Bepaling Tarieven Showcase Rekeningrijden+eCall Leuven**, Technische nota, april.
- [Mai08] Maibach et al. (2008) **Handbook on estimation of external costs in the transport sector**, Europese Commissie.
- [MC98] Menon and Chin (1998) **The making of Singapore's Electronic road pricing system**, Proceedings of the International Conference on Transportation into the next millennium, Singapore, 9—11 September.
- [MK04] A.P. Gopinath Menon en Chin Kian-Keong (2004) **ERP in Singapore – What's been learnt from five years of operation?**, TEC (Traffic Engineering & Control Magazine), pagina's 62—65, februari.
- [ML07] Sven Maerivoet en Steven Logghe (2007) **Validatie van reistijden gebaseerd op Cellular Floating Vehicle Data (CFVD)**, Vertrouwelijke studie in opdracht van ITIS Holdings, Transport & Mobility Leuven, mei.
- [ML09] Sven Maerivoet en Bart Lowyck (2009) **iPark4U: Online parking navigation and payment made easy**, in opdracht van het Vlaams Instituut voor Mobiliteit (VIM).
- [MP04] Inge Mayeres en Stef Proost (2004) **Towards Better Transport Pricing and Taxation in Belgium**, Reflets et perspectives de la vie économique, pagina's 23—43.
- [MOW09] Vlaamse Overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken (MOW) (2009) **Onderzoek Verplaatsingsgedrag Vlaanderen (OVG) 3, September 2007 – September 2008, Gegevens over verplaatsingen**, Tabel 57.
- [MOW09b] Vlaamse Overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken (MOW) (2009) **Beleidsnota 2009 – 2014**, oktober.
- [MY08] Sven Maerivoet en Isaak Yperman (2008) **Analyse van de Verkeerscongestie in België**, Verslag in opdracht van de Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer, Transport & Mobility Leuven, oktober.
- [MYL09] Sven Maerivoet, Isaak Yperman en Steven Logghe (2009) **Expertsysteem Verkeersgegevens: Kwaliteitscontrole (+ MATLAB code voor de testen)**, Verslag (vertrouwelijk) in opdracht van de Vlaamse Overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Verkeerscentrum, Transport & Mobility Leuven, juni.
- [NI10] NXP, IBM (2010) **Road Pricing Trial Eindhoven**, Samenwerkingsverband Regio Eindhoven (SRE).
- [OX05] Piotr Olszewski en Litian Xie (2005) **Modelling the effects of road pricing on traffic in Singapore**, Transportation Research Part A, vol. 39, pagina's 755—772, februari.
- [PT04] S.Y. Phang, en R.S. Toh (2004) **Road congestion pricing in Singapore: 1975 to 2003**, Transportation Journal, vol. 43, nr. 2, pagina's 16—25.
- [PVD05] Stef Proost, Saskia Van der Loo, Eef Delhayne, Bart Van Herbruggen, et al. (2005) **The socio-economic impacts of transport pricing reforms**, GRACE FP6 Deliverable 9, European Commission, juli.
- [Ren11] Karel Renckens (2011) **Handleiding raadpleging Internet**, Intelligente kilometerheffing proefproject Leuven fase 1, T!NC.
- [Rie01] Piet Rietveld (2001) **Pricing Mobility – Experiences in the Netherlands**, European Journal of Transport and Infrastructure Research, nr. 1, pagina's 45 – 60.
- [Rij01] Rijksoverheid (2011) **Eindevaluatie Ander Betalen voor Mobiliteit**, in Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Den Haag.
- [Rub87] Donald Bruce Rubin (1987) **Multiple Imputation for Nonresponse in Surveys**, J. Wiley & Sons, New York.
- [Seg06] Bart Seghers (2006) **Stedelijk rekeningrijden naar Londens model: Een**

- haalbaarheidsstudie voor Antwerpen en Brussel, Licentiaatsthesis, Faculteit Wetenschappen, Universiteit Gent.
- [SF06] G. Santos en G. Fraser (2006) **Road pricing: Lessons from London**, Economic Policy, vol. 21, nr. 46, pagina's 263—310.
- [SM09] Karel Spitaels, Sven Maerivoet et al. (2009) **SUSTAPARK: Optimising Price and Location of Parking in Cities under a Sustainability Constraint**, Eindverslag in opdracht van het Federaal Wetenschapsbeleid, april.
- [TBE12] Taede Tillema, Eran Ben-Elia, Dick Ettema en Janet van Delden (2012) **Charging versus rewarding: A comparison of road-pricing and rewarding peak avoidance in the Netherlands**, Transport Policy, maart.
- [TK11] Tweede Kamer (2011) **Groot project “Anders betalen voor mobiliteit” Lijst van vragen en antwoorden**, in Tweede Kamer der Staten-Generaal, vergaderjaar 2011-2011, 30 563, nr. 4, 's-Gravenhage.
- [TML] **TREMOVE v3.3, SCENES en eigen berekeningen**, Transport & Mobility Leuven.
- [Tuk77] John W. Tukey (1977) **Exploratory Data Analysis**, Addison-Wesley.
- [Utr12] Provincie Utrecht, **Spitsvrij – Laat automobilisten verdwijnen uit de spits**, Informatiebrochure.
- [Van03] Maarten Vansteenkiste (2003) **Straffen, belonen, Big Brother of aanleren?**, januari.
- [Van08] Filip Vanhove (2008) **Analyse van de Mobiliteit op de Belgische Autosnelwegen: Verkeersindices 1999 – 2005**, Verslag in opdracht van de Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer, Transport & Mobility Leuven, juni.
- [Van12] Kris Vanherle (2012) **Vernieuwing en verschroming Belgische voertuigvloot 2015**, Eigen berekeningen op basis van TREMOVE v3.3, Transport & Mobility Leuven, maart.
- [vDC09] Janet van Delden en Cécile Cluitmans (2009) **Beprijzen, belonen of een budget**, Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk, november.
- [VMM07] Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) (2007) **Milieurapport Vlaanderen MIRA-T 2007 Indicatorrapport**, 14 december.
- [VRT10] Het Journaal (2010) **Filelengtes**, VRT, 18 oktober.
- [YVV11] Isaak Yperman, Filip Vanhove en Marita Voogt (2011) **Onderzoek naar de invoering van lage-emissiezones in Vlaanderen**, Eindrapport in opdracht van Departement Leefmilieu, Natuur en Energie, 31 januari.

## Appendix A: Berichtgeving in de pers

### A.1 Contacten

#### A.1.1 Transport & Mobility Leuven

Pers + technisch:

Sven Maerivoet  
+32 (16) 31.77.33  
[sv.maerivoet@tmleuven.be](mailto:sv.maerivoet@tmleuven.be)  
<http://www.tmleuven.be/project/intelligente-mobiliteit/>

#### A.1.2 NXP

Pers:

Martijn Van der Linden  
PR & Communications Manager NXP  
[martijn.van.der.linden@nxp.com](mailto:martijn.van.der.linden@nxp.com)  
<http://www.nxp.com/>

Technisch:

Frank Daems  
[frank.daems@nxp.com](mailto:frank.daems@nxp.com)

#### A.1.3 IBM Belgium

Pers:

Yves Van Seters  
Communications IBM Benelux  
+32 (478) 27.10.33  
[yvanseters@be.ibm.com](mailto:yvanseters@be.ibm.com)  
<http://www.ibm.com/be/>

Technisch:

Friedl Maertens  
[friedl.maertens@be.ibm.com](mailto:friedl.maertens@be.ibm.com)

#### A.1.4 Touring

Pers:

Danny Smagghe  
Manager External Affairs & Communications Touring  
+32 (476) 54.21.42  
[danny.smagghe@touring.be](mailto:danny.smagghe@touring.be)  
<http://www.touring.be/>

Technisch:

Philippe Leeman  
[philippe.leeman@touring.be](mailto:philippe.leeman@touring.be)

## A.1.5 Mobistar

### Pers:

Patti Verdoodt  
Press Relations Manager Mobistar  
+32 (495) 55.96.26  
[patti.verdoodt@mail.mobistar.be](mailto:patti.verdoodt@mail.mobistar.be)  
<http://www.mobistar.be/>

### Technisch:

Tom Sorgeloos  
[tom.sorgeloos@mail.mobistar.be](mailto:tom.sorgeloos@mail.mobistar.be)

## A.2 Persbericht

**Slimme kilometerheffing wijzigt mobiliteitsgedrag en leidt tot minder files.**

### *Leuvense praktijkproef rond 'Slimme Mobiliteit' succesvol afgerond*

*Leuven, 15 februari 2012 – Vandaag maken de stad Leuven en een consortium van bedrijven waaronder IBM, NXP, Touring, Mobistar, Magicviev, NSL en Transport & Mobility Leuven (TML), de resultaten van het proefproject 'Slimme Mobiliteit' bekend. Twee jaar geleden presenteerde het consortium de 'spits'technologie waarmee een nationale, regionale of lokale overheid haar mobiliteitsbeleid kan sturen. In september 2011 werd in samenwerking met de stad Leuven een praktijkproef opgestart om de werkbaarheid van het systeem aan te tonen. In totaal werden 11.000 ritten uitgevoerd en bijna 100.000 km afgelegd. De resultaten van de proef zijn opmerkelijk. Ze tonen aan dat een slimme kilometerheffing wel degelijk het mobiliteitsgedrag van gebruikers wijzigt, het fileleed doet afnemen en dat de overheid dit systeem kan gebruiken om haar mobiliteitsbeleid (bij) te sturen.*

Het pilootproject omvatte een gedragsexperiment, liep van september vorig jaar tot en met januari 2012 en bestond uit drie periodes. De eerste twee maanden werd een nulmeting uitgevoerd, waarbij het normale mobiliteitsgedrag van de proefpersonen in kaart werd gebracht. In de tweede fase werd de eigenlijke test uitgevoerd waarin de proefpersonen zich meer bewust werden van hun mobiliteitsgedrag. Zij reden rond en hun trajecten werden belast op basis van wegtype, tijdstip, afstand en milieukeurmerken van het voertuig. Ze konden de fictieve tarificatie van hun route volgen op hun persoonlijke On-Board Unit, of online een overzicht krijgen van hun afgelegde trajecten en de prijs die ze ervoor zouden betalen. De laatste maand werd de kilometerheffing weer uitgeschakeld en werd er gekeken of de proefpersonen in hun oude mobiliteitsgewoonten terugvielen.

Tijdens de effectieve test, werd er bij de proefpersonen een aantoonbare wijziging in hun mobiliteitsgedrag vastgesteld. Ruim de helft verbeterde zich persoonlijk doordat ze goedkoper gingen rijden. Maar driekwart van hen herviel wel nadat de kilometerheffing werd uitgeschakeld. Alle proefpersonen reden samen 5% minder in de piekperiode op lokale wegen, en in totaal zo'n 60% van de tijd tijdens de dalperiode. Nu er (fictieve) kosten werden aangerekend per afgelegde kilometer, gingen de proefpersonen ook bewuster met hun mobiliteit om. Er werd nagedacht over alternatieve vormen van vervoer, zoals bijvoorbeeld fiets of openbaar vervoer. Ook vertrok men voor of na de spits om de file, en bijgevolg een hogere kost, te vermijden.

Sven Maerivoet, projectleider bij TML: "Als we de resultaten van de proefpersonen zouden extrapoleren, stellen we vast dat er minder files of minder lange files zouden staan in en rond de stad Leuven. Dit heeft een impact op de maatschappelijke kost. Minder files betekent minder economisch verlies, maar ook een verminderde uitstoot van broeikasgassen."

Dankzij de tarificatie per wegtype en tijdstip, is het goedkoper om de spits en lokale (sluip)wegen te vermijden. Daardoor stijgt de leefbaarheid langs die lokale wegen. Iets wat Dirk Robbeets, schepen van Mobiliteit van de stad Leuven bevestigt: *“We hebben een vermindering van het sluipverkeer vastgesteld en ook gezien dat mensen meer in de dalperiodes gingen rijden. De proefpersonen hebben tijdens de testfase duidelijk gebruik gemaakt van het prijsverschil in de hiërarchie van de wegen (snelweg, hoofdweg, lokale weg, enz.), als tijdens de verschillende periodes waarop de beprijzing van toepassing is. Een van onze doelstellingen voor deze proef was het in kaart brengen van mobiliteitskarakteristieken zodat we ons beleid daarop kunnen afstemmen. De resultaten van de test zijn een aanduiding dat ‘slimme mobiliteit’ sturend kan werken.”*

Verwacht wordt dat een slimme mobiliteit ook een invloed zal hebben op de vele vrijetijds-verplaatsingen tijdens de spitsuren. Danny Smagghé, woordvoerder van Touring: *“Dat wordt zelfs op meer dan 30% geschat: dat zijn voornamelijk mensen die niet op dat tijdstip op die plaats hoeven te zijn. Volgens berekeningen zal dit soort verplaatsingen waarschijnlijk nog meer stijgen en zal het aantal woon-werk/school verplaatsingen stabiliseren. Dankzij een slimme kilometerheffing wordt dat verkeer meer uitgespreid over de dag.”*

Patti Verdoodt (Mobistar), Friedl Maertens, IBM, en Frank Daems, NXP, zijn vooral tevreden dat de proef de maturiteit van de technologie heeft bewezen.

*“Het succes van het proefproject ‘Slimme Mobiliteit’ wijst op het groeiend belang aan en de vele voordelen van mobiliteit voor de eindgebruiker. Mobistar zal daarom blijven investeren in zijn netwerk en kennis teneinde bij te dragen tot optimale mobiliteit,”* zegt Patti Verdoodt, woordvoerdster van Mobistar.

Frank Daems, NXP: *“De gebruikte technologie verschaft ons het instrument om verkeersstromen te tekenen, om real-time verkeersinformatie te verzamelen en te verspreiden. Dankzij de technologie zijn we in staat om een slimmere mobiliteit voor te stellen.”*

*“Slimmere mobiliteit betekent vooral dat we tot een gepersonaliseerd aanbod via een multimodaal transportsysteem (wagen, openbaar vervoer, ...) moeten komen”,* voegt Friedl Maertens, IBM, er aan toe. *“Het uiteindelijke doel is de gebruiker het goedkoopste traject aan te bieden. Een slimme kilometerheffing is maar een onderdeel van een groter en geïntegreerd geheel. Maar heeft wel een direct effect; zowel op het verkeersgedrag als op onze ecologische voetafdruk. De proef heeft aangetoond dat we met slimme mobiliteit de negatieve effecten op de economie, gezondheid en milieu kunnen aanpakken. Wat de Belgische logistieke positie in West-Europa alleen maar kan versterken.”*

Met deze praktijkproef hebben IBM, NXP, Touring, Mobistar, Magicview, NSL en Transport & Mobility Leuven de verschillende deelregeringen in België aangetoond dat zij klaar zijn voor Slimme Mobiliteit.

### A.3 Overzicht persartikels

- “De groene toekomst: Autorijden met prijsprikkels”, **Knack**, nr. 52, 28 maart 2012.
- “Een kilometerheffing stuurt ons verplaatsingsgedrag”, **Verkeersspecialist**, nr. 184, maart 2012.
- “Smart road charging changes mobility behaviour and leads to less congestion”, **DutchMobility.com**, 27 februari 2012.
- “Nadenken over rijgedrag”, **De Streekkrant (editie Leuven)**, 22 februari 2012.
- “Slimme kilometerheffing wijzigt mobiliteitsgedrag”, **Verkeersnet.nl**, 21 februari 2012.
- “Kilometerheffing stuurt gedrag”, **De Zondagskrant**, 19 februari 2012.
- “Slimme kilometerheffing verandert rijgedrag”, **Kanaal Z Nieuws**, 17 februari 2012.
- “30% minder files”, **Het Laatste Nieuws**, 16 februari 2012.
- “Betalen per kilometer doet anders rijden in Leuven”, **De Standaard**, 16 februari 2012.
- “Minder files, minder sluipverkeer”, **Het Nieuwsblad**, 16 februari 2012.
- “Automobilisten wijzigen hun rijgedrag door rekeningrijden”, **VRT Radio Nieuws**, 15 februari 2012.
- “Rekeningrijden”, **Radio 2 (Vlaams-Brabant)**, Middagpost, 15 februari 2012.
- “Ma Zo Veel Verkeer – Rekeningrijden”, **Joe FM**, Ma Zo Tof, 15 februari 2012.
- “Rekeningrijden verandert ons rijgedrag”, **VTM Nieuws**, 15 februari 2012.
- “Proefproject rekeningrijden succes”, **ROB Nieuws**, 15 februari 2012.
- “Rekeningrijden verandert gedrag automobilist”, **VRT Nieuws**, 15 februari 2012.
- “Test Leuvense slimme kilometerheffing succesvol”, **Mobimix**, 15 februari 2012.
- “Rekeningrijden en kilometerheffing veranderen rijgedrag”, **Het Nieuwsblad**, 15 februari 2012.
- “Rekeningrijden verandert ons rijgedrag”, **Het Belang van Limburg**, 15 februari 2012.
- “Rekeningrijden verandert rijgedrag”, **De Standaard**, 15 februari 2012.
- “Slimme kilometerheffing leidt echt tot slimmer rijgedrag”, **De Morgen**, 15 februari 2012.
- “Rekeningrijden verandert gedrag automobilist”, **Ademloos**, 15 februari 2012.
- “Wegenvignet of kilometerheffing”, **Radio 1**, Peeters & Pichal, 16 november 2010.
- Beyens G., “Smart mobility op proef”, **De Lloyd**, 12 augustus 2010.
- “Proefproject rond intelligente mobiliteit in Leuven”, **VTM Nieuws**, 21 april 2010.
- “Rekeningrijden doet mensen nadenken over verplaatsingen”, **Verkeersspecialist** 165, maart 2010.
- “Vlaming niet akkoord met rekeningrijden”, **Radio 1**, Nieuws, 30 januari 2010.
- “Resultaten enquête rekeningrijden”, **Radio 1**, Peeters & Pichal, 29 januari 2010.
- “Intelligent rekeningrijden”, **Kanaal Z**, 21 april 2010.
- “La boîte magique”, **RTBF**, 17 mei 2010.
- “Leuven test rekeningrijden”, **ROB Vandaag**, 14 december 2009.
- “Betalen om de stad in te rijden”, **Knack** bijlage, september 2009.
- Ysebaert T., “Alleen rekeningrijden haalt iets uit”, **De Standaard**, 5 december 2007.



## A.4 Overzicht voordrachten

- **04/04/2012:** *Slimme kilometerheffing in de proeftuin Leuven* (VerkeersgedragDag, TNO, Nederland, België).
- **22/03/2012:** *Slimme kilometerheffing in de proeftuin Leuven* (Hoorzitting Vlaams Parlement, Commissie Mobiliteit en Openbare Werken, Brussel, België).
- **21/03/2012:** *Slimme kilometerheffing in de proeftuin Leuven* (Mobiliteitsbeheer vandaag en morgen, Leuven.Inc & VeroTech seminarie, Haasrode, België).
- **02/03/2012:** *Proeftuin Leuven: voorstelling opzet en resultaten* (Kabinet Grouwels, Brussel, België).
- **15/02/2012:** *Proeftuin Leuven: persvoorstelling* (Stad Leuven, België).
- **31/01/2012:** *Proeftuin Leuven: voorstelling resultaten* (Stad Leuven, België).
- **08/04/2011:** *Slimme Mobiliteit in de Proeftuin Leuven* (Actuasessie Rekeningrijden, VOKA, Brussel, België).
- **21/10/2010:** *Product Launch Testbed Smart Mobility Live in Leuven* (ITS België Congress, Brussel, België).
- **07/07/2010:** *Smart Mobility in the City of Leuven* (Australia's National Transport Council, Leuven, België).
- **02/06/2010:** *Smart Mobility in the City of Leuven* (IBM Innovation Week, Brussel, België).
- **22/04/2010:** *Mobiliteit in Vlaanderen en Leuven* (Leuven.inc Themasessie "Mobiliteitsbeheersing en rekeningrijden", Leuven, België).
- **21/04/2010:** *Leuven: Vlaamse proeftuin voor Intelligente Mobiliteit* (Showcase Smart Mobility, Sportoase, Leuven, België).

## Appendix B: Showcase slimme kilometerheffing

Op 15 maart 2010 hield het consortium van bedrijven een showcase die de aanloop voor de uitwerking van de proeftuin vormde. Hierbij ging de aandacht voornamelijk uit naar het aantonen van de technologische maturiteit en de mogelijkheden van het systeem. Daarnaast werd een geïntegreerde demonstratie van **rekeningrijden** en live **eCall** opgezet. De slimme kilometerheffing werd geïmplementatie aan de hand van tariefschema's waarin onderscheid gemaakt werd naar plaats, tijdstip en type voertuig. In de showcase kwamen verschillende voertuigen aan bod waaronder enkele personenwagens (1,6 liter, en een SUV<sup>30</sup> van 2,4 liter), een autobus en een vrachtwagen (Euro-5 norm met 2+3 wielassen, inclusief variabelisering van het Eurovignet).

Voor de showcase beschouwden we een deel van het wegennet tussen het Jubelpark (Brussel) en de Sportoase (Leuven). Qua gebruikte routes bekeken we:

- De noordelijke route via de N2 (Leuvense-/Brusselsesteenweg).
- De centrale route via de E40.
- De zuidelijke route via de N3 (Tervuursesteenweg).
- De noordelijke route via de N2 (Leuvense-/Brusselsesteenweg) en een stuk als sluiptegweg binnendoor.

Een acteur bestuurde een van de wagens bij aankomst in de Sportoase en enceneerde dat hij zich niet goed voelde, waarop hij met de OBU een live eCall uitstuurde. Vervolgens werd deze door de oproepcentrale afgehandeld en kwam na korte tijd een ambulance aangereden, zoals te zien in volgende filmclips:



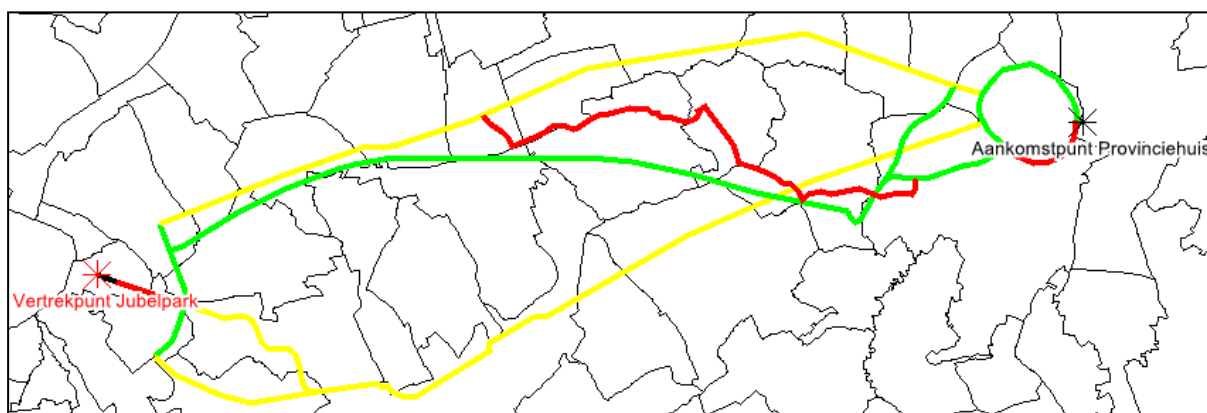
<sup>30</sup> SUV = 'sports utility vehicle'.



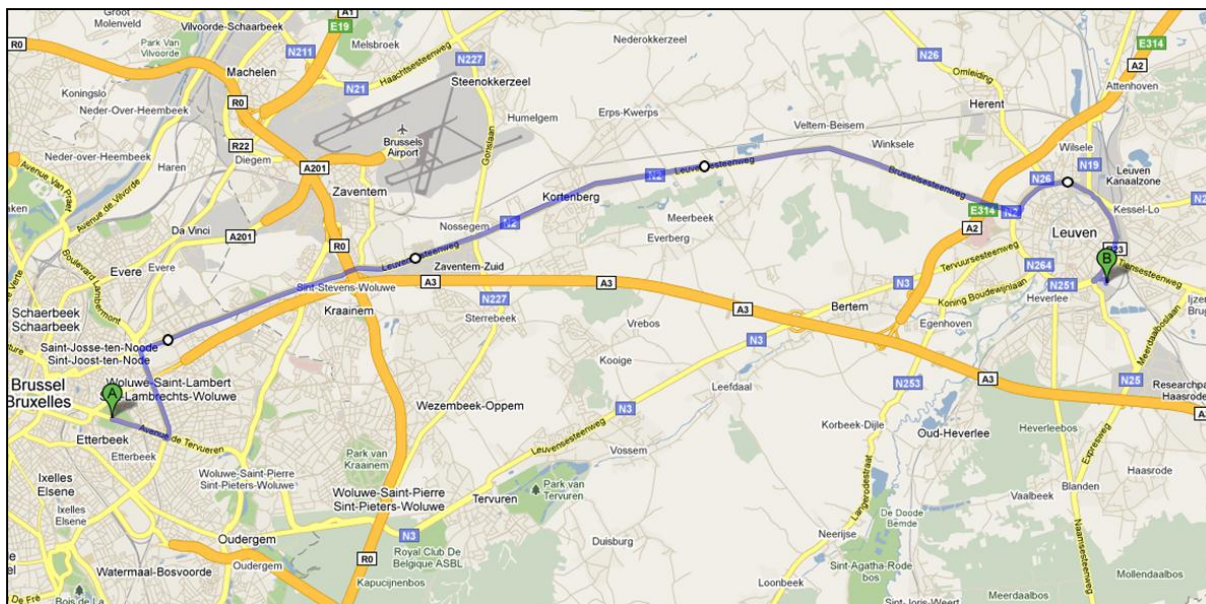
Het evenement kreeg een grote belangstelling van de overheid en de pers, en diende als kick-off voor het kilometerheffingsproject in de proeftuin Leuven.



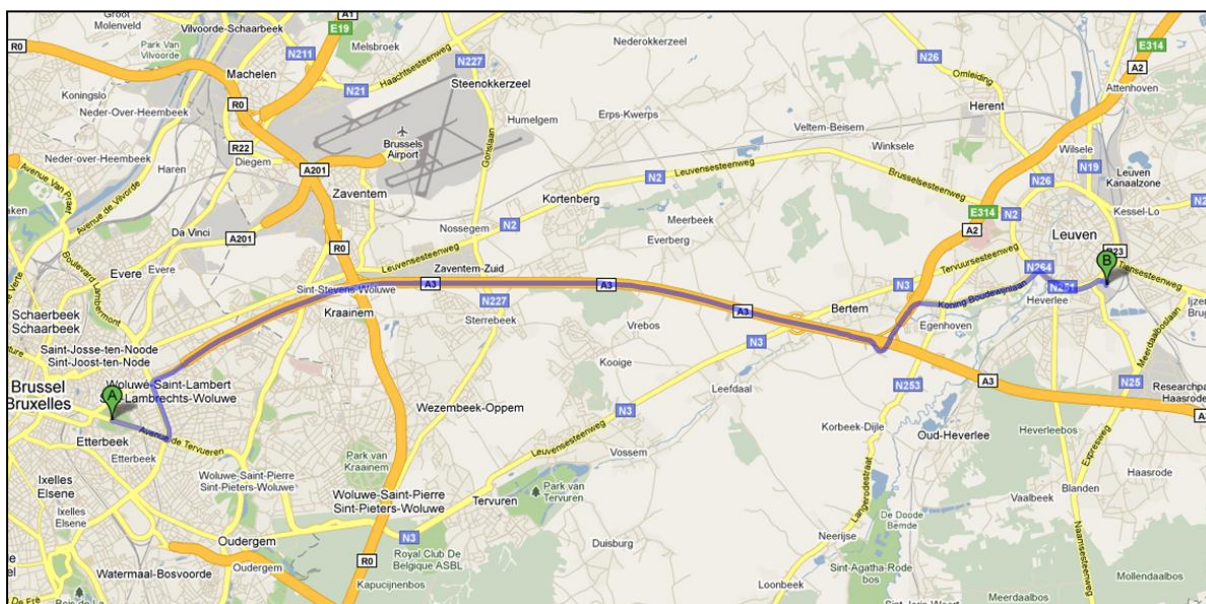
Een overzicht van alle routes tezamen is te zien in Figuur 100; de individuele routes staan opgelijst in Figuur 101, Figuur 102, Figuur 103 en Figuur 104, respectievelijk.



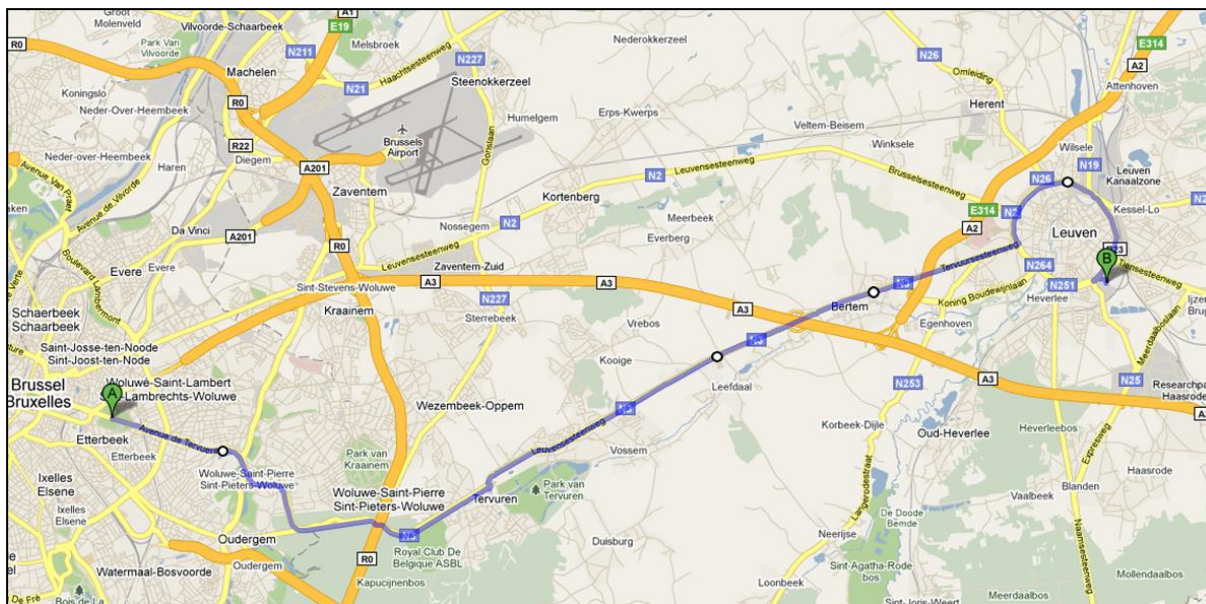
Figuur 100: De verschillende routes van de showcase via de autosnelweg (groen), de secundaire wegen (geel) en de lokale wegen (rood).



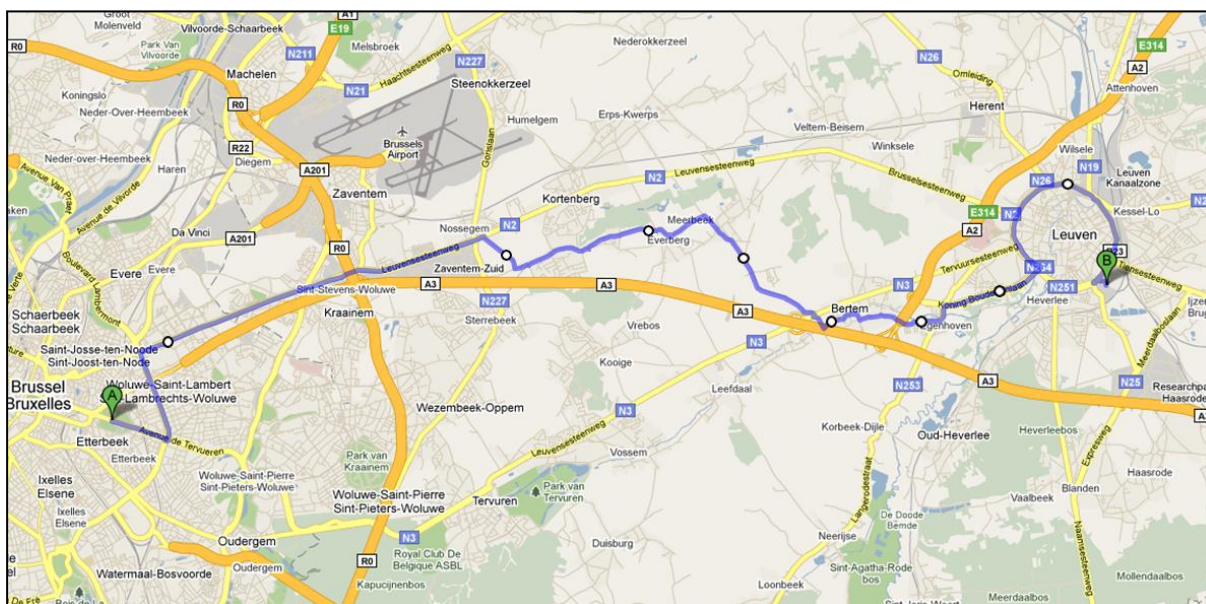
Figuur 101: De noordelijke route via de N2 (Leuvense-/Brusselsesteenweg).



Figuur 102: De centrale route via de E40.



Figuur 103: De zuidelijke route via de N3 (Tervuursesteenweg).



Figuur 104: De noordelijke route via de N2 (Leuvense-/Brusselsesteenweg) en een stuk als sluipegw binnendoor.

## Appendix C: Visuele spatio-temporele snelheidsanalyses

In de volgende Figuren tonen we grafisch de GPS posities van alle proefpersonen (alles werd op elkaar afgebeeld), doorheen de tijd voor alle geregistreerde dagen in de databank. De beelden worden per 2 uren getoond, te beginnen om met de ochtendspits om 6u → 8u → 10u → 12u en vervolgens de avondspits om 16u → 18u → 20u → 22u. Er wordt voor elke ochtend- en avondspits steeds verder ingezoomd op het studiegebied, tot op de ring rond Leuven.

Alle GPS posities werden met stippen aangeduid, waarbij de kleur overeenkwam met de mediane snelheid van de voertuigen gedurende 1 minuut. Dit gaf een kwalitatieve blik op de ontwikkeling en oplossing van files doorheen de dag op de verschillende plaatsen. Rode stippen kwamen overeen met mediane snelheden trager dan 30 km/u, oranje en geel lagen tussen 30 km/u en 60 km/u, groen tussen 60 km/u en 90 km/u, lichtblauw tussen 90 km/u en 110 km/u en donkerblauw sneller dan 110 km/u.

