

HET AUDI DUO CONCEPT IN DE PRAKTIJK

Milieuprestaties en de kansen en belemmeringen
voor marktintroductie, bepaald in het
Demonstratieproject Audi duo

A. van den Bosch (ECN)
P. Hendriksen (TNO)
W. G. van Arkel (ECN)
D.A.M.M. Elst (TNO)
M.J.J. Scheepers (ECN)
C.H. Volkers (ECN)

Abstract

This report describes the methodology and results for an assessment of environmental performance of a parallel hybrid vehicle, as well as an investigation into user experiences that may promote or hinder market introduction of this type of car. A parallel hybrid vehicle is powered either by a combustion engine or by an electric engine. For the environmental assessment and the investigation of user experiences a demonstration project was conducted with 10 Audi duo parallel hybrid vehicles. During the course of the project, the vehicles were driven by a wide range of users and user groups. In total 93 persons have participated in the project. The user patterns and experiences of all users were investigated by means of a user survey. Three vehicles were equipped with an on-board monitoring system, recording speed-time patterns and various drive line parameters. Based on the outcome of the user surveys and the recorded vehicle data, a set of representative driving cycles was developed for specific 'fields of application'. On a chassis dynamometer, the Audi duo was tested on these cycles for the evaluation of energy use and emissions. The results were compared with measurements of a reference vehicle to provide insight in the environmental benefits of the Audi duo under various real-life conditions and the relation to user behaviour. The user survey resulted in information on the user experiences with the Audi duo that gave insight into possible obstacles for the market introduction of hybrid vehicles and how to overcome them.

Verantwoording

Het onderzoek 'Audi duo' is uitgevoerd door ECN Beleidsstudies en TNO Wegtransportmiddelen in opdracht van Pon's Automobielenhandel BV.

De volgende partijen hebben financieel bijgedragen:

- Pon's Automobielenhandel BV. Importeur Audi in Nederland en opdrachtgever,
- Novem, in het kader van het DEMO-programma van VROM,
- ECN,
- TNO.

De volgende partijen hebben bijgedragen aan het eindresultaat:

- Pon's Automobielenhandel BV. Pon verzorgde de beschikbaarheid en het onderhoud van de auto's.
- Mercire, verantwoordelijk voor de marketing rondom het project en de communicatie met derden, tevens heeft Mercire ondersteunend bijgedragen aan het onderzoek.
- Marktonderzoeksbureau Ergo, subcontractant van ECN, verantwoordelijk voor het uitvoeren van de enquêtes.

De studie staat bij ECN geregistreerd onder projectnummer 7.7216, bij TNO onder projectnummer 009.00395. Deze publicatie heeft het ECN rapportnummer ECN-C--00-073 en het TNO rapportnummer 00.OR.VM.060.1/PHE.

INHOUD

SAMENVATTING	5
1 INLEIDING	10
1.1 Kader	10
1.2 Achtergrond	10
1.3 Doelstelling	11
1.4 Leeswijzer	11
2 METHODIEK	12
2.1 Inleiding	12
2.2 Milieuprestatie	13
2.2.1 Technologie	13
2.2.2 Gebruik	15
2.2.3 Gedrag van de bestuurder	16
2.3 Marktintroductie	17
3 UITVOERING	18
3.1 Inleiding	18
3.2 Data-acquisitie ten behoeve van milieuprestaties	18
3.2.1 Opzet data-acquisitie	18
3.2.2 Dataverwerking	23
3.2.3 Inventarisatie data	24
3.3 Data-acquisitie ten behoeve van marktintroductie	31
3.3.1 Opzet enquêtes	31
3.3.2 Inventarisatie profiel	32
4 MILIEUPRESTATIES AUDI DUO	36
4.1 Inleiding	36
4.2 Analyse van de gemeten praktijkgegevens	36
4.3 Ontwikkeling representatieve ritcycli	39
4.4 Resultaten referentievoertuig	41
4.5 Resultaten Audi duo	44
4.6 Vergelijking referentievoertuig met Audi duo	48
5 EFFECTEN GEBRUIK EN GEDRAG OP MILIEUPRESTATIES	58
5.1 Inleiding	58
5.2 Milieuprestaties gebruikers	58
5.3 Gebruiksonderzoek - toepassingsmogelijkheden	60
5.4 Gedragsonderzoek - relatie gedrag en performance op emissieniveau	61
5.5 Totale analyse	63
6 KANSSEN EN BELEMMERINGEN VOOR MARKTINTRODUCTIE	66
6.1 Inleiding	66
6.2 Analyse gewenning	66
6.2.1 Gebruik keuzeschakelaar	67
6.2.2 Acceleratie	69
6.3 Analyse ervaringen	70
6.3.1 Attitude	71
6.3.2 Ervaring	72
6.4 Kansen en belemmeringen	73
7 CONCLUSIES	75
REFERENTIES	78
ECN-C--00-073	3

A.	MEET- EN REGISTRATIESYSTEEM	79
A.1.	Opbouw meet- en registratiesysteem	79
A.2.	Te meten en af te leiden signalen	80
A.3.	Eisen data-acquisitiesysteem	81
A.4.	Specificaties gekozen data-acquisitiesysteem	81
A.5.	Conditionering signalen	82
A.6.	Specificaties externe meetapparatuur	84
A.7.	Dataopslag	85
A.8.	Meet- en registratiesysteem in voertuig	85
B.	ENQUÊTES	87
C.	ANALYSE ENQUÊTES	96
C.1.	Eerste enquête	96
C.1.1.	Doorslaggevende reden voor deelname	96
C.1.2.	Karakterisering van de huidige auto	96
C.1.3.	Kilometers die per jaar worden verreden	96
C.1.4.	Overwegingen bij aanschaf van een auto	96
C.1.5.	Persoonlijke gegevens	97
C.1.6.	Attitude t.a.v. hybride auto vooraf	97
C.2.	Tweede enquête	100
C.2.1.	Algemeen	100
C.2.2.	Krachtbronnen	100
C.2.3.	Technische problemen	104
C.2.4.	Keuzeschakelaars	104
C.2.5.	Beoordeling aspecten	107
C.2.6.	Opladen	109
C.2.7.	Kansen voor de Audi Duo	109
C.3.	verschillen tussen A- en B-groep	115
D.	OPZET DATABASE	116
D.1.	Structuur van de database	116
D.2.	Inlezen data in database	117
D.3.	Conversie gemeten signalen	117
D.4.	Berekenen afgeleide parameters	118
D.5.	Extra functionaliteiten database	118
D.6.	Dataverwerking	119
E.	AFHANKELIJKHEDEN	121
F.	ONTWIKKELING RITCYCLI	123
F.1.	Aanmaken en analyseren van een representatieve referentiecycclus	123
F.2.	Bepalen van de lengte van stops en modules in de ritcycclus	125
F.3.	Aanmaken snelheid-acceleratie matrices van de referentiecycclus	128
F.4.	Statistische vergelijking van de kandidaat ritcyccli met de referentiecycclus	129
F.5.	Afronden van de ritcycclus	131
F.6.	Grafische weergave van de 14 ontwikkelde ritcyccli	133
G.	ACHTERGROND ROLLENBANKMETINGEN	141
G.1.	Opgave instellingen fabrikant	141
G.2.	Instellingen rollenbank	142
G.3.	Speciale aandachtspunten rollenbankmetingen	143
G.4.	Conditionering voertuig voor rijden ritcyccli	144
H.	EMISSIONRESULTATEN	145

SAMENVATTING

Dit rapport beschrijft de methodiek en de resultaten van het onderzoek naar de milieuprestaties en de kansen en belemmeringen voor marktintroductie van het Audi duo concept. De Audi duo is een hybride auto, dat wil zeggen een auto met een elektro- en een verbrandingsmotor, en is gebaseerd op een Audi A4 Avant. Het onderzoek is uitgevoerd door ECN Beleidsstudies en TNO-Wegtransportmiddelen in opdracht van Pon's Automobiellhandel BV en financieel mede mogelijk gemaakt door subsidie van Novem in het kader van het DEMO-programma van VROM. Coördinatie van het project lag in handen van Mercire en het marktonderzoeksbureau Ergo heeft bijgedragen aan het uitvoeren van enquêtes.

Hybride voertuigen (Hybride Elektrische Voertuigen, HEV) zijn voertuigen waarbij een elektromotor en een verbrandingsmotor samen of afzonderlijk het vermogen leveren voor aandrijving van de auto. Er zijn serie en parallel hybride voertuigen en combinaties van beiden. Bij de parallelle uitvoering worden de wielen door de elektromotor of de verbrandingsmotor aangedreven. Eén van beide motoren levert het vermogen. De Audi duo is een parallel hybride voertuig met een diesel- en elektrische aandrijving. Met behulp van een keuzeschakelaar kan er gewisseld worden tussen de aandrijvingen. De elektrische aandrijving wordt gevoed vanuit een batterij. Deze zogenaamde tractiebatterij wordt opgeladen vanuit het elektriciteitsnet of tijdens het rijden door de dieselmotor of bij het afremmen van het voertuig.

De mate waarin de Audi duo schoner en zuiniger rijdt dan een vergelijkbare dieselluitvoering is afhankelijk van de toepassing van het voertuig en het gedrag van de bestuurder in de praktijk. Om deze invloeden te onderzoeken is een praktijkexperiment opgezet met tien Audi duo's die gedurende zes maanden onder een vooraf geselecteerde groep gebruikers zijn ingezet. Ook zijn de mogelijke kansen en belemmeringen voor marktintroductie onderzocht. Als belangrijkste bron gold hier de ervaring van bestuurders met het rijden van de Audi duo.

Doelstelling van het project

Het praktijkexperiment heeft als doel het vergroten van het inzicht ten aanzien van het gebruik en de toepassingsmogelijkheden van het Audi duo concept door middel van onderzoek naar:

- De relatie tussen de milieuprestaties van het Audi duo concept, de toepassing van het voertuig en het gedrag van de bestuurder.
- Aspecten die een kans of belemmering kunnen vormen voor de brede marktintroductie van hybride auto's.

Opzet en uitvoering van het praktijkexperiment

Om de milieuprestaties en de marktintroductiekansen en -belemmeringen van de Audi duo te kunnen analyseren en identificeren, is een praktijkexperiment opgezet met tien Audi duo's. De Audi duo's zijn gedurende 6 maanden ingezet onder een vooraf geselecteerde groep gebruikers. Om inzicht te krijgen in het gebruik van de technologie in de praktijk zijn drie van de tien voertuigen uitgerust met een meet- en registratiesysteem. Tijdens het gebruik registreert dit systeem specifieke parameters van het voertuig. De verzamelde ritgegevens vormen de basis voor een laboratoriumonderzoek en analyse van gebruikaspecten.

Uitgangspunt van het praktijkexperiment is de toepassing in het zakelijk personenverkeer. Dit hangt samen met het feit dat de Audi duo is gebaseerd op de Audi A4 Avant, een auto die veel voor het zakelijk verkeer wordt ingezet. Een belangrijk aspect is tevens de combinatie van ritten in de stedelijke omgeving en ritten van en naar (grote) steden, zodat er naar verwachting voldoende spreiding bestaat tussen ritten in de stad en buiten de stad.

Aan het praktijkexperiment is in totaal door 93 personen deelgenomen. In de drie geïnstrumenteerde duo's is door 37 personen gereden (groep A), in de overige auto's door 56 personen (groep B). Deelnemers in groep A behoorden tot bepaalde doelgroepen waarvoor de duo mogelijk geschikt is: vertegenwoordigers, consultants, artsen, medewerkers van energiebedrijven en medewerkers van onderzoeksinstituten. Elke deelnemer van deze groep heeft ongeveer 2 weken met de Audi duo gereden. In totaal is door de deelnemers van de A-groep 46.200 km met de Audi duo gereden, verdeeld over 3.630 ritten. In 63% van de tijd is de dieselaandrijving gebruikt, in de overige 37% van de tijd is elektrisch gereden. De verdeling van de afgelegde afstand over de verschillende wegtypen is als volgt geweest: 18% stad, 24% buitenweg en 58% snelweg. Gemiddeld is door de deelnemers ongeveer één keer per dag geladen vanuit het elektriciteitsnet, de gemiddelde laadduur was daarbij ± 7 uur, de gemiddelde lading 4,5 kWh. De samenstelling van de B-groep was meer gemêleerd, doch ook bij deze groep is gezocht naar zakelijke rijders. De gebruiksduur van de Audi duo heeft in groep B meer gevarieerd dan in groep A.

Uit de verzamelde ritgegevens in het praktijkexperiment (van de A-groep) zijn een aantal representatieve ritcycli (snelheid-tijd patronen) van ongeveer 30 minuten ontwikkeld die op de rolbenk zijn nagereden. Deze ritcycli zijn gebaseerd op het werkelijk gebruik van het voertuig op de weg en beschrijven ieder een afzonderlijk gebruiksgebied van de Audi duo (bijvoorbeeld stad, buitenweg of snelweg en volledig elektrisch, volledig diesel of een combinatie van beide). Uiteindelijk zijn 14 ritcycli ontwikkeld die ieder een specifiek gebruiksgebied van de Audi duo beschrijven. De ontwikkelde ritcycli zijn zowel met de Audi duo als met een referentievoertuig (de dieselversie van de duo) gereden. Het verschil in de emissieresultaten van deze voertuigen kan een milieuvoordeel of -nadeel opleveren voor de Audi duo. Met de resultaten van de ritcycli worden uitspraken gedaan over de behaalde milieuprestatie van de Audi duo ten opzichte van het referentievoertuig. Omdat een deel van de elektrische energie betrokken is uit het elektriciteitsnet zijn bij het bepalen van de emissies en het energiegebruik ook gegevens gebruikt van het Nederlandse elektriciteitsproductiepark.

Voor het analyseren van gedragsaspecten en ervaringen van gebruikers zijn twee enquêtes aan de deelnemers voorgelegd. De eerste enquête is ingevuld voorafgaand aan het gebruik van de auto, de tweede enquête na afloop. Uit de enquêteresultaten bleek dat het aandeel mannelijke deelnemers groot is (85%), de deelnemers overwegend hoog zijn opgeleid (73% heeft een HBO of WO-opleiding) en de leeftijdsopbouw redelijk goed overeenkomt met die van de Nederlandse beroepsbevolking en de Nederlandse automobilist. Met betrekking tot de auto die de deelnemers normaal ter beschikking hebben, de brandstofsoort van die auto, de gemiddelde afgelegde afstand per dag en de jaarkilometrage vertoont een groot aantal deelnemers duidelijke kenmerken van een zakelijke autorijder.

Milieuprestaties van de Audi duo

De milieuprestaties van de Audi duo zijn onderzocht ten aanzien van de emissies van koolmonoxide (CO), koolwaterstoffen (HC), stikstofdioxiden (NO_x), deeltjes (PM), zwaveldioxide (SO₂) en kooldioxide (CO₂) en het energiegebruik. De eerste vijf emissies (CO, HC, NO_x, deeltjes en SO₂) geven aan hoe 'schoon' het voertuig is, CO₂ en energiegebruik de mate waarin het voertuig 'zuinig' is. De opwekking van elektrisch energie en de productie van dieselbrandstof gaan ook gepaard met emissies. Deze zogenaamde indirecte emissies zijn ook in het onderzoek betrokken.

De milieuprestaties van de Audi duo in de verschillende gebruiksgebieden, ten opzichte van het referentievoertuig, zijn in onderstaande tabel samengevat:

Tabel S.1 *Milieuprestaties van de Audi duo in de verschillende gebruiksgebieden t.o.v. het referentievoertuig*

	Hoog % diesel	Stad 40% diesel	Hoog % elektrisch	Hoog % diesel	Buitenweg 60% diesel	Hoog % elektrisch	Snelweg 5-15% elektrisch
CO	+	+	++	o	o	o	o
HC	o	+	++	-	o	++	-
NO _x	--	+	++	--	o	++	--
Deeltjes	-	+	++	-	o	++	--
SO ₂	-	+	++	-	o	++	-
CO ₂	o/+	o	-	o	o	-	o
Energiegebruik	o/+	o	-	o	o	-	o
++	groot milieuvoordeel						
+	milieuvoordeel						
o	milieuneutraal						
-	milieunadeel						
--	groot milieunadeel						

De Audi duo is schoner dan het referentievoertuig wanneer in de stad en op de buitenweg zoveel mogelijk elektrisch wordt gereden. Bij ritten waarin zowel elektrisch als diesel wordt gereden - hiervoor is de auto als HEV ontworpen - is de Audi duo in de stad nog steeds schoner, maar op de buitenweg is geen milieuvoordeel meer aanwezig. Een frequent gebruik van de dieselaandrijving moet zowel in de stad als op de buitenweg worden vermeden. In die situatie ontstaan bij de Audi duo namelijk hogere HC-, SO₂-, deeltjes- en, met name, NO_x-emissies. De CO-emissie is in alle situaties voor de Audi duo echter lager of hoogstens gelijk aan die van het referentievoertuig. Gebruik op de snelweg pakt in het algemeen, wat betreft schoon rijden, negatief uit voor de Audi duo.

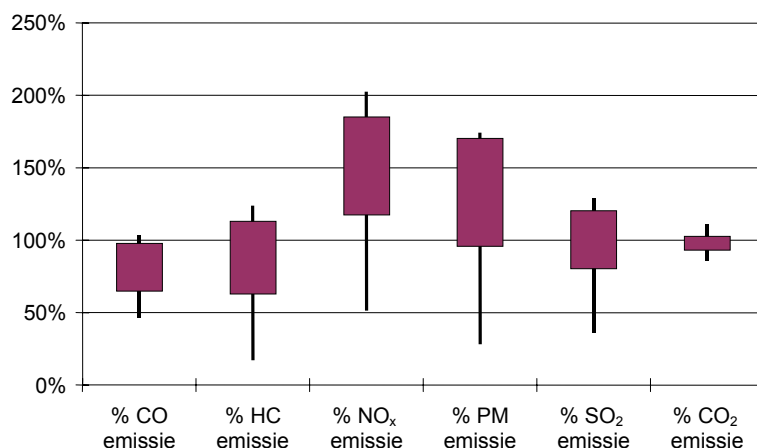
Doordat de Audi duo energie betreft uit het elektriciteitsnet heeft de CO₂-emissie en het primair energiegebruik van de elektriciteitscentrale grote invloed op de mate waarin de Audi duo zuiniger is dan het referentievoertuig. Wanneer wordt uitgegaan van gegevens van het Nederlands elektriciteitsproductiepark, blijkt uit de analyses van het praktijkexperiment dat de Audi duo op vrijwel geen enkel wegtype zuiniger is dan het referentievoertuig. Wanneer veel elektrisch wordt gereden is de Audi duo zelfs minder zuinig. Bij een combinatie van diesel- en elektrisch rijden, waarbij de tractiebatterij zoveel mogelijk door de dieselmotor wordt opgeladen (zogenoemd 'charge sustaining' rijden) is de duo in de stad waarschijnlijk (iets) zuiniger dan wanneer alleen de dieselaandrijving wordt gebruikt.

De emissies en het energiegebruik van de Audi duo zijn in het algemeen niet gevoeliger of ongevoeliger voor een hogere ritdynamiek dan het referentievoertuig.

Effecten van gebruik en gedrag op de milieuprestaties van de Audi duo

Door de milieuprestaties van de duo te koppelen aan de ritgegevens van de deelnemers wordt het mogelijk de milieuprestaties te analyseren op gebruiks- en gedragsaspecten voor het totaal aantal kilometers dat door deelnemers is gereden.

Onderstaand Figuur toont de relatieve spreiding tussen emissies over de totaal gereden afstand per gebruiker. De emissies van het referentievoertuig zijn hierbij steeds op 100% gesteld. De blokken in het Figuur geven 75% van de data weer, de lijnen tonen de bovenste en onderste 12,5% van de data. Met name voor de emissie van NO_x en deeltjes is de spreiding groot. Deze emissies lijken het meest gevoelig voor gebruiks- en gedragsaspecten. Daarentegen is de spreiding van de CO₂-emissies tussen de verschillende gebruikers relatief klein.



Figuur S.1 *Spreiding procentuele Audi duo emissies voor de gebruikers*

Voor bijna alle gebruikers geldt dat door het gebruik van de Audi duo de CO-emissie lager is uitgevallen dan in het geval het referentievoertuig was gebruikt. Naarmate meer in de stad is gereden, is dit voordeel groter. De emissies van NO_x en deeltjes is voor de meeste gebruikers ongunstiger. Slechts enkele gebruikers hebben hier een lagere emissie gerealiseerd dan het referentievoertuig. Naarmate meer op de snelweg is gereden, neemt het milieunadeel wat betreft de NO_x- en deeltjesemissie toe.

De emissies van SO₂ zijn, gemeten over de totale ritlengte, voor ongeveer de helft van de gebruikers lager dan die van het referentievoertuig, voor de andere helft hoger. Voor de HC-emissie geldt dat de meerderheid van de gebruikers een lagere emissie heeft gerealiseerd met de Audi duo. Voor beide emissies geldt dat een positieve milieuprestatie vooral afhangt van de mate waarin elektrisch wordt gereden. Voor de CO₂-emissie geldt het tegenovergestelde. Naarmate meer elektrisch wordt gereden, neemt de CO₂-emissie toe.

Deelnemers uit groep A waren afkomstig uit 5 verschillende doelgroepen. De onderlinge verschillen tussen deelnemers uit een doelgroep zijn in sommige gevallen bijna net zo groot als de verschillen tussen de doelgroepen. Er kunnen dan ook geen uitspraken worden gedaan over de milieuprestatie van doelgroepen.

Er is geen toepassing aan te wijzen waarbij de Audi duo per definitie een betere milieuprestatie heeft dan het referentievoertuig. Dit geldt ook voor de wijze waarop met de Audi duo wordt gereden, dat wil zeggen de keuze tussen elektrisch en dieselaandrijving. Een groot aandeel ritten in de stad en de buitenweg, vermijden van ritten op de snelweg en veel elektrisch rijden zal resulteren in een lagere CO-, HC-, deeltjes- en SO₂-emissie van de Audi duo in vergelijking met het referentievoertuig. De NO_x-emissie is bij gebruik van de Audi duo bijna altijd hoger dan die van het dieselveertuig, tenzij veel elektrisch wordt gereden (>80%). De CO₂-emissie en het energiegebruik worden gunstiger naarmate er minder elektrisch wordt gereden. Dit betekent dat er bij het streven naar een verbetering van de milieuprestatie een afweging moet worden gemaakt tussen de CO₂-emissie en energiegebruik enerzijds en de andere emissies anderzijds. Met andere woorden: de Audi duo is schoon of zuinig te gebruiken, maar niet allebei.

Kansen en belemmeringen van de Audi duo voor marktintroductie

Vooraf op basis van de antwoorden op de open vragen in de enquêtes is duidelijk geworden wat de belangrijkste belemmeringen voor marktintroductie zouden kunnen zijn. Ook de analyse van de gewinning, dat wil zeggen veranderingen in het gedrag van de gebruiker over de tijd dat de auto is gebruikt, heeft tot inzichten geleid omtrent de belemmeringen voor marktintroductie. Tot de belangrijkste belemmeringen kunnen worden gerekend:

- *De capaciteit van de tractiebatterij van het voertuig.* Bij het elektrisch rijden wordt de actieradius als beperkend ervaren. Deelnemers zouden graag een grotere afstand elektrisch willen rijden. Ook het beperkte vermogen bij elektrisch rijden wordt negatief ervaren, met name wanneer de ladingstoestand van de tractiebatterij beneden de 50% is gedaald.
- *De werking van de keuzeschakelaar, en dan met name de werking van de duo-stand.* Deelnemers hebben de ervaring dat de schakelaar in de duo-stand niet op de gewenste momenten overschakelt naar de andere aandrijving. De duo-stand is voornamelijk een elektrische stand die te weinig en te laat overschakelt naar de dieselaandrijving. Hierdoor hebben deelnemers de neiging om zelf in te grijpen in de keuze van het type aandrijving. Uit de metingen bij een gedeelte van de deelnemers is gebleken dat het gebruik van de duo-stand in de loop van de tijd is afgenomen en de dieselstand daarvoor in de plaats is gekomen.
- *Opladen aan het elektriciteitsnet.* Deelnemers hebben geen bezwaren tegen het opladen van de Audi duo aan het elektriciteitsnet, doch vinden wel dat het laden te lang duurt en ervaren het uit- en inrollen van het aansluitsnoer als onhandig. Niet iedereen beschikt over een aansluiting en vaak is een verlengsnoer onontbeerlijk.
- *De prijs van een hybride auto.* Deelnemers hebben overwegend weinig extra geld over voor het rijden in een hybride auto.

Keuze voor een ander type tractiebatterij (met een grotere actieradius en groter vermogen) en verbetering van de regelstrategie achter de duo-stand zouden belangrijke technische bezwaren kunnen wegnemen. Beperkende factoren betreffende een ander type tractiebatterij zijn echter het gewicht en de prijs. Deze overwegingen zijn in het onderzoek niet verder meegenomen.

Het feit dat de auto in zijn elektrische stand geluidsarm rondrijdt wordt als positief ervaren. Een aantal deelnemers geeft aan dat ze rustiger zijn gaan rijden en dat ook als positief ervaren. Deze uitkomst zou gebruikt kunnen worden bij het promoten van een hybride auto.

Deelnemers hebben vooral belangstelling getoond voor de nieuwe technologie van de Audi duo. Dit werd belangrijker gevonden dan een verbeterde milieuprestatie. De getoonde belangstelling voor de technologie hangt ook samen met de verwachting van de meerderheid van deelnemers dat de verbrandingsmotor op termijn zal worden vervangen door andere aandrijftechnologieën. Mogelijk dat de belangstelling voor nieuwe technologie een aangrijpingspunt vormt voor marktintroductie. Inspelen op de vooruitstrevendheid lijkt een betere inbeddingroute voor de introductie van milieuvriendelijke technologie dan het doen van een moreel beroep op verbetering van het milieu.

1 INLEIDING

1.1 Kader

Dit rapport beschrijft de methodiek en de resultaten van het praktijkonderzoek naar de milieuprestaties en de kansen en belemmeringen voor marktintroductie van het Audi duo concept.

De Audi duo is een hybride auto; een auto met een elektro- en een verbrandingsmotor (zie 1.2 Achtergrond). De Audi duo is gebaseerd op een Audi A4 Avant.

In het praktijkexperiment zijn 10 Audi duo's voor 6 maanden ingezet onder een vooraf geselecteerde groep gebruikers. Dit praktijkexperiment vormde de basis voor een gebruikers- en laboratoriumonderzoek. Het onderzoek is uitgevoerd door ECN Beleidsstudies en TNO-Wegtransportmiddelen in opdracht van Pon's Automobielhandel BV en financieel mede mogelijk gemaakt door subsidie van Novem in het kader van het DEMO-programma van VROM.

Het onderzoek is gesplitst in een gebruikersonderzoek en een laboratoriumonderzoek. ECN is verantwoordelijk voor het gebruikersonderzoek en heeft ondersteunend bijgedragen aan de voorbereidingen van het laboratoriumonderzoek. TNO is verantwoordelijk voor het laboratoriumonderzoek en heeft ondersteuning geboden voor het gebruikersonderzoek door middel van data-acquisitie en de milieutechnische vergelijking met het referentievoertuig. Het totale onderzoek heeft anderhalf jaar geduurd, van januari 1999 tot en met augustus 2000.

1.2 Achtergrond

Wat is een hybride auto?

Hybride voertuigen (Hybride Elektrische Voertuigen, HEV) zijn voertuigen waarbij een elektromotor en een verbrandingsmotor samen of afzonderlijk het vermogen leveren voor aandrijving van de auto. Er zijn serie en parallel hybride voertuigen en combinaties van beide. Bij de serie-uitvoering drijft de elektromotor de wielen aan en de energie wordt geleverd door een motorgeneratorset bestaande uit een verbrandingsmotor die een generator aandrijft. De opgewekte energie wordt geleverd aan de elektromotor en/of aan de batterij. De batterij verzorgt de extra benodigde energie bij levering van het piekvermogen. Wanneer de motorgeneratorset wordt uitgezet rijdt de auto puur elektrisch. Bij de parallelle uitvoering worden de wielen door de elektromotor of de verbrandingsmotor aangedreven. Een van beide motoren levert het vermogen.

De hybride Audi duo

De Audi duo is een parallel hybride voertuig met twee aandrijvingen, diesel en elektrisch. Het voertuig heeft een leeggewicht van 1.675 kg.

De bestuurder van de Audi duo kan zelf met een schakelaar (de keuzeschakelaar) de aandrijving van het voertuig bepalen: elektrische aandrijving (elektro-stand), conventionele diesel aandrijving (diesel-stand) of hybride aandrijving (duo-stand). De hybride aandrijving houdt in dat het voertuig zelf bepaalt op grond van onder andere het benodigde vermogen welke aandrijflijn (elektrisch of diesel) wordt gebruikt.

Een ander bijzonder aspect van de Audi duo is de stekker. Aan de voorkant van het voertuig is een stekker gemonteerd. Met behulp van deze stekker kan het voertuig opgeladen worden vanuit het elektriciteitsnet.

De Audi duo en het milieu

Afhankelijk van de uitvoeringsvorm en het gebruik van hybride voertuigen kan een hybride auto een reductie in emissies opleveren ten opzichte van een voertuig met een conventionele aandrijving. De hybride auto is vanwege de verbrandingsmotor weliswaar geen emissievrij voertuig, zoals een volledig elektrisch aangedreven voertuig (EV), maar heeft wel het voordeel dat de actieradius vergelijkbaar is met dat van een conventioneel voertuig. De beperkte actieradius is samen met de aanschafprijs van een elektrisch voertuig het belangrijkste aspect dat de grootschalige introductie van de elektrische auto op dit moment tegenhoudt. De introductie van de hybride auto kan gezien worden als een tussenstap naar grootschalige introductie van elektrische auto's of als een nieuwe generatie voertuigen met een schone en energiezuinige aandrijving.

Naast de technische uitvoeringsvorm wordt het brandstofverbruik van een hybride auto beïnvloed door het gedrag van de bestuurder. Het Audi duo project behelst een praktijkexperiment met tien Audi duo's waarbij dit gedragsaspect nader wordt onderzocht. De uitkomst van dit praktijkexperiment zal een beter inzicht geven in het energie- en milieu-effect versus de vervoersprestatie van het Audi duo concept en de invloed die de bestuurder daarop heeft.

De Audi duo en marktintroductie

Ook worden mogelijke kansen en belemmeringen voor marktintroductie onderzocht. Als belangrijkste bron geldt hiervoor de ervaring van bestuurders met het rijden van een hybride auto. Het resultaat van dit praktijkexperiment kan zo worden gebruikt om de introductie van hybride voertuigen te bevorderen.

1.3 Doelstelling

De doelstelling van het project is het uitvoeren van een praktijkexperiment met de Audi duo teneinde belemmeringen weg te nemen bij de introductie van een nieuwe technologie voor het wegvervoer.

Meer specifiek richt het praktijkexperiment zich op het vergroten van het inzicht ten aanzien van het gebruik en de toepassingsmogelijkheden van het Audi duo concept door middel van onderzoek naar:

- De relatie tussen de milieuprestaties van het Audi duo concept, de toepassing van het voertuig en het gedrag van de bestuurder.
- Aspecten die een kans of belemmering kunnen vormen voor de brede marktintroductie van hybride auto's.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 behandelt de methodiek van het project en Hoofdstuk 3 de praktische uitvoering.

Het project beoogt antwoorden te geven op de volgende vragen:

- Wat zijn de milieuprestaties van de Audi duo in termen van energiegebruik en emissies?
→ Antwoord: Hoofdstuk 4.
- Wat zijn de toepassingsmogelijkheden voor de Audi duo?
→ Antwoord: Hoofdstuk 5.
- Wat is de relatie tussen het gedrag van de bestuurder en de milieuprestaties?
→ Antwoord: Hoofdstuk 5.
- Wat zijn de kansen en belemmeringen voor marktintroductie van de Audi duo?
→ Antwoord: Hoofdstuk 6.

Deze antwoorden zullen in Hoofdstuk 7 leiden tot conclusies omtrent de marktintroductie van (parallel) hybride personenauto's.

2 METHODIEK

2.1 Inleiding

Het onderzoek heeft betrekking op de Audi duo als parallel hybride personenauto. Kenmerken van de Audi duo als luxe middenklasser (de Audi duo is afgeleid van de Audi A4 Avant) blijven in het onderzoek buiten beschouwing voor zoverre deze niet relevant zijn.

Het onderzoek richt zich op de milieuprestaties van de hybride personenauto en mogelijke kansen en belemmeringen voor marktintroductie. De milieuprestaties van een hybride auto worden bepaald door:

- *Technologie*. Om vast te stellen in hoeverre de milieuprestatie van een hybride auto beter is dan van een vergelijkbaar voertuig met enkel een verbrandingsmotor, is een Audi duo onder laboratoriumomstandigheden getest. Voor een goede vergelijking is een referentie nodig. Als referentie is de Audi duo in dieselbedrijf gebruikt¹. Voor het laboratoriumonderzoek zijn ritpatronen gebruikt die ontleend zijn aan het praktijkexperiment.
- *Gebruik*, dat wil zeggen het soort rit. In het praktijkexperiment is gekozen voor het zakelijk personenverkeer, waarbij ritten in stedelijke omgeving en ritten naar (grote) steden de voorkeur hebben omdat wordt verwacht dat daarbij de hybride het best tot zijn recht komt. Bij de selectie van gebruikers is hiermee rekening gehouden.
- *Gedrag* van de bestuurder. De invloed van de bestuurder op de milieuprestaties van de Audi duo komt vooral tot uitdrukking in het hanteren van de keuzeschakelaar. Met deze schakelaar kan de gebruiker de aandrijving van het voertuig bepalen. Het gebruik hiervan is in het praktijkexperiment onderzocht.

Twee aspecten kunnen een kans of een belemmering vormen voor de marktintroductie van de hybride personenauto:

- *De prijs*. In vergelijking met een vergelijkbaar conventioneel voertuig kan, ondanks de fiscale vrijstelling van de Audi duo (houderschapsbelasting en BPM), sprake zijn van een belangrijk prijsverschil. Dit aspect wordt slechts beperkt meegenomen in het onderzoek.
- *Gebruikerservaringen*. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen de verwachting die vooraf bij de gebruiker aanwezig is en die al dan niet wordt waargemaakt en een positieve of negatieve ervaring die de gebruiker niet had verwacht. De gebruikerservaringen zijn middels enquêtes geïnventariseerd.

Om de milieuprestaties en de marktintroductiebelemmeringen van de hybride Audi duo te kunnen analyseren en identificeren is een praktijkexperiment opgezet met tien Audi duo's. De Audi duo's zijn voor 6 maanden ingezet onder een vooraf geselecteerde groep gebruikers. Drie van de tien voertuigen zijn uitgerust met een meet- en registratiesysteem. De verzamelde gegevens vormen de basis voor een gebruikers- en laboratoriumonderzoek.

Om de milieuprestaties en de marktintroductiebelemmeringen van de hybride Audi duo te kunnen analyseren en identificeren is het onderzoek opgezet volgens bovenstaande indeling. Ook in het rapport is deze indeling gehanteerd. Paragrafen 2.2 en 2.3 beschrijven de methodiek van het onderzoek naar de milieuprestaties en de marktintroductie. Hoofdstuk 3 behandelt de uitvoering van het project. Daarna worden de analyses uitgewerkt in de Hoofdstukken 4 tot en met 6.

¹ Aanvankelijk was het de bedoeling een conventionele Audi A4 Avant met een 66 kW TDI dieselmotor als referentievoertuig te gebruiken. De Audi duo bevat echter een dieselmotor die aan strengere milieunormen voldoet (Euro 3). Een Audi A4 Avant met een zelfde dieselmotor als in de Audi duo was niet beschikbaar. Uiteindelijk is de Audi duo in dieselbedrijf als referentie gebruikt.

2.2 Milieuprestatie

Om de milieuprestaties van de Audi duo in kaart te brengen is in het onderzoek voor de volgende emissies gekozen:

- koolstofmonoxide (CO)
- koolwaterstoffen (HC)
- stikstofoxiden (NO_x)
- zwaveldioxide (SO₂)
- deeltjes (PM)
- koolstofdioxide (CO₂).

De opwekking van elektrische energie en de productie van diesel gaat ook gepaard met emissies. Deze emissies zijn ook in het onderzoek betrokken. Om deze emissies te kunnen bepalen moeten tevens het diesilverbruik en het elektrisch energiegebruik van het voertuig worden onderzocht.

In de komende paragrafen wordt de methodiek besproken die gehanteerd is om de technologie, het gebruik van het voertuig en het gedrag van de bestuurder in relatie tot de milieuprestaties te onderzoeken.

2.2.1 Technologie

De milieuprestaties van de hybride Audi duo worden voor een belangrijk deel bepaald door de toegepaste technologie. Om op dit gebied een uitspraak te kunnen doen, moet inzicht verkregen worden in de technologie zelf en het gebruik van de technologie in de praktijk. Met behulp van de literatuur die verschenen is over de Audi duo en de literatuur geleverd door de fabrikant en de Nederlandse importeur, is inzicht verkregen in de opbouw van het voertuig en specificaties aangaande de in het voertuig geïntegreerde componenten.

Om inzicht te krijgen in het gebruik van de technologie in de praktijk, is het voertuig voorzien van een on-board meet- en registratiesysteem. Een dergelijk systeem monitort tijdens het gebruik van het voertuig de specifieke parameters van de technologie. Met behulp van de uitkomsten van het literatuuronderzoek is geïnventariseerd welke parameters moeten worden geregistreerd om inzicht te verkrijgen in de milieuprestaties van de Audi duo. Een aantal voorbeelden daarvan zijn:

- Ritpatronen, het gebruik van het voertuig op de weg. Gemeten worden onder andere begin- en eindtijd van een rit, gereden afstand in een rit, voertuigsnelheid als functie van de tijd.
- Laadpatronen, laden van het voertuig vanuit het net. Gemeten worden onder andere begin- en eindtijd van een laadgebeurtenis en de uit het stopcontact geladen elektrische energie kWh per laadgebeurtenis.
- Voertuigparameters. Hieronder vallen onder andere stromen en spanningen, toerental, temperaturen van omgeving en motor, ladingstoestand van de batterij, ingeschakelde versnelling, gebruikte aandrijfbron (diesel- of elektrisch bedrijf), stand keuzeschakelaar.

Aan de hand van de te monitoren parameters en opgestelde eisen is een meet- en registratiesysteem aangekocht dat geschikt is voor deze toepassing. Het systeem is in drie voertuigen ingebouwd. Een beschrijving van het meet- en registratiesysteem en de parameters die worden gemeten, is te vinden in Bijlage A.

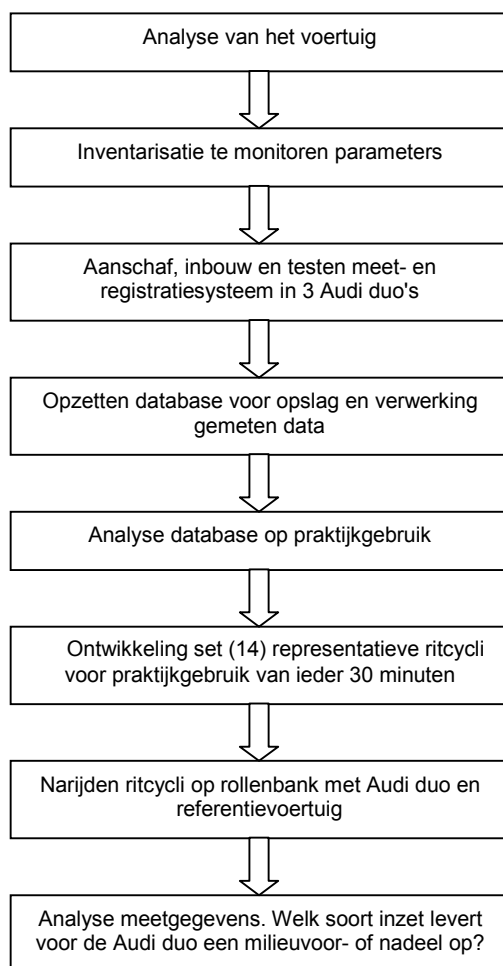
De parameters die door het meet- en registratiesysteem zijn geregistreerd, zijn verzameld in een database (Bijlage D). De grote hoeveelheid aan verzamelde data wordt op deze manier compact

opgeslagen. Voorts levert opslag in een database het voordeel op dat de data later relatief eenvoudig kunnen worden geanalyseerd en verwerkt.

Het is praktisch niet mogelijk een emissiemeetsysteem in een voertuig in te bouwen. Uit de verzamelde gegevens zijn daarom een aantal representatieve ritcycli (snelheid-tijd patronen) van ongeveer 30 minuten ontwikkeld die op de rollenbank zijn nagereden. Deze ritcycli zijn gebaseerd op het werkelijk gebruik van het voertuig op de weg en beschrijven ieder een afzonderlijk gebruiksgebied van de Audi duo (bijvoorbeeld stad, buitenweg of snelweg en volledig elektrisch, volledig diesel of een combinatie van beiden). Uiteindelijk zijn 14 ritcycli ontwikkeld die ieder een specifiek gebruiksgebied van de Audi duo beschrijven.

De ontwikkelde ritcycli zijn zowel met de Audi duo als met het referentievoertuig gereden. Het verschil in de emissieresultaten van deze voertuigen kan een milieuvoordeel of -nadeel opleveren voor de Audi duo. Met de resultaten van de ritcycli wordt een uitspraak gedaan over de behaalde milieuprestatie van de Audi duo ten opzichte van het dieselveertuig.

In Figuur 2.1 wordt schematisch de aanpak van het onderzoek naar de milieuprestaties op het gebied van technologie weergegeven:



Figuur 2.1 *Schematisch overzicht aanpak onderzoek milieuprestaties op technologie*

In Paragraaf 3.2 wordt de Audi duo nader technisch bekeken. Ook wordt in deze paragraaf de inventarisatie gedaan van wat er in de praktijk aan de duo moet worden gemeten. Hoofdstuk 4 behandelt hoe tot de rollenbankmetingen is gekomen en ook worden in dat hoofdstuk de resultaten daarvan besproken.

2.2.2 Gebruik

Indeling groep A en B

Voor het onderzoek naar het gebruik van de Audi duo door de gebruikers worden twee groepen gebruikers onderscheiden. De eerste groep gebruikers (groep A) heeft in de drie Audi duo's gereden waarin een meet- en registratiesysteem is ingebouwd. Voor elk van deze Audi duo's is een vaste groep gebruikers geselecteerd die gedurende langere tijd aan het praktijkexperiment heeft deelgenomen. De tweede groep gebruikers is de groep B. Dit zijn de gebruikers van de andere zeven Audi duo's. In deze auto's is geen meet- en registratiesysteem ingebouwd. Doordat de Audi duo's voor korte of langere tijd aan verschillende personen beschikbaar zijn gesteld, wisselt de samenstelling van deze gebruikersgroep B sterk.

Doelgroep

Het gebruik van de hybride Audi duo is een belangrijke bepalende factor voor de milieuprestatie van de auto. Onder het gebruik wordt in dit onderzoek verstaan de toepassing van de auto, oftewel het soort rit waar de auto voor wordt ingezet. Personen en/of doelgroepen kunnen verschillende gebruikspatronen hebben. Afhankelijk van waar mensen wonen, werken of recreëren wordt er veel gereden op de snelweg of juist in de stad. Ook het doel van een rit bepaalt mede het gebruikspatroon. Een rit met het gezin naar een recreatiepark zal anders verlopen dan een rit van een vertegenwoordiger die een bepaald aantal klanten op een dag moet bezoeken.

Binnen dit project zijn er randvoorwaarden gesteld aan de toepassing en het gebruik. Uitgangspunt van het praktijkexperiment is de toepassing in het zakelijk personenverkeer. Er is om verschillende redenen voor deze toepassing gekozen. Allereerst is de Audi duo gebaseerd op de Audi A4 Avant, een auto die veel voor het zakelijk verkeer wordt ingezet. Een belangrijk aspect is tevens de combinatie van ritten in de stedelijke omgeving en ritten van en naar (grote) steden omdat de verwachting is dat de hybride auto daar het best tot z'n recht komt. Van het zakelijk personenverkeer valt te verwachten dat er voldoende spreiding bestaat tussen ritten in de stad en buiten de stad.

Selectie gebruikers

Bij de selectie van met name de gebruikers in de A-groep is rekening gehouden met de factoren hierboven beschreven. Voor de selectie van gebruikers is allereerst een indeling naar doelgroepen gemaakt. Een inventarisatie heeft geleid tot de volgende doelgroepen:

- vertegenwoordigers
- consultants
- artsen
- koeriers
- taxi's
- gemeentelijke diensten
- energiebedrijven.

De lijst is zeker niet volledig. Echter de indeling is gemaakt om de selectie van gebruikers te vergemakkelijken. Bij de indeling is geprobeerd om spreiding te krijgen in toepassing en gebruik van de Audi duo. Hierbij is gelet op een aantal factoren die hierop van invloed kunnen zijn: veel/weinig snelweg ritten, veel/weinig stadsritten, sportief/minder sportief rijden, zuinig/niet zuinig rijden, weinig/geen mogelijkheid tot opladen tijdens werktijd, etc. Getracht is uit elke doelgroep een bedrijf en/of instelling te verkrijgen om deel te nemen aan het praktijkexperiment. Dit is slechts gedeeltelijk gelukt. De contacten met gemeentelijke diensten hebben niet tot deelname kunnen leiden. De doelgroepen taxi's en koeriers zijn uiteindelijk bewust buiten het experiment gelaten omdat deze niet erg geschikt leken voor deelname aan een praktijkexperiment. Als extra doelgroep zijn twee onderzoeksinstellingen opgenomen (ECN, CROW). Beide instellingen voeren onderzoek uit op het gebied van energie. Uiteindelijk zijn er gebruikers uit de bedrijven/instellingen geselecteerd volgens Tabel 2.1.

Tabel 2.1 *Selectie bedrijven/instellingen in relatie tot doelgroepen*

Instelling/bedrijf	Doelgroep
RBB	Vertegenwoordigers
Huisartsen	Artsen
ECN	Overige
REMU	Energiebedrijven
NUON	Energiebedrijven
Ernst & Young	Consultants
CROW	Overige

Het belangrijkste doel van de indeling en selectie van doelgroepen is om een groep met gebruikers te verkrijgen die allemaal in aanmerking komen als doelgroep voor een hybride auto: namelijk de zakelijke autorijder. Door de wijze van indelen en selectie wordt een groep met verschillende gebruikers verkregen die ieder hun eigen patronen hanteren bij het rijden. Al de mogelijke toepassingen van de hybride auto zullen op deze manier zoveel mogelijk voorkomen in de zes maanden dat het praktijkexperiment duurt. Dit komt ten goede aan interpretatiemogelijkheden en aan de betrouwbaarheid van de resultaten van het onderzoek. De indeling in doelgroepen zal niet worden gebruikt om milieuprestaties en conclusies per doelgroep te formuleren. Hiervoor zijn de doelgroepen door te weinig verschillende bedrijven vertegenwoordigd. Ook het aantal deelnemers zou dan vele malen groter moeten zijn. Wel zullen bij de presentatie van de inventarisatie van de meetgegevens de opmerkelijke verschillen tussen de doelgroepen, voor zover ze aanwezig zijn, kwalitatief worden besproken (zie Paragraaf 3.2.3).

Toepassing

De Audi duo heeft specifieke toepassingsmogelijkheden. Door de verschillende aandrijvingen en de mogelijkheid die de bestuurder heeft om tussen deze aandrijvingen te schakelen kan de juiste aandrijving voor de juiste toepassing of soort rit worden gebruikt. Om de analyse van dit aspect te kunnen maken wordt de stand van de keuzeschakelaar, de gebruikte aandrijving en de voertuigsnelheid geregistreerd door het meet- en registratiesysteem. Verder worden de gemaakte ritten onderverdeeld in stads-, buitenweg-, en snelwegritten. Op deze manier kunnen de meetgegevens ingedeeld worden naar de verschillende ritpatronen en kan onderzocht worden voor welke soort rit welke aandrijving de beste milieuprestaties oplevert. De indeling naar en de inventarisatie van stads-, buitenweg-, en snelwegritten wordt besproken in Paragraaf 3.2.2. De analyse wordt beschreven in Hoofdstuk 5.

2.2.3 Gedrag van de bestuurder

Ook het gedrag van de bestuurder heeft invloed op de milieuprestaties. Het belangrijkste kenmerk van de Audi duo waar het gedrag van de bestuurder invloed op heeft is het gebruik van de keuzeschakelaar. De Audi duo is een parallel hybride waarbij de bestuurder zelf met een keuzeschakelaar de aandrijving van het voertuig kan bepalen:

- Elektrische aandrijving, de elektro-stand van de keuzeschakelaar.
- Conventionele dieselaandrijving, de diesel-stand van de keuzeschakelaar.
- Hybride aandrijving, de duo-stand van de keuzeschakelaar. De hybride aandrijving houdt in dat het voertuig zelf bepaalt (op grond van onder andere het benodigde vermogen) welke aandrijflijn (elektrisch of diesel) wordt gebruikt.

Omdat het energieverbruik en de emissies verschillen tussen het rijden met de elektrische aandrijving en de dieselaandrijving heeft het hanteren van de keuzeschakelaar een duidelijk effect op de milieuprestaties. Dit is een specifiek aspect van de Audi duo. Een aantal andere aspecten van het gedrag speelt bij elke auto, zoals bijvoorbeeld acceleratie. Bij de analyse van het gedrag van de bestuurder zullen beide soorten aspecten worden meegenomen, echter met de nadruk op de aspecten die voortkomen uit de uitvoering van de Audi duo als hybride auto.

Door middel van een meet- en registratiesysteem worden de verschillende gedragskarakteristieken, waaronder het gebruik van de keuzeschakelaar, geregistreerd. De gemeten data worden vervolgens omgezet naar gedragsparameters. Hoofdstuk 5 behandelt de analyse van het gedrag.

2.3 Marktintroductie

Gebruikers uit beide gebruikersgroepen hebben tweemaal een enquête voorgelegd gekregen: voorafgaand aan de kennismaking met de Audi duo en na afloop van de gebruikersperiode. De enquêtes bevatten vragen die inzicht moeten geven in het profiel van de gebruikers en de ervaringen.

- **Profiel.** Het profiel van de gebruiker wordt bepaald ten behoeve van het vaststellen van de spreiding binnen de groep. Het gaat hierbij om gegevens die van belang kunnen zijn bij het interpreteren van de gebruikerservaringen. De profielen worden niet gekoppeld aan de rijpatronen.
- **Ervaringen.** De ervaringen van bestuurders worden geanalyseerd om mogelijke marktintroductiebelemmeringen te identificeren. De verwachting van de gebruiker voorafgaand aan het rijden met de Audi duo wordt vergeleken met positieve en/of negatieve ervaringen.

De twee enquêtes zijn in samenwerking met een daarin gespecialiseerd bureau opgesteld:

- **Enquête I** voor vaststelling van het profiel van de gebruikers. Voorbeelden van benodigde gegevens betreffende de gebruikersgroep zijn: profiel van de bestuurders (leeftijd, geslacht, rijpatroon en rijervaring), kennis over batterij-elektrische en hybride voertuigen, verwachtingen ten aanzien van de Audi duo. Deze enquête is voorafgaand aan het praktijkexperiment aan de gebruikers voorgelegd.
- **Enquête II** voor vaststelling ervaringen en leereffecten van de gebruikers. Deze enquête is na afloop van het praktijkexperiment aan gebruikers voorgelegd om vast te stellen of de Audi duo aan de verwachtingen voldoet en of er positieve of negatieve ervaringen zijn. Om te voorkomen dat ervaringen meer op de Audi duo zelf dan op de specifieke aandrijftechniek van de hybride auto betrekking hebben, zijn de vragen gericht op de specifieke aspecten van de hybride auto (keuzeschakelaar, opladen, acceleratiegedrag, geluid, e.d.) Vooral op basis van de antwoorden op de open vragen wordt duidelijk wat de belangrijkste kansen en belemmeringen voor marktintroductie zouden kunnen zijn.

Voor de gebruikers van groep A kan de informatie uit de enquête worden gerelateerd aan de rijgegevens. Bovendien kan in deze groep worden geconstateerd of ervaringen blijvend zijn of dat sprake is van gewenning, dat wil zeggen aanpassing van het gebruikersgedrag aan het voertuig. De gegevens verzameld door het meet- en registratiesysteem kunnen hier inzicht in geven. In groep B is het aantal gebruikers gemêleerder dan in groep A. Hierdoor zal een beter idee ontstaan over mogelijke marktintroductiebelemmeringen, terwijl op grond van de enquêtes van groep A de mogelijke belemmeringen beter geanalyseerd kunnen worden.

In Paragraaf 3.3 wordt de opzet van de enquêtes verder uitgewerkt en wordt een inventarisatie gegeven van de antwoorden. In Hoofdstuk 6 wordt verder op de analyses van de enquêtes ingegaan. In Bijlage B zijn de enquêtes opgenomen.

3 UITVOERING

3.1 Inleiding

Om de milieuprestaties te kunnen analyseren is een meet- en registratiesysteem ingebouwd in drie van de tien Audi duo's. Dit systeem registreert belangrijke parameters van het voertuig om de technologie van het voertuig, de toepassing van het voertuig en het gedrag van de bestuurders te kunnen beschouwen. Om dit systeem te dimensioneren en correct te laten functioneren voor de periode van het praktijkexperiment is een plan van aanpak opgesteld. Paragraaf 3.2 beschrijft dit plan. Eerst wordt een overzicht gegeven van het voertuig. Hierin wordt een aantal specifieke componenten van de parallel hybride Audi duo behandeld en wordt uitleg gegeven hoe het voertuig tijdens diesel en elektrisch rijden wordt aangedreven. Daarna wordt een opsomming gemaakt van invloeden die in het kader van het praktijkexperiment onderzocht worden. Als laatste wordt aandacht geschonken aan het meet- en registratiesysteem.

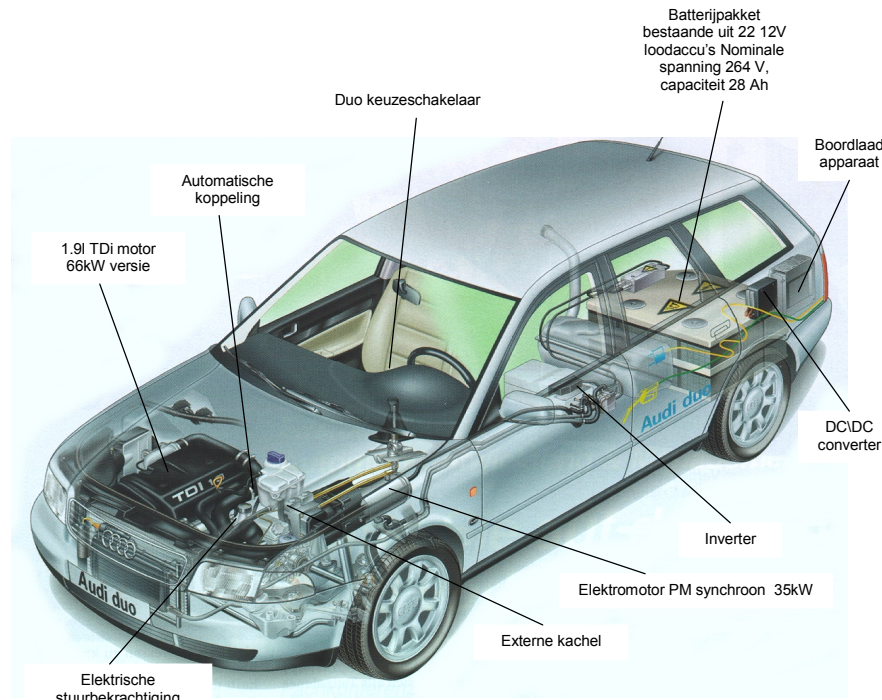
Paragraaf 3.2 behandelt verder de verwerking van de gemeten data en sluit af met een inventarisatie van deze data. De enquêtes die zijn opgezet om de marktintroductiebelemmeringen te kunnen analyseren, worden in Paragraaf 3.3 besproken. Ook hier wordt een inventarisatie gegeven van de bevindingen.

3.2 Data-acquisitie ten behoeve van milieuprestaties

3.2.1 Opzet data-acquisitie

Analyse van het voertuig

Om te bepalen hoe de instrumentatie van het voertuig er uit moet zien, is het noodzakelijk het voertuig in kaart te brengen. De Audi duo is een parallel hybride voertuig waarin een aantal, voor dit type aandrijflijn specifieke componenten zijn geïntegreerd. In Figuur 3.1 zijn deze componenten aangegeven.

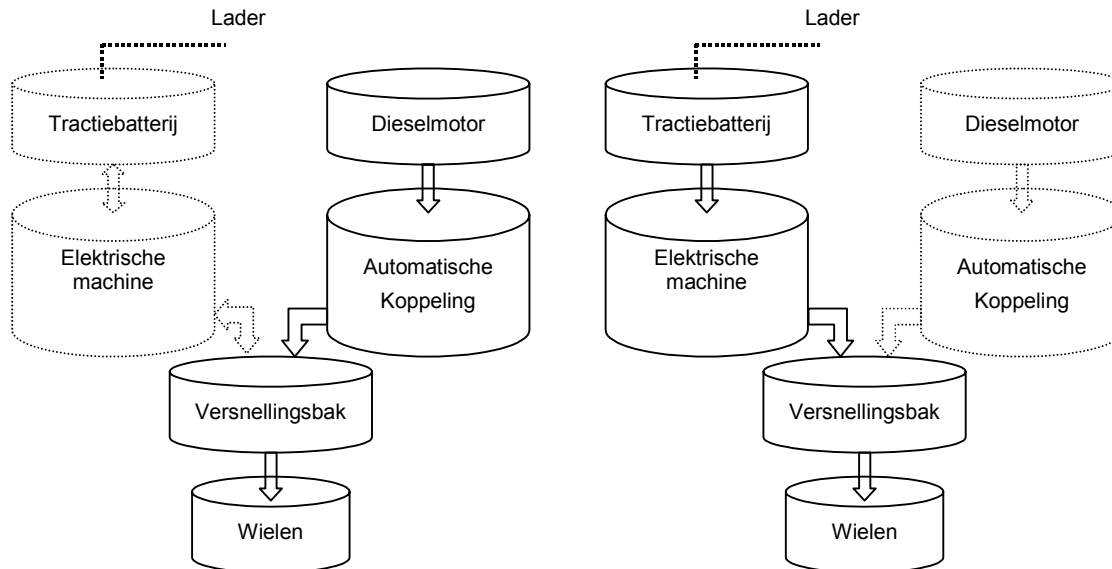


Figuur 3.1 *Benoeming componenten Audi duo*

Het parallel hybride systeem bestaat uit twee aandrijflijnen die afzonderlijk van elkaar kunnen worden gebruikt, maar in het geval van opwekken van elektrische energie ook samen werken.

Ten eerste het conventionele systeem dat gebruik maakt van de 1.9 liter TDI 66 kW dieselmotor. De motor is gekoppeld aan de versnellingsbak via de automatische koppeling. Dit maakt het mogelijk dat de bestuurder schakelt zonder zelf een koppelingspedaal te bedienen. Het vermogen dat door de motor wordt geleverd wordt via de koppeling en de versnellingsbak aan de wielen afgegeven. In Figuur 3.2 is verklaard hoe het voertuig wordt aangedreven in dieselbedrijf.

Daarnaast is er een elektrisch aandrijfsysteem aanwezig. De elektrische energie is opgeslagen in een batterijpakket dat achter in het voertuig is gepositioneerd. Het batterijpakket bestaat uit 22 lood-zwavelzuur cellen van 12 Volt en heeft een energie-inhoud van ongeveer 10 kWh. Voor de aandrijving van het voertuig is een PM synchroon elektrische machine met een piekvermogen van 35 kW geplaatst aan de achterzijde van de versnellingsbak. Deze levert bij gebruik als elektromotor een vrijwel constant koppel bij verschillende toerentallen. Het in dit bedrijf geleverde vermogen van de elektromotor wordt ook hier via de handgeschakelde versnellingsbak naar de wielen geleid. Om er tijdens elektrisch bedrijf voor te zorgen dat de elektrische machine niet de dieselmotor gaat aandrijven, wordt de automatische koppeling zo bekrachtigd dat deze er voor zorgt dat er geen verbinding bestaat tussen versnellingsbak en dieselmotor. Figuur 3.2 laat de energiestromen zien tijdens diesel- en elektrisch bedrijf.



Figuur 3.2 Schematisch overzicht energiestromen dieselaandrijving (links) en elektrische aandrijving (rechts)

Om de aansturing van de elektrische machine goed te laten verlopen is een inverter nodig. Deze zorgt voor de aanpassing van het niveau van de batterijspanning en een correcte aansturing van de elektrische machine.

Met behulp van de duo keuzeschakelaar kan er gewisseld worden tussen de aandrijflijnen. De keuzeschakelaar beschikt over 3 standen: de diesel, de elektrische en de duo-stand. In de diesel- en elektro-stand wordt respectievelijk de diesel en de elektrische aandrijving ingeschakeld. Wordt de duo stand gekozen dan kiest de elektronica van het voertuig zelf de aandrijfbron afhankelijk van de toestand van een aantal voertuigparameters. Daarbij wordt gestreefd naar zoveel mogelijk elektrisch rijden. Indien er relatief weinig vermogen wordt gevraagd voor de aandrijving van het voertuig wordt gekozen voor elektrisch bedrijf. Ook wanneer de ladingstoestand van de tractiebatterij laag is wordt overgeschakeld op elektrisch bedrijf. In de duo stand kan de gebruiker ook zelf de aandrijving van de auto omschakelen. Wanneer er elektrisch wordt gereden en het gaspedaal geheel wordt ingetrapt (kick down) wordt de dieselmotor gestart.

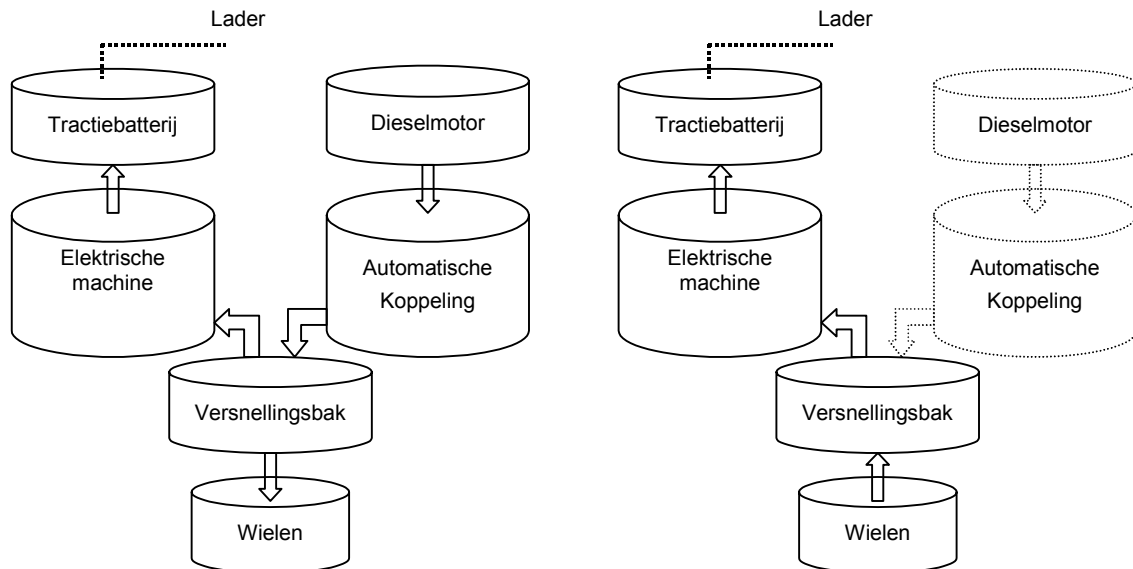
Daarnaast is er nog een aantal specifieke componenten in het voertuig geïntegreerd. De belangrijkste zijn het elektrische stuur- en rembekrachtigingsysteem. In een conventioneel voertuig zijn voor deze systemen pompen aangebracht die worden aangedreven door de verbrandingsmotor. In het geval van een hybride voertuig moet ook tijdens elektrisch bedrijf van deze systemen gebruik worden gemaakt. Omdat de verbrandingsmotor op dat moment niet werkt, worden de pompen elektrisch uitgevoerd. Ook is een op diesel werkende standkachel in het voertuig geïntegreerd om tijdens elektrisch bedrijf de temperatuur in het interieur op niveau te kunnen houden. In elektrisch bedrijf vragen deze drie genoemde systemen tezamen teveel vermogen voor de 12 V batterij. In het voertuig is om deze reden een DC/DC converter geplaatst. Deze zet de tractiebatterijspanning van 264 Volt om in een spanning van 14.4 Volt.

De elektrische aandrijving is bidirectioneel, dit betekent dat de elektrische machine als motor en als generator kan werken. In generator bedrijf zet de inverter de opgewekte spanning en stroom om naar een gelijkspanning waarmee de tractiebatterij gevoed wordt. De tractiebatterij kan op drie verschillende manieren worden opgeladen:

1. Door het voertuig via de stekker aan het stopcontact te verbinden. Hierdoor treedt het boordlaadapparaat in werking, dat ervoor zorgt dat de wisselspanning van 220 V wordt omgezet in een gelijkspanning waarmee de tractiebatterij wordt geladen.

2. In dieselbedrijf. Er wordt geladen wanneer het voertuig op diesel rijdt. De ladingstoestand van de tractiebatterij wordt hierdoor tijdens het rijden verhoogd. De dieselmotor drijft in dit geval via de koppeling en de versnellingsbak de elektrische machine aan. Deze gaat op dat moment werken als generator en levert via de inverter energie aan de tractiebatterij.
3. Tijdens regeneratief remmen. Door de elektromotor tijdens remmen als generator te laten werken, zorgt deze ervoor dat een gedeelte van de remenergie wordt teruggewonnen.

Het laden van de tractiebatterij, zoals beschreven bij de punten 2 en 3, geschiedt niet als de ladingscapaciteit van de tractiebatterij hoog is. Figuur 3.3 geeft de energiestromen in deze twee toestanden weer.



Figuur 3.3 Opladen batterij met dieselmotor (links) en door regeneratief remmen (rechts)

Inventarisatie te onderzoeken invloeden en meetsignalen

Aan de hand van de technische analyse van het voertuig is een inventarisatie gemaakt van de parameters van het voertuig die in het kader van dit onderzoek mogelijk van invloed kunnen zijn. De parameters zijn opgesplitst in drie groepen, te weten: effect op het milieu, analyses van het gebruik van het voertuig en van het gedrag van het voertuig (zie Tabel 3.1).

Tabel 3.1 *Overzicht te onderzoeken parameters*

Inzicht in	Te onderzoeken parameters
Hoe wordt het voertuig op de weg gebruikt? (effect op milieu)	• Ritpatronen, snelheid voertuig • Toerentallen elektro- en dieselmotor • Ingeschakelde versnelling • Gebruikte energiebron • Motortemperatuur op moment van starten dieselmotor • Ladingstoestand tractiebatterij begin en tijdens rit • Totaal energiegebruik (elektrisch en diesel)
Hoe gebruikt de bestuurder het voertuig?	• Stand keuzeschakelaar en gebruikte aandrijfbron • Inzet voertuig (wegtype) • Ladingstoestand tractiebatterij tijdens rit • Gaspedaalstand • Dynamiek van de ritten (acceleratiegedrag) • Remgedrag • Totaal energiegebruik (elektrisch en diesel) • Ingeschakelde versnelling (schakelgedrag) • Gebruikt toerentalbereik elektro- en dieselmotor
Hoe gedraagt het voertuig zich?	• Energiebalans (energiestromen) • Energie gewonnen uit regeneratief remmen • Koudstartgedrag • Laadstrategie tractiebatterij tijdens dieselbedrijf • Oplaadcycli tractiebatterij vanuit stopcontact

Om antwoord te geven op bovenstaande vragen is de lijst vertaald naar signalen die gemeten moeten worden aan het voertuig. Eerst is voor elke parameter bekeken welke meetsignalen benodigd zijn. Bovendien is het fysieke bereik van de signalen, het type signaal (digitaal of analoog), hoe het signaal te meten/af te leiden en op welke locatie het signaal aanwezig is, onderzocht. Voorbeelden van signalen die worden gemeten zijn de snelheid van het voertuig, de gaspedaalstand en de stand van de keuzeschakelaar. Tabel 1 in Bijlage A geeft het resultaat van bovenstaande exercitie weer.

Meet- en registratiesysteem

Een standaard systeem voor deze toepassing is niet voorhanden en moest worden aangeschaft. In dit project mag het gedrag van de bestuurder en zijn respons op het experiment niet worden beïnvloed door de aanwezigheid van een dergelijk systeem. Vereist is bovendien dat het systeem zo min mogelijk opvalt in het voertuig, dat het geen extra storingen tijdens het gebruik van het voertuig mag veroorzaken en dat het systeem zelf zo min mogelijk onderhoud nodig heeft. Ook mag het meet- en registratiesysteem niet teveel energie gebruiken omdat dit anders de energiebalans van het voertuig verstoort. Aan de hand van de te monitoren parameters en opgestelde eisen is een systeem aangekocht dat geschikt is voor deze toepassing. Het systeem is in drie voertuigen ingebouwd en vervolgens, voordat het praktijkexperiment daadwerkelijk van start ging, uitvoerig getest. Een beschrijving van het meet- en registratiesysteem en de parameters die worden gemeten, is te vinden in Bijlage A.

Het meet- en registratiesysteem is zodanig geconfigureerd dat als de contactsleutel wordt omgedraaid, elke seconde alle signalen worden gemeten en opgeslagen. De parameters die door het meet- en registratiesysteem zijn geregistreerd, zijn met een vaste termijn vanuit de dataopslag eenheid uitgelezen. In Figuur 3.4 volgt een foto van een ingebouwd systeem in één van de drie Audi duo's.



Figuur 3.4 Meet- en registratiesysteem ingebouwd in een Audi duo

3.2.2 Dataverwerking

In de periode dat de drie geïnstrumenteerde voertuigen rond hebben gereden is er een aantal maal data uitgelezen. De geregistreerde data zijn van de geheugenkaartjes gekopieerd. Omdat er elke seconde ongeveer dertig signalen worden geregistreerd, levert een aantal uren signalen opslaan een grote hoeveelheid aan data op. Om deze data te kunnen verwerken en relatief eenvoudig te kunnen analyseren is ervoor gekozen een speciale database op te zetten waarin alle gegevens met betrekking tot het praktijkexperiment zijn opgeslagen. In Bijlage D wordt de opzet van de database nader toegelicht.

Voor de dataverwerking zijn de gemeten data geselecteerd naar bruikbaarheid. De volgende criteria zijn daarbij gehanteerd:

- Wanneer er geen gebruiker bekend was zijn de data niet meegenomen.
- Ritten van leden van het projectteam en gebruikers die slechts één rit met de Audi duo hebben gemaakt zijn niet meegenomen.
- Twee procent van de ritten is niet meegenomen vanwege een defecte stroommeter. Het energiegebruik van deze ritten kan niet worden vastgesteld.

De gemeten data zijn daarna volgens een aantal criteria ingedeeld naar gebruik. Om deze indeling mogelijk te maken is er onderscheid gemaakt in modules en ritten. Een module is gedefinieerd van stop tot stop, dus van snelheid 0 km/u tot snelheid 0 km/u. Een rit is gedefinieerd van contact aan tot contact uit. Een rit bestaat dus meestal uit verschillende modules. De modules zijn vervolgens verdeeld in stadsmodules, buitenwegmodules en snelwegmodules. Omdat het meet- en registratiesysteem niet kan meten of het voertuig in de stad, op de buitenweg of op de snelweg rijdt zijn er criteria vastgesteld om de modules in te delen. Deze criteria zijn gebaseerd op de snelheid van het voertuig dat gemeten is door het meet- en registratiesysteem. Tabel 3.2 laat de criteria zien die gebruikt zijn voor deze indeling. Omdat data verdeeld zijn op basis van

de snelheidsregimes is het onvermijdelijk geweest dat een percentage van de data niet toe te kennen viel aan stad, buitenweg of snelweg. Hierdoor is 23% van de data niet meegenomen.

Tabel 3.2 *Criteria op module*

Soort rit	Snelheidsregime [km/u] in % van de tijd	Maximum snelheid [km/u]	Lengte van de module [m]
Stad	0-60 $\geq$ 80%	$\leq$ 75 km/u	> 1
Buitenweg	60-90 $\geq$ 30%	$\leq$ 110 km/u	
	$\geq 90 < 50\%$		
Snelweg	$\geq 90 \geq 50\%$		
	0-60 $\leq$ 20%		

Deze criteria resulteren in het overzicht gegeven in Tabel 3.3. De tabel geeft voor de verschillende modules aan wat de gemiddelde snelheid, de maximale snelheid en gemiddelde module lengte is. Ook geeft de tabel aan wat de karakteristieken zijn van de modules die buiten beschouwing worden gelaten.

Tabel 3.3 *Overzicht stad-, buitenweg-, snelwegmodules*

Soort rit	Gemiddelde snelheid [km/u]	Maximum snelheid [km/u]	Module lengte [km]	Totale afgelegde weg [km]
Stad	22	75	0,4	6332
Buitenweg	58	110	5	8554
Snelweg	102	174	45	20686
Buiten beschouwing				10627
Totaal				46200

Een data-verwerkingsprogramma is ontworpen om de gegevens in modules en ritten te kunnen indelen en het zo mogelijk te maken om de data op verschillende wijzen te inventariseren en analyseren. De opzet van het data-verwerkingsprogramma is te vinden in Bijlage D. Paragraaf 3.2.3 geeft een inventarisatie van de gemeten data.

3.2.3 Inventarisatie data

Algemeen

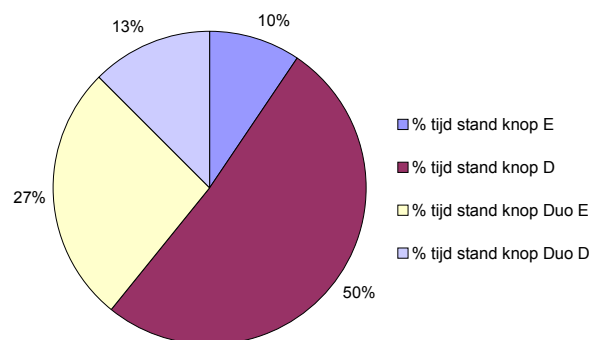
Voor de algemene inventarisatie zijn al de gemeten data meegenomen, dus ook de data waarvan niet kon worden vastgesteld of het een stadsrit, een buitenwegrit of een snelwegrit betroffen. Dit is gedaan omdat anders geen goed overzicht te krijgen is van onder andere het totale energiegebruik en het rendement.

In totaal is er door de gebruikers van groep A in zes maanden 46.200 kilometer afgelegd verdeeld over 3630 ritten. Van de ritten is 7 % volledig elektrisch gereden, 4 % volledig diesel en in 89 % van de ritten hebben beide aandrijfsystemen afwisselend vermogen geleverd. Tabel 3.4 laat de verdeling zien tussen beide aandrijfsystemen over tijd en afstand. Aangezien de diesel-aandrijving meer vermogen kan leveren en dus voornamelijk op de langere ritten en bij hogere snelheden wordt ingezet, is het percentage diesel over afstand groter dan het percentage diesel over de tijd.

Tabel 3.4 *Verdeling aandrijfsystemen naar tijd en afstand [%]*

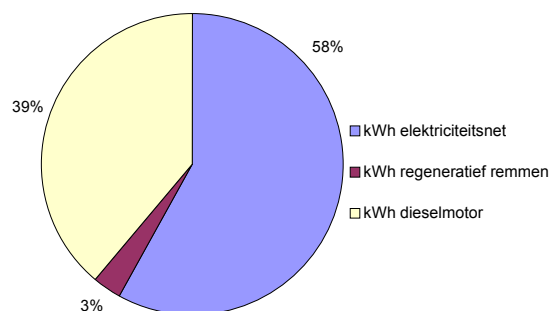
	Afstand	Tijd
Elektrisch	21	37
Diesel	79	63

Aan de hand van Figuur 3.5 is inzicht te verkrijgen in het gebruik van de keuzeschakelaar. Te zien is dat slechts 10% van de tijd de keuzeschakelaar op de elektro-stand is gezet, 50% van de tijd op diesel en 40% van de tijd op de duo-stand. Echter op het moment dat de keuzeschakelaar op de duo-stand is gezet is 66% van de tijd elektrisch gereden. De duo-stand kan dus beschouwd worden als een soort elektro-stand waarbij de aandrijving makkelijk om te zetten is van elektrisch naar diesel. Dit kan dan namelijk via het gaspedaal, de keuzeschakelaar hoeft niet te worden gebruikt.



Figuur 3.5 *Gebruik keuzeschakelaar*

In totaal is er 450 keer geladen uit het net waarbij 2045 kWh is geladen. Dit komt neer op gemiddeld 22 elektrische kilometers per lading. Figuur 3.6 laat zien dat 58% van de geladen kWh uit het net komt. De rest van de elektrische energie wordt opgewekt door het regeneratief remmen (3%) en de dieselmotor (39%). In totaal is er 3415 kWh geleverd aan de batterij waarvan de batterij 63% heeft geleverd voor de aandrijving van het voertuig en de andere elektrische systemen in de auto (onder andere de stuurbekrachtiging). Dit duidt op een rendement van het laadsysteem inclusief batterij van 63%.



Figuur 3.6 *Geleverde elektrische energie*

Tabel 3.5 geeft een overzicht van het energiegebruik. Hierbij is onderscheid gemaakt in het energiegebruik specifiek voor de aandrijving (diesel en elektrisch) en voor de zogenaamde randapparatuur (verwarming en elektrische apparatuur). Het energiegebruik voor de aandrijving is gegeven per honderd diesel of elektrische kilometers, het energiegebruik voor de randapparatuur is gegeven per honderd kilometer. Het brandstof- en elektriciteitsverbruik van de randapparatuur maken respectievelijk 3 en 6% uit van het totale brandstof- en elektriciteitsverbruik.

Tabel 3.5 *Energiegebruik*

	Diesel		Elektrisch
Dieselaandrijving	6,8 l/100 km	Elektrische aandrijving	20,3 kWh/100 km
Verwarming	0,2 l/100 km	Elektrische apparatuur (lichten, elektr. bediening)	1,2 kWh/100 km

Inventarisatie datagebruik

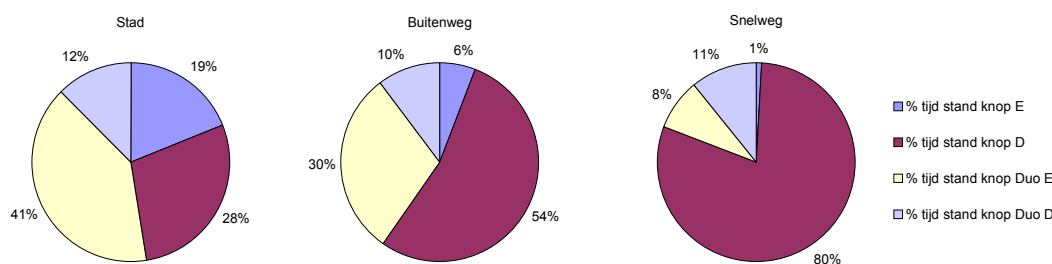
Deze paragraaf geeft een overzicht van parameters met betrekking tot de toepassing en het gebruik van de voertuigen. Om deze data weer te kunnen geven zijn de data verdeeld naar stad, buitenweg en snelweg. De methode van deze verdeling is beschreven in Paragraaf 3.2.2.

Tabel 3.6 laat de verdeling zien van de gereden stad-, buitenweg- en snelwegritten over tijd en afstand. Duidelijk is de invloed van de snelheid te zien: 45% van de tijd wordt in de stad gereden maar daar wordt maar 18% van de afstand afgelegd. Voor de snelweg geldt het omgekeerde. Mede oorzaak van dit effect is de gemiddelde ritlengte. Stadsritten zijn over het algemeen korte ritten waarbij relatief vaak opgetrokken en geremd moet worden, dit brengt de gemiddelde snelheid omlaag.

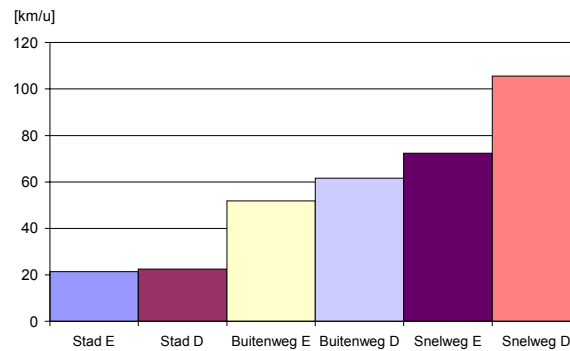
Tabel 3.6 *Verdeling tijd en afstand naar wegtype [%]*

	Tijd	Afstand
Stad	45	18
Buitenweg	23	24
Snelweg	32	58

De invloed van het wegtype op het gebruik van de keuzeschakelaar is te zien in Figuur 3.7. Wanneer stad en snelweg vergeleken worden is duidelijk te zien dat er meer elektrisch is gereden in de stad (60% tegen 9%) en meer diesel op de snelweg (91% tegen 40%). Ook is te zien dat de duostand van de keuzeschakelaar in de stad leidt tot meer elektrisch rijden (77%) en op de snelweg tot meer diesel rijden (58%). De buitenwegrit zit er tussenin.

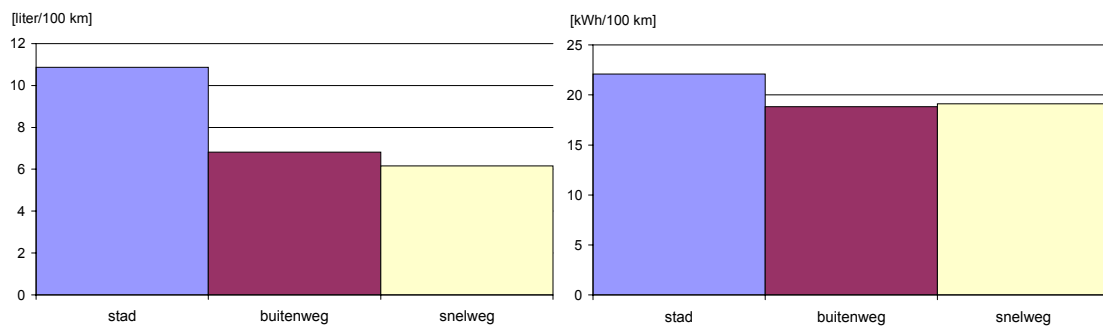
Figuur 3.7 *Gebruik keuzeschakelaar*

Figuur 3.8 laat de gemiddelde snelheid zien van een stads-, buitenweg- en snelwegrit met elektrische- of dieselaandrijving. Voor al de wegtypen ligt de gemiddelde snelheid met de elektrische aandrijving lager dan de gemiddelde snelheid met de dieselaandrijving. In de stad is het verschil klein, hier is de snelheid geen beperkende factor voor de elektrische aandrijving. Op de snelweg liggen de gemiddelde snelheden verder uit elkaar. Hier is de snelheid wel een beperkende factor voor de elektrische aandrijving.



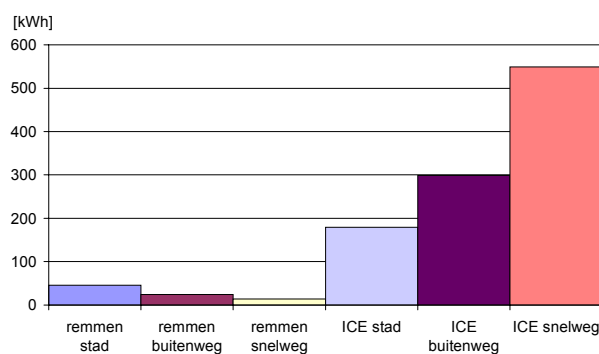
Figuur 3.8 Gemiddelde snelheid voor stad/buitenweg/snelweg met elektrisch/diesel aandrijving

Het energiegebruik (zie Figuur 3.9) vertoont in grote lijnen een te verwachten patroon: in de stad wordt meer energie gebruikt dan op de buitenweg en de snelweg. Wat echter opvalt is dat de verdere verhoudingen tussen het energiegebruik over de wegtypen verschillend zijn voor diesel- en elektromotor. De dieselmotor presteert het energiezuinigst op de snelweg. De elektromotor presteert het energiezuinigst op de buitenweg en is minder efficiënt op de snelweg. Geconcludeerd zou kunnen worden dat de elektromotor bij een hoge snelheid in een minder efficiënt belastingsgebied wordt gebruikt.



Figuur 3.9 Energiegebruik dieselmotor (links) en elektromotor (rechts)

Figuur 3.10 geeft de oorsprong van de gewonnen elektrische energie weer verdeeld over de verschillende rittypes. Er wordt veel meer elektriciteit gewonnen door de dieselmotor (91%) dan door het regeneratief remmen (9%). Vanzelfsprekend wordt er in de stad meer energie opgewekt met regeneratief remmen dan op de snelweg en wordt er op de snelweg veel meer energie opgewekt door de dieselmotor dan in de stad. Redenen hiervoor zijn het vele stoppen in de stad en het met hogere snelheid rijden op de snelweg. Zoals in Figuur 3.6 is te zien wordt in totaal 42% van de geleverde elektriciteit gewonnen door het regeneratief remmen of de dieselmotor (ICE). Het opladen aan het net levert de resterende 58% van de energie.

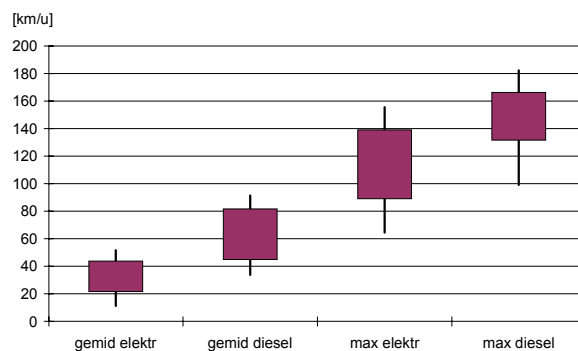


Figuur 3.10 Winning van elektrische energie door regeneratief remmen en dieselmotor

Inventarisatie gebruikersdata

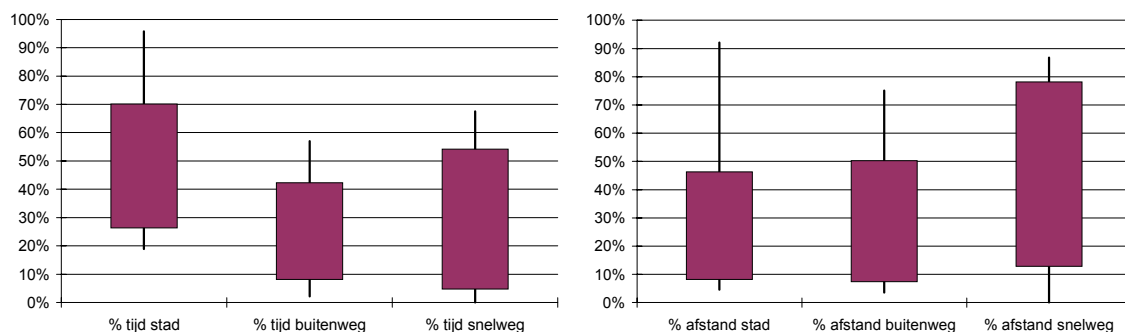
Er is voor gekozen om de gebruikersdata niet per persoon en/of per bedrijf of doelgroep weer te geven. Voor de weergave van de gebruikersdata is gebruik gemaakt van grafieken met bandbreedtes. De blokken in de navolgende grafieken geven 75% van de data weer, de lijnen in de grafiek tonen de bovenste en onderste 12,5% van de data.

Figuur 3.11 laat de gemiddelde en de maximale snelheid voor elektrisch- en dieselbedrijf zien. De Figuur vertoont een te verwachten trend: de snelheden liggen voor dieselbedrijf hoger dan voor elektrisch bedrijf. Naarmate de gemiddelde ritlengte toeneemt, neemt de gemiddelde en de maximale snelheid ook toe, en omgekeerd. Een mogelijke verklaring is dat naarmate de gemiddelde ritlengte toeneemt de kans groter is dat de rit een snelwegrit is en dus een hogere gemiddelde snelheid heeft. De maximumsnelheid voor elektrisch bedrijf ligt hoger dan verwacht. De maximumsnelheden in dieselbedrijf liggen nog hoger en ver boven de maximaal toegestane snelheid op de Nederlandse wegen.



Figuur 3.11 *Spreading in gemiddelde en maximale snelheden*

De verdeling over de tijd en afstand van stad-, buitenweg- en snelwegkilometers is gegeven in Figuur 3.12. De linkerFiguur laat zien dat er naar verhouding veel tijd in de stad wordt doorgebracht. Een vergelijking met de rechterFiguur laat tevens zien dat dit verband houdt met de snelheid. Wanneer gekeken wordt naar de afstand is duidelijk dat de percentages van snelwegen en buitenwegritten hoger liggen omdat de snelheid in die ritten hoger ligt dan die van de stadsritten. Er is een zeer grote spreiding zichtbaar onder de gebruikers. Deze spreiding is het grootst voor de percentages dat er in de stad en op de snelweg is gereden. Er zijn gebruikers die nul procent van de tijd of de afstand op de snelweg gereden hebben. Aan de andere kant zijn er gebruikers die meer dan 90% van de tijd en de afstand in de stad hebben gereden.

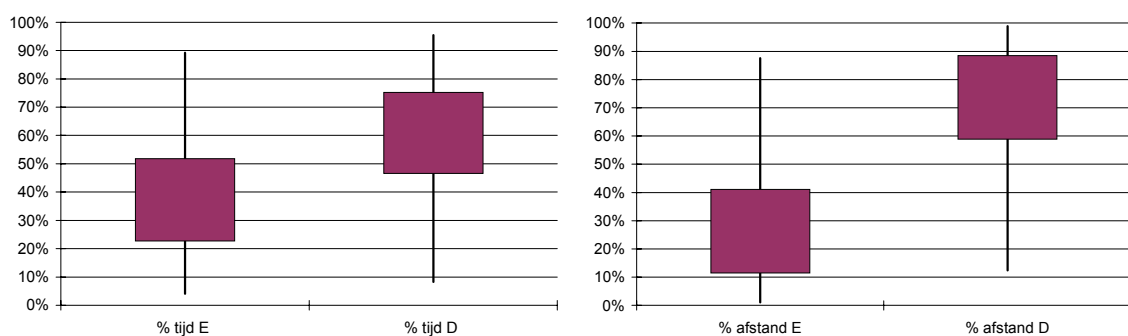


Figuur 3.12 *Spreading in verhouding tijd (links) en afstand (rechts) per ritttype*

Wanneer de resultaten van de deelnemende bedrijven en doelgroepen afzonderlijk worden bekeken vallen er nog wat verschillen op die betrekking hebben op Figuur 3.11 en Figuur 3.12. De artsen maken veel stadsritten (gemiddelde ritlengte 5,5 km) en rijden met een gemiddeld lage snelheid (41 km/u). Werknemers van andere bedrijven, onder andere Ernst & Young, rijden veel snelwegritten (79% van de afgelegde afstand is snelwegrit) en hebben ook een gemiddeld hoge-

re snelheid (65 km/u) en een langere gemiddelde ritlengte (29 km). De verschillen in gemiddelde en maximale snelheid hangen af van het soort werk en ook van persoonlijke kenmerken, zoals woonplaats en vestigingsplaats van het werk.

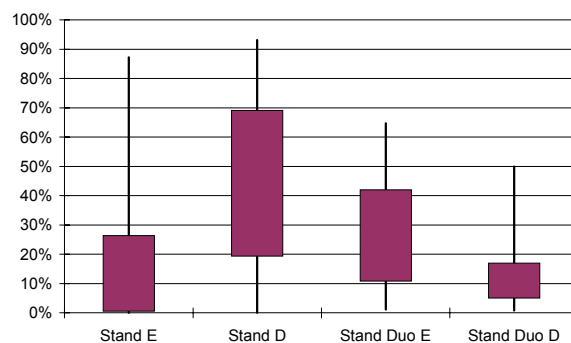
Figuur 3.13 laat de verhouding zien tussen het percentage van de tijd en afstand dat er diesel en elektrisch is gereden. In deze Figuur wordt dezelfde trend waargenomen als bij de verdeling over de tijd en afstand van stad-, buitenweg- en snelwegritten. Het percentage van de afstand dat er met dieselbedrijf is gereden is hoger dan het percentage tijd vanwege de hogere snelheden die gereden worden met de dieselaandrijving. Ook hier is een zeer grote spreiding tussen de gebruikers zichtbaar. Het minimale percentage dat een gebruiker elektrisch heeft gereden is natuurlijk gekoppeld aan het maximale percentage dat dezelfde gebruiker diesel heeft gereden. Er zijn een aantal gebruikers die zeer weinig gewisseld hebben van aandrijving maar de meerderheid (namelijk 75% van de gebruikers, weergegeven door de blokken) heeft redelijk gewisseld tussen de aandrijvingen.



Figuur 3.13 *Spreiding in percentage van tijd en afstand elektrisch en diesel*

Wanneer op gebruikersniveau wordt gekeken is het duidelijk dat naarmate er meer snelwegritten gereden worden en hogere snelheden, er meer van de dieselaandrijving gebruik wordt gemaakt. Andersom wordt er meer gebruik gemaakt van de elektrische aandrijving naarmate er gemiddeld meer stadsritten worden gereden met gemiddeld lagere snelheden.

Het gebruik van de keuzeschakelaar wordt geïllustreerd door Figuur 3.14. De schakelaar is vooral in de diesel- en de duo-stand gezet. In de duo-stand is er meer elektrisch gereden dan in de elektro-stand. Ook is er in de duo-stand meer elektrisch dan diesel gereden. De spreiding in het percentage van de tijd dat een gebruiker in de diesel- of de elektro-stand heeft gereden is erg groot. Voor de diesel- en de elektro-stand komen waarden van 0% en 90% voor. Opvallend is dat er ook een grote spreiding zichtbaar is tussen het percentage dat er in de duo-stand elektrisch of diesel gereden wordt. Blijkbaar oefent de gebruiker hier wel degelijk invloed op uit en is het niet alleen de elektronica achter de keuzeschakelaar die dit bepaalt.



Figuur 3.14 *Spreiding in gebruik keuzeschakelaar percentage van de tijd*

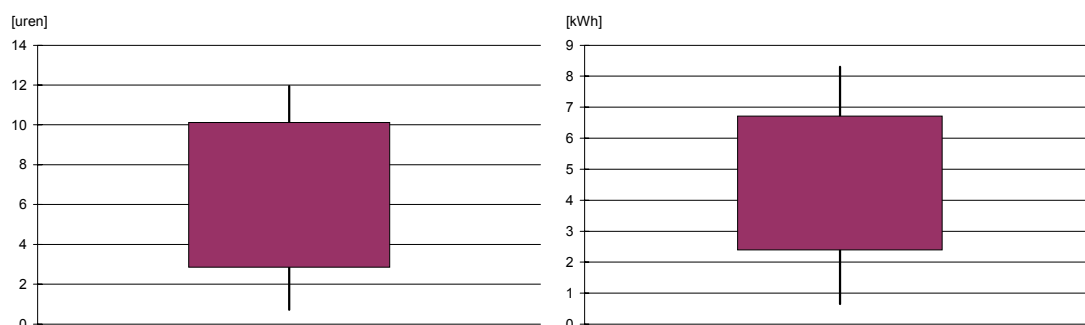
Op bedrijfsniveau kunnen nog wat opmerkingen worden gemaakt. Opvallend is dat de huisartsen de keuzeschakelaar erg vaak in de elektrische stand hebben gezet. Daarnaast werden de diesel- en de duo-stand ongeveer even vaak gebruikt. De artsen rijden elke dag een visiteronde binnen de stad en daarbij werd bijna uitsluitend elektrisch gereden. Verder is de elektrische stand erg weinig gebruikt. Een andere uitschieter is ECN waar de duo-stand veelvuldig is gebruikt door de rijders, vaker dan de diesel en elektrische stand. Een verklaring zou kunnen zijn dat veel rijders in de omgeving van Petten wonen en geen snelweg rijden op een werkdag. Ook kan het werkterrein, energieonderzoek, van de rijders meespelen. Bij Ernst & Young en Remu is de duo-stand ongeveer even vaak gebruikt als de dieselstand, terwijl bij CROW, Nuon en RBB voornamelijk de dieselstand is gebruikt.

Er zijn per gebruiker hele grote verschillen te zien als het gaat om het aantal keer laden aan het net (Figuur 3.15). Uit het diagram is af te lezen dat een aantal gebruikers weinig of geen routine heeft gehad in het opladen aan het net. Het minimum aantal keer laden aan het net per gebruiker is 0,1 keer per dag. Aan de andere kant is er een gebruiker die zijn/haar auto gemiddeld drieëneenhalf keer per dag aan het net heeft opgeladen. Gemiddeld wordt er per gebruiker ongeveer één keer per dag geladen aan het net.



Figuur 3.15 *Spreiding in aantal keer geladen per dag gemiddeld per gebruiker*

Het diagram met het aantal geladen kWh geeft op gebruikersniveau een iets ander beeld. Gebruikers die vaak de Audi duo aan het net hebben opgeladen hebben niet per definitie ook veel kWh geladen. De voornaamste oorzaak is de gemiddelde laadduur. Gebruikers die de Audi duo elke nacht aan het stopcontact hebben opgeladen zullen naar alle waarschijnlijkheid meer kWh hebben geladen dan gebruikers die de auto overdag op het werk hebben opgeladen. Ook kan het voorkomen dat iemand de auto ‘even’ bij een klant of bezoek aan het stopcontact heeft opgeladen. Ook speelt mee dat bij één van de drie bemeterde auto’s het laadsysteem tegen het einde van het praktijkexperiment niet meer goed functioneerde. Ook dit kan een effect hebben gehad op de hoeveelheid geladen kWh. Figuur 3.16 geeft de spreiding weer van het aantal uren en het aantal kWh geladen per lading gemiddeld per gebruiker. Gemiddeld is de batterij ongeveer 7 uur geladen per lading, waarbij er per lading gemiddeld 4,5 kWh is geladen.



Figuur 3.16 *Spreiding in aantal uren per lading (links) en aantal kWh geladen per lading (rechts) gemiddeld per gebruiker*

3.3 Data-acquisitie ten behoeve van marktintroductie

3.3.1 Opzet enquêtes

Profiel

Het profiel van de gebruikers van beide gebruikersgroepen is geïnventariseerd op basis van de eerste enquête die de gebruikers in hebben gevuld voordat ze met de Audi duo gaan rijden. Om de verwachtingen vooraf aan het rijden te kunnen koppelen aan de ervaringen achteraf worden ook hierover de gebruikers vragen voorgelegd in de eerste enquête. De vragen kunnen op de volgende manier gegroepeerd worden:

- Persoonlijke kenmerken: geslacht, leeftijd, opleidingsniveau en -richting.
- Toepassing/gebruik van de auto: jaarkilometrage en aantal afgelegde kilometers op werkdag, percentage kilometers motief (woon-werk/zakelijk/privé), percentage kilometers binnen en buiten bebouwd gebied (stedelijk gebied/buitenweg), karakterisering woonplaats (grote stad/kleinere stad/dorp of platteland), karakterisering werkplaats (grote stad/kleinere stad/dorp of platteland).
- Gedrag: rijstijl (pittig/rustig), tenaamstelling auto (eigen auto/auto van werkgever/lease auto).
- Eigen auto: merk en type, klasse en gewicht, bouwjaar, schakeling (hand/automatisch), brandstof (benzine/diesel/LPG), rapportcijfer eigenschappen.
- Attitude: mening over een aantal stellingen met betrekking tot milieu en hybride auto's, reden van deelname.

Ervaringen

De ervaringen van de gebruikers zijn geïnventariseerd op basis van de tweede enquête die de gebruikers invullen nadat ze met de Audi duo hebben gereden. De vragen kunnen op de volgende manier gegroepeerd worden:

- Technologie: inventarisatie technische problemen
- Ervaringen: aantal dagen ervaring, tevredenheid over de handleiding, tevredenheid over de prestaties van de dieselmotor/elektromotor/combinatie, tevredenheid en gewenning keuzeschakelaar, tevredenheid batterijen, tevredenheid en gewenning opladen, rapportcijfer eigenschappen diesel en elektrische aandrijving, rapportcijfer Audi duo en eigen auto.
- Gedrag: wordt duo/elektro/diesel-stand van de schakelaar veel gebruikt en in welke situaties, aanpassing rijstijl,
- Attitude: mening over een aantal stellingen met betrekking tot hybride auto's, of men in de toekomst over een hybride wil beschikken, wat mag een hybride meer kosten dan een gewone auto, voor welke categorie automobilisten is een hybride auto geschikt.

De verspreiding van de enquêtes is voor beide groepen verschillend verlopen. Gebruikersgroep A heeft, alvorens de Audi duo's te gaan gebruiken, een instructie gekregen. Per bedrijf of instelling is een instructie gegeven aan al de deelnemers. Tijdens deze instructies is uitleg gegeven over de werking van een hybride auto en in het bijzonder van de Audi duo (gebruik keuzeschakelaar en dergelijke). Vervolgens hebben de deelnemers enquête I gekregen en moeten invullen. Daarna is het verdere verloop van het onderzoek nader toegelicht, onder andere de data-acquisitie. De gebruikers in gebruikersgroep A hebben na afloop van de rij-periode van circa twee weken een brief ontvangen met als bijlage de tweede enquête. In de brief wordt de deelnemer gevraagd om de enquête ingevuld te retourneren. Van de gebruikersgroep A zijn al de enquêtes uiteindelijk ontvangen.

Gebruikersgroep B heeft de Audi zelf op moeten halen bij de importeur. Deze procedure is gehanteerd daar de deelnemers niet bij éénzelfde bedrijf werken. Voor deze groep gebruikers heeft de importeur de verspreiding van de enquêtes verzorgd. Bij het ophalen en het retourbrengen van de Audi duo zijn respectievelijk de eerste en tweede enquête voorgelegd aan de gebruikers.

De enquêtes zijn verstuurd naar het marktonderzoeksbureau. In totaal zijn 93 van de 103 gebruikersenquêtes binnen gekomen. Het bureau heeft de enquêtes verwerkt tot een bestand dat bruikbaar was voor de analyses van de enquêtes.

Beide enquêtes zijn opgenomen in Bijlage B. In de volgende paragraaf vindt een inventarisatie plaats van het profiel van de gebruiker (enquête 1), in Hoofdstuk 6 is de analyse van de enquêtes beschreven.

3.3.2 Inventarisatie profiel

Het profiel van de gebruiker probeert een antwoord te geven op de vraag wie in dit praktijkexperiment de gebruiker is van de Audi duo. Het profiel van de gebruiker is van belang voor de interpretatie van de resultaten. Mogelijk kunnen de resultaten van dit onderzoek veralgemeend worden. Wanneer het profiel van de gebruiker erg afwijkt van de gemiddelde (zaken)autorijder dan zijn de resultaten slechts onder bepaalde voorwaarden bruikbaar. Komt het profiel echter redelijk overeen met de gemiddelde (zaken)autorijder dan kunnen de uitkomsten van dit onderzoek tot op zekere hoogte in algemene zin worden geformuleerd.

De gebruikers zijn geselecteerd via een aantal kanalen. Het is moeilijk aan te geven in hoeverre de selectie het profiel van de gebruiker heeft beïnvloed. Selectiecriteria die gehanteerd zijn, zijn de volgende:

- De gebruiker moet normaal gesproken ook de beschikking hebben over een auto.
- De gebruiker moet in staat zijn om de auto thuis en/of op het werk aan het stopcontact op te laden.
- Bij voorkeur moet de gebruiker per dag gemiddeld veel kilometers maken met de auto.

Dit laatste criterium is gesteld omdat de verwachting is dat de auto vanwege de kosten voornamelijk geschikt is voor het zakelijke segment.

Ook de manier van selecteren kan invloed hebben gehad op het profiel van de gebruiker. Voor de A-groep (38% van de gebruikers) is gezocht naar gebruikers bij bedrijven en instanties die vielen binnen de eerder opgestelde lijst van doelgroepen. Voor de B-groep (64% van de gebruikers) zijn methoden als internet en het aanschrijven van individuele zakelijke contacten gebruikt om gebruikers te selecteren. Voor de variabelen van het profiel waarvoor de verdeling in A- en B-groep verschil maakt, zijn hierna de waarden voor beide groepen gegeven. Wanneer de waarden (zo goed als) hetzelfde zijn is het gemiddelde gegeven van de rijders van de A- en B-groep gezamenlijk.

Van de gebruikersgroep is 85% van het mannelijk en 15% van het vrouwelijk geslacht. De leeftijdsopbouw wordt gegeven in Tabel 3.7. De tabel laat de verdeling van de leeftijd zien voor de groep gebruikers. De gegevens van het CBS geven de percentages van de beroepsbevolking. De gegevens van het NIPO (Tabel 3.8) geven de leeftijdsopbouw van de gemiddelde automobilist. Afgezien van een lichte oververtegenwoordiging bij de middelbare leeftijd geconcludeerd kan worden dat de verschillende leeftijdscategorieën van de werkende bevolking en de automobilisten redelijk goed vertegenwoordigd zijn.

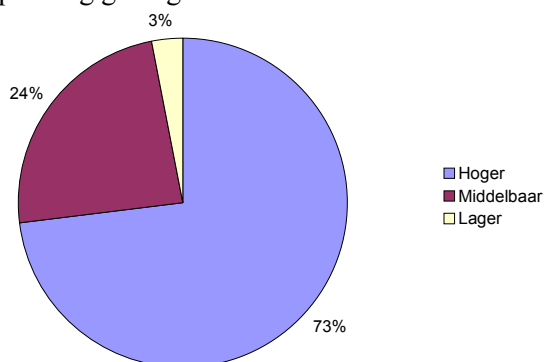
Tabel 3.7 Leeftijdsopbouw deelnemers ten opzichte van beroepsbevolking [%]

Leeftijdscategorie	Gebruikers	Beroepsbevolking (CBS, 2000 a)
14-19	0	3,1
20-24	3	9,7
25-39	41	45,2
40-49	38	25,7
50-64	17	15,9
> 65	0	0,5

Tabel 3.8 *Leeftijdsofbouw deelnemers ten opzichte van automobilisten [%]*

Leeftijdscategorie	Gebruikers	Automobilist (NIPO, 1999)
18-24	3	2
25-34	27	21
35-44	30	26
45-59	39	29
60+	0	21

De meeste gebruikers zijn hoogopgeleid. Figuur 3.17 laat het gemiddelde zien van beide groepen. De hoogst genoten opleiding van beide groepen ligt iets uiteen, al is de tendens wel gelijk. Voor de A-groep geldt dat 68% hoger onderwijs heeft genoten en van de B-groep 76%. De percentages voor lager onderwijs zijn gelijk aan elkaar voor beide groepen. Van beide groepen heeft 56% een technische opleiding gevolgd.



Figuur 3.17 *Opleidingsniveau deelnemers²*

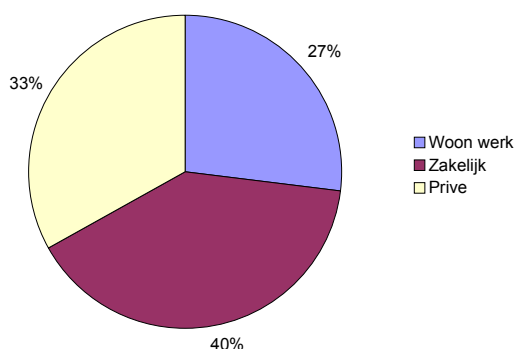
Voor de interpretatie van de resultaten is het van belang om na te gaan wat voor auto de gebruiker zelf tot zijn/haar beschikking heeft. Een luxere of juist minder luxe eigen auto kan het beeld van de gebruiker dat ontstaat over de Audi duo beïnvloeden. De meest vertegenwoordigde merken onder de gebruikers zijn Volkswagen (20%), Audi (11%), Opel (10%), Ford (8%) en Volvo (8%). De overige merken vertegenwoordigen 43%. Tabel 3.9 laat een aantal overige eigenschappen van de auto zien.

Tabel 3.9 *Eigen auto gebruikers [%]*

	Keuzemogelijkheid	Gebruikers	(CBS, 2000 b)
Bezit auto	Eigen auto	70	89
	Lease auto	17	11
	Eigendom werkgever	13	
Schakeling	Handschakeling	88	
	(Semi) automaat	12	
Brandstof	Benzine	56	82
	Diesel	31	13
	LPG	13	5
Segment	Stadsauto	2	
	Kleine middenklasser	16	
	Middenklasser	26	
	Grote middenklasser	47	
	Luxe segment	9	

² Lager: Basisonderwijs, LBO; Middelbaar: MAVO/(M)ULO, MBO, HAVO/VWO/HBS/MMS; Hoger: HBO, WO

De grote lijnen zijn gelijk voor beide groepen; de gebruikers hebben voornamelijk een eigen auto uit het middenklasse segment met handschakeling en rijdend op benzine. Groep B heeft meer auto's in het luxe segment echter groep A heeft een hoger aantal lease-auto's en diesel is een belangrijkere brandstof voor deze groep. Het lijkt er dus op dat in groep A meer zakelijke rijders zitten die veel kilometers maken. Toch is het gebruik van de auto voor beide groepen gelijk. Dit gebruik is te zien in Figuur 3.18. CBS statistieken voor 1997 geven een verdeling van 26% woon-werk, 20% zakelijk, 55% privé. Voor de zakenauto geeft het CBS de volgende verdeling: 15% woon-werk, 64% zakelijk, 21% privé (CBS, 1996).



Figuur 3.18 *Gebruik van de auto*

De gemiddelde jaarkilometrage van de gebruikers wordt gegeven in Tabel 3.10. De afstand gemiddeld afgelegd per dag is voor groep A 125 km, voor groep B 105 km. Ook dit lijkt te duiden op een groter aantal zakelijke rijders in groep A. Volgens het CBS is de gemiddelde jaarkilometrage van een zakenauto gemiddeld twee keer zo hoog als van een privé-auto (respectievelijk ± 30.000 km en ± 15.000 km) (CBS, 1996). Als de verdeling van de kilometers over de motieven en de jaarkilometrages van de gebruikers bekeken wordt, kan geconcludeerd worden dat de gebruikers meer overeenkomen met de zakelijke autorijder dan met de privé autorijder.

Tabel 3.10 *Jaarkilometrage van de deelnemers*

Jaarkilometrage	Percentage deelnemers [%]
< 10.000	5
10.000 - 15.000	15
15.000 - 20.000	10
20.000 - 30.000	24
30.000 - 40.000	20
40.000 - 50.000	11
> 50.000	15

Wat betreft de ervaring en kennis van alternatieve aandrijvingen kan gezegd worden dat ongeveer een kwart van de gebruikers al eerder in een elektrische auto heeft gereden. Zelfs 35% zegt goed of grotendeels bekend te zijn met de rijeigenschappen van een hybride auto. Voor 12% van de gebruikers is het gewicht van de Audi duo (1.675 kg) niet geheel ongebruikelijk, zij hebben zelf een auto waarvan het gewicht meer dan 1.500 kg bedraagt.

De gebruikers geven in de enquête aan dat bij aanschaf van een nieuw voertuig de volgende aspecten belangrijk zijn: prijs, brandstofverbruik, ruimte, betrouwbaarheid, comfort, verkeersveiligheid en wegligging. Neutraal staan de gebruikers tegenover: onderhoudskosten, vormgeving en styling, milieuvriendelijkheid, extra's en uitstraling. Topsnelheid, acceleratie en kleur zijn relatief onbelangrijk bij aanschaf.

De enquête geeft een aantal mogelijke redenen voor deelname aan het praktijkexperiment. Tabel 3.11 laat deze redenen zien met de scores. Ongeveer 90% geeft milieu en interesse in nieuwe technieken als reden voor deelname. Daaruit kan geconcludeerd worden dat het om een groep werkelijk geïnteresseerde mensen gaat. De reden van deelname aan het praktijkexperiment mag niet verward worden met een reden om tot aanschaf over te gaan. Het feit dat ongeveer 70% aangeeft dat de reden voor deelname interesse in nieuwe technieken is, wil niet zeggen dat deze mensen het milieu niet belangrijk vinden.

Tabel 3.11 *Reden van deelname*

Reden deelname	Percentage deelnemers [%]
Leuk om in een nieuwe auto te rijden	2
Belangrijk voor het milieu	18
Interesse in nieuwe technieken	71
Leuk om in een auto van het merk Audi te rijden	1
Heel anders, namelijk	6
Weet niet /niet ingevuld	1

De overige 10% zijn gelijk verdeeld over beide gebruikersgroepen. Onder de noemer heel anders worden onder andere de volgende redenen genoemd:

- voorbeeldfunctie overheid,
- moest van bedrijf,
- schrijf artikel over hybride auto's,
- bedrijfsproef,
- participeer in onderzoek.

4 MILIEUPRESTATIES AUDI DUO

4.1 Inleiding

Om een uitspraak te kunnen doen over de milieuprestaties van de Audi duo, is met behulp van de geregistreerde praktijkdata een set representatieve ritcycli ontwikkeld. Deze ritcycli (snelheid-tijd-patronen) die ieder ongeveer 30 minuten lang zijn, zijn in het laboratorium nagereden op de rollenbank. De uitlaatgasemissies die tijdens het narijden van het patroon worden gevormd, zijn gemeten met een geavanceerd emissiemeetsysteem. Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van deze metingen.

Eerst wordt de analyse van de gemeten praktijkgegevens behandeld (Paragraaf 4.2). Op basis van deze data is een indeling in gebruiksgebieden van de Audi duo gemaakt. De ritcycli zijn afgeleid op basis van de gevonden verdeling. De methodiek van het ontwikkelen van de ritcycli en de randvoorwaarden worden besproken in Paragraaf 4.3. Paragrafen 4.4 en 4.5 behandelen de resultaten van de rollenbankmetingen voor respectievelijk het referentievoertuig en de Audi duo. In de laatste paragraaf worden de uitkomsten van de duo en die van het referentievoertuig met elkaar vergeleken.

4.2 Analyse van de gemeten praktijkgegevens

Om te komen tot representatieve ritcycli voor het werkelijk gebruik van de Audi duo, zijn de geregistreerde praktijkgegevens nader geanalyseerd. Allereerst zijn de praktijkdata geselecteerd naar bruikbaarheid. De volgende criteria zijn daarbij gehanteerd:

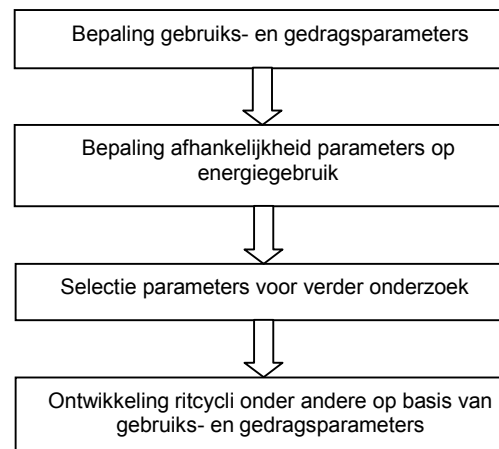
- Alleen ritten langer dan 500 meter zijn meegenomen.
- De data die zijn geregistreerd in de eerste 2 dagen die de gebruiker in de duo heeft gereden, zijn niet meegenomen. In deze periode hebben gebruikers de Audi duo mogelijk uitgeprobeerd en hebben ze moeten wennen aan het voertuig, waardoor de resultaten niet representatief zijn.
- Wanneer er geen gebruiker bekend was, zijn de data niet meegenomen.
- Ritten van leden van het projectteam en gebruikers die slechts één rit met de Audi duo hebben gemaakt zijn niet meegenomen.
- Alleen ritten waarin het meet- en registratiesysteem correct heeft gefunctioneerd zijn meegenomen (98% van alle ritten).

Vervolgens is een eerste indeling van de gegevens gemaakt door de data in te delen in de wegtypen stad, buitenweg en snelweg. Deze indeling naar gebruikskennmerken is gemaakt omdat deze kenmerken een grote invloed hebben op de milieuprestaties van de Audi duo. Voor deze indeling zijn de criteria gebruikt zoals weergegeven in Tabel 3.2.

Elke gereden praktijkrit (gedefinieerd als contact van het voertuig ‘aan’ tot contact ‘uit’) is geanalyseerd. Een rit kan uit meerdere afzonderlijke modules bestaan (stukjes rijpatroon van stop tot stop) die elk afzonderlijk tot een ander wegtype kunnen behoren. Per rit is van elke module afzonderlijk bepaald tot welk wegtype de module behoort. Vervolgens zijn de afzonderlijke modules met hetzelfde wegtype bij elkaar geplaatst, zodat ze per rit een gebruik van het voertuig in een wegtype representeren.

Aan de hand van de door het meet- en registratiesysteem gemeten en daaruit af te leiden parameters, is een overzicht opgesteld van parameters die mogelijk van invloed zouden kunnen zijn op het energiegebruik (elektrisch en diesel) van de Audi duo. Een overzicht van deze parameters is vermeld in Bijlage D. Deze parameters zijn voor elke groep modules binnen een rit berekend.

Met behulp van het statistische programma SPSS is per berekende parameter de correlatie met het energiegebruik van de duo, zowel diesel als elektrisch, onderzocht. De parameters die de meeste invloed hebben op het energiegebruik van de Audi duo zijn gebruikt als basis voor de ontwikkeling van de ritcycli. Figuur 4.1 geeft deze stappen schematisch weer.



Figuur 4.1 *Schematisch overzicht analyses gemeten praktijkgegevens*

De resultaten van de afhankelijkheidsanalyse worden gegeven in Bijlage E. De belangrijkste conclusies worden hier gegeven:

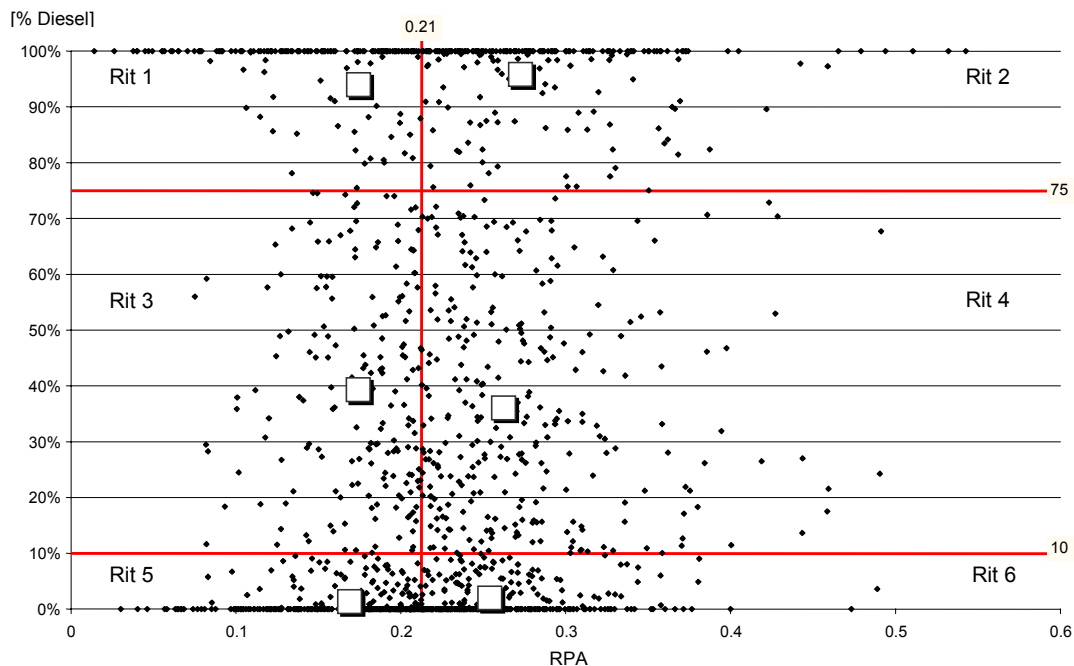
- Voor de stad- en buitenwegritten geven de parameters % diesel en RPA de beste correlatie, dat wil zeggen dat deze parameters de grootste invloed hebben op het energiegebruik. Het % diesel is het percentage van de tijd waarbij met de dieselmotor is gereden. De RPA (Relative Positive Acceleration) is een maat voor de dynamiek van een rit en wordt berekend door de totale energie die nodig is om het voertuig in een rit te accelereren te delen door de verreden afstand. Hoe hoger de RPA waarde, hoe dynamischer de rit. Een relatief hoge RPA waarde kan twee oorzaken hebben:
 1. De rit bestaat uit relatief korte modules waardoor er relatief veel geaccelereerd wordt.
 2. Het rijgedrag van de bestuurder is 'sportief'.
- De beste correlatie in de snelwegritten geven de parameters % diesel en de gemiddelde gaspedaalstand. Het verloop van deze twee parameters verklaren voor een groot deel het energiegebruik.

Voor de gevonden parameters die per wegtype de beste correlatie geven met het energiegebruik, is een overzicht gemaakt van de spreiding van de parameters binnen een wegtype. Figuur 4.2 tot en met Figuur 4.4 geven de spreiding van de parameters weer voor respectievelijk de stad-, buitenweg- en snelwegritten. Ieder puntje in de figuren vertegenwoordigt de gezamenlijke modules van één rit behorend tot het wegtype waarvoor het Figuur is gemaakt.

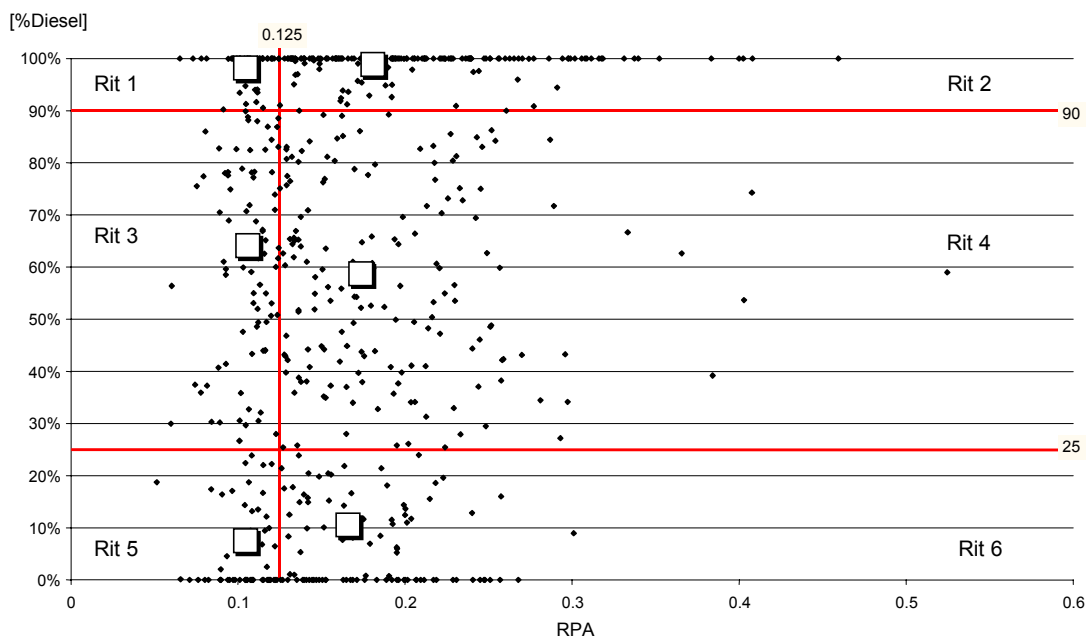
Duidelijk is te zien dat in de stadsritten de spreiding in RPA groter is dan de spreiding in de buitenwegritten. In de snelwegritten blijkt dat de gemiddelde gaspedaalstand hoger is naarmate er meer elektrisch is gereden. Om te komen tot ritcycli die een verschillend gebruik van de Audi duo representeren zijn de modules verdeeld in 14 gebruiksgebieden met een verschillend gemiddeld percentage diesel en RPA respectievelijk gaspedaalpositie. Voor stad en buitenweg zijn ieder zes gebruiksgebieden gedefinieerd en voor de snelweg twee. Dit laatste vanwege de geringe spreiding in percentage diesel. Elk gebruiksgebied wordt gepresenteerd door een combinatie RPA - % diesel of gemiddelde gaspedaalstand - % diesel en wordt in de Figuur met een blokje aangegeven.

Bij de indeling in gebruikersgebieden is er rekening mee gehouden dat er per gebruikersgebied voldoende data beschikbaar zijn en dat de hoeveelheid data redelijk goed verspreid is tussen de verschillende gebruiksgebieden binnen de stads-, buitenweg- en snelwegritten. De verschillende

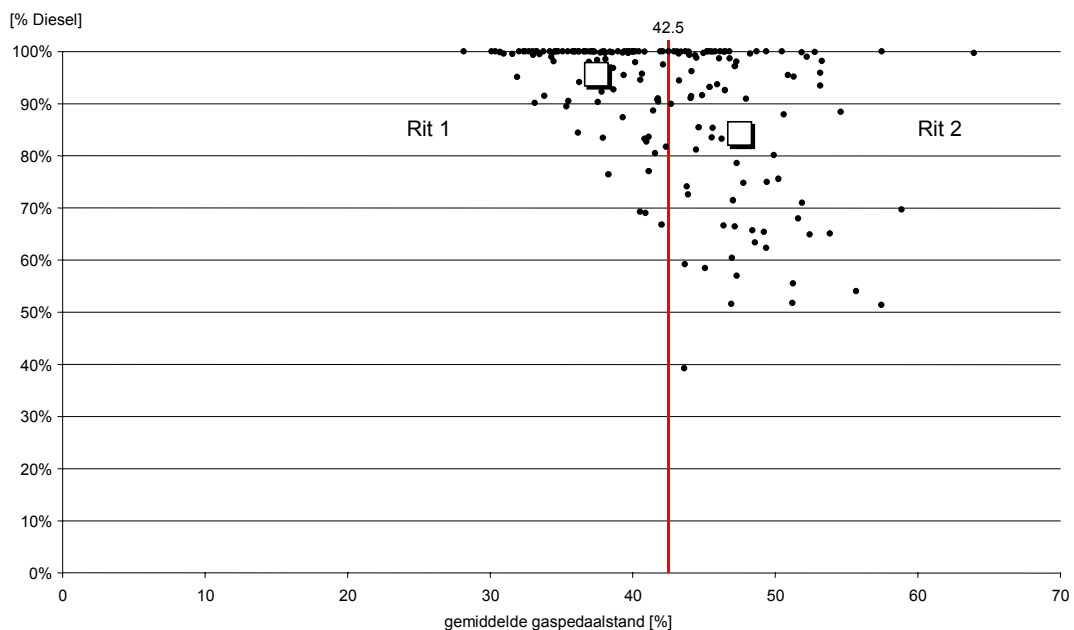
gebruiksgebieden bevatten minstens 311 kilometer (stad 1) en 10,8 uur (buitenweg 5) en maximaal 5468 kilometer (snelweg 2) en 51,2 uur (snelweg 2).



Figuur 4.2 Indeling gebruiksgebieden in stadsritten



Figuur 4.3 Indeling gebruiksgebieden in buitenweg ritten



Figuur 4.4 *Indeling gebruiksgebieden in snelweg ritten*

De praktijkritten die in de grafiek binnen een gebruiksgebied vallen, vormen achter elkaar geplaatst tezamen een referentiecycclus. Deze lange ritcycclus (enkele tientallen uren) is representatief voor het gebruik van de Audi duo in dit gebruiksgebied. Uit de 14 referentiecycli zijn evenzoveel ritcycli van ± 30 minuten ontwikkeld.

4.3 Ontwikkeling representatieve ritcycli

De indeling in gebruiksgebieden van de Audi duo per wegtype, heeft ervoor gezorgd dat er 14 referentiecycli bestaan. Per referentiecycclus is een representatieve ritcycclus van ± 30 minuten ontwikkeld die met de duo op de rollenbank is nagereden en waarin de emissies zijn gemeten. De karakteristieken van de ontwikkelde ritcycli moeten hetzelfde zijn als die van de bijbehorende referentiecycclus. In Bijlage F wordt het complete traject om vanuit een referentiecycclus een representatieve ritcycclus te ontwikkelen, uitgebreid behandeld. De hiervoor gehanteerde methode is gebaseerd op (Weijer, 1997). Deze paragraaf geeft in het kort weer welke methode en randvoorwaarden er in deze ontwikkelingsmethodiek zijn gebruikt.

Van de gehele referentiecycclus wordt een zogenaamde snelheid-acceleratie matrix (VA-matrix) aangemaakt voor zowel elektrisch als dieseldrijf. Met een statistische methode (chi-kwadraat toets) is een ritcycclus van ongeveer 30 minuten gezocht die voor zowel het elektrisch als het dieseldrijf van de referentiecycclus een zo gelijk mogelijke VA-matrix heeft. Daarmee is de ritcycclus representatief voor het werkelijk gebruik van de Audi duo binnen het gedefinieerde gebruiksgebied.

Ook speelt een aantal andere kenmerken van de referentiecycclus een rol. Deze kenmerken moeten voor zowel de referentie- als de ritcycclus gelijk zijn en zijn naast de VA-matrix eveneens bepalend voor hoe de Audi duo in de praktijk is gebruikt. Dit zijn:

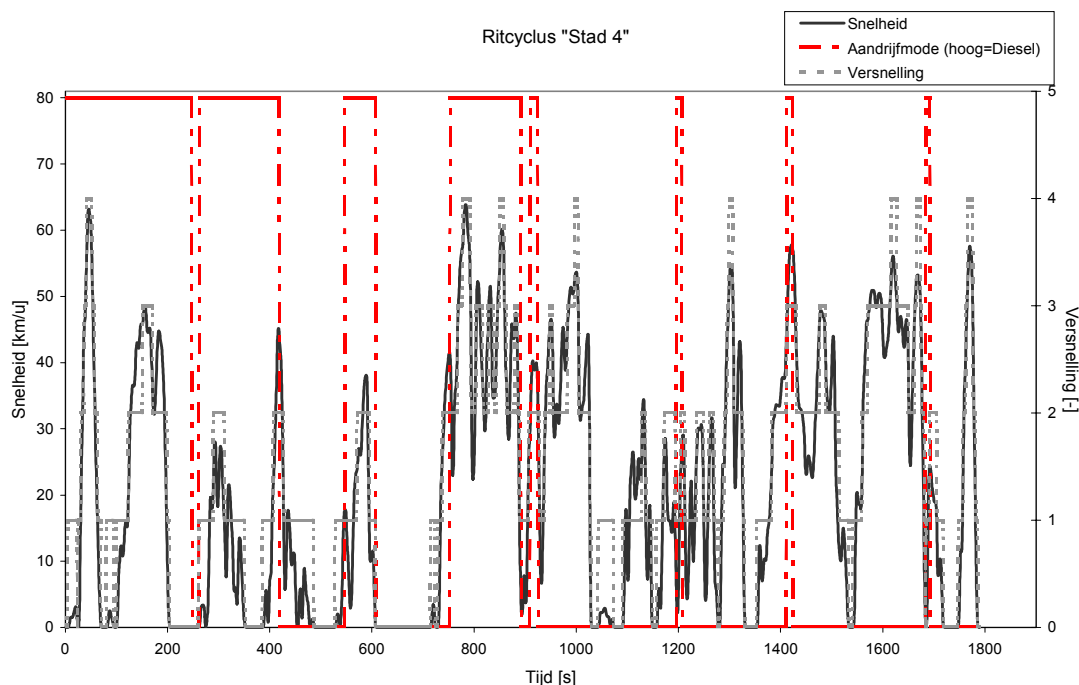
- gemiddelde snelheid,
- RPA (Relative Positive Acceleration),
- aantal stops per kilometer,
- gemiddelde stoptijd,
- gemiddelde moduletijd,

- percentage diesel gereden (% van de tijd),
- gemiddelde ladingstoestand van de batterij,
- gemiddelde gaspedaalstand,
- aantal malen omschakelen van diesel naar elektrisch per uur,
- aantal malen omschakelen van elektrisch naar diesel per uur.

Daarnaast is er per referentiecycclus een analyse uitgevoerd naar:

- Verdeling van de ladingstoestand van de tractiebatterij: De verdeling van de ladingstoestand van de tractiebatterij in de referentiecycclus moet in de ritcycclus zoveel mogelijk eenzelfde beeld laten zien. Aan de hand van de praktijkgegevens is gekozen voor een begintoeestand van de tractiebatterij en de volgorde van diesel/elektrisch rijden in de ritcycclus, waarbij de verdeling zo representatief mogelijk in de ritcycclus terechtkomt.
- Verdeling van de motortemperatuur: Ook hier geldt dat de verdeling in de ritcycclus zo goed mogelijk het beeld van de referentiecycclus moet volgen. Per ritcycclus is bekeken wat de temperatuur van de motor aan het begin van de rit moet zijn om ditzelfde beeld te krijgen. Hieruit kwam naar voren dat de ritcycli voor de stadsritten gemiddeld met koude motor beginnen. De ritcycli voor buiten- en snelweg beginnen gemiddeld met een motor op bedrijfstemperatuur.
- Schakelpunten (overschakelen van versnelling): Per referentiecycclus zijn de snelheden waarbij in elektrisch en in dieselbedrijf van versnelling is overgeschakeld, onderzocht. Uit het resultaat is voor elke ritcycclus, voor zowel diesel- als elektrisch bedrijf, een serie schakelpunten gedefinieerd. Voor de metingen met het referentievoertuig worden alleen de dieselschakelpunten gebruikt.

Wanneer al deze parameters zijn onderzocht worden de ritcycli gemaakt. In Figuur 4.5 is een voorbeeld van een representatieve ritcycclus van ± 30 minuten weergegeven. Het betreft hier de ritcycclus van 'Stad 4'. In Bijlage F wordt het complete ontwikkeltraject van de ritcycli uitvoerig behandeld.



Figuur 4.5 Voorbeeld ritcycclus 'Stad 4'

4.4 Resultaten referentievoertuig

Oorspronkelijk was het de bedoeling om voor het referentievoertuig een conventionele Audi A4 Avant met een 66 (kW) TDI dieselmotor te nemen. Deze zou dezelfde dieselmotor moeten hebben als de Audi duo. Echter, het bleek dat de Audi duo een dieselmotor heeft die voldoet aan de veel strengere, maar in Nederland nog niet van kracht zijnde, Euro-3 normen. De dieselmotor van de duo is dus schoner dan de dieselmotor die standaard in een conventionele Audi A4 TDI wordt gemonteerd. Daarmee was het niet mogelijk om een conventionele Audi A4 als referentievoertuig te gebruiken. In Duitsland bleek dat, in verband met een stimuleringsregeling, de conventionele A4 Avant al wel met de Euro-3 motor is geleverd. Het bleek echter niet mogelijk een dergelijk voertuig voor dit onderzoek beschikbaar te krijgen. Daarom is besloten de Audi duo zelf als referentievoertuig te gebruiken, door hem uitsluitend in dieselbedrijf te meten. Hierbij moet worden opgemerkt dat de Audi duo, ten opzichte van het gewenste referentievoertuig, een aantal eigenschappen bezit die specifiek voor het duo-concept van toepassing zijn:

- Het hoge gewicht van de Audi duo. Het motormanagement in de Audi duo is aangepast en uitgelegd op het hogere gewicht van het voertuig.
- Overbrengverhoudingen van de versnellingsbak zijn verschillend met als reden het hogere gewicht en het gewijzigde belastingsgebied van de motor.
- Cilinderkop van de dieselmotor van de Audi duo is anders geconstrueerd zodat de motor sneller op bedrijfstemperatuur is.
- De Audi duo bevat een automatische koppeling.

Door deze eigenschappen is de Audi duo niet geheel representatief voor een conventionele Audi A4 Avant TDI. De invloed hiervan op de uitlaatgasemissies is onbekend.

De metingen met de Audi duo als referentievoertuig zijn verricht door de ritcycli volledig in dieselbedrijf te rijden. Hiertoe is de keuzeschakelaar aan het begin van een ritcyclus in de dieselstand gezet. Omdat het mogelijk is op dieselbedrijf de tractiebatterij bij te laden, is gelet op de ladingstoestand van de tractiebatterij. Deze is tijdens het rijden van de ritten boven 95% geweest, zodat er tijdens dieselbedrijf niet wordt geladen. De gegevens omtrent de instelling van de rollenbank zijn te vinden in Bijlage G.

De volgende emissies zijn tijdens de rollenbankritten gemeten:

- koolstofmonoxide (CO)
- totale koolwaterstoffen (HC)
- stikstofoxiden (NO_x)
- deeltjes (PM)
- koolstofdioxide (CO₂).

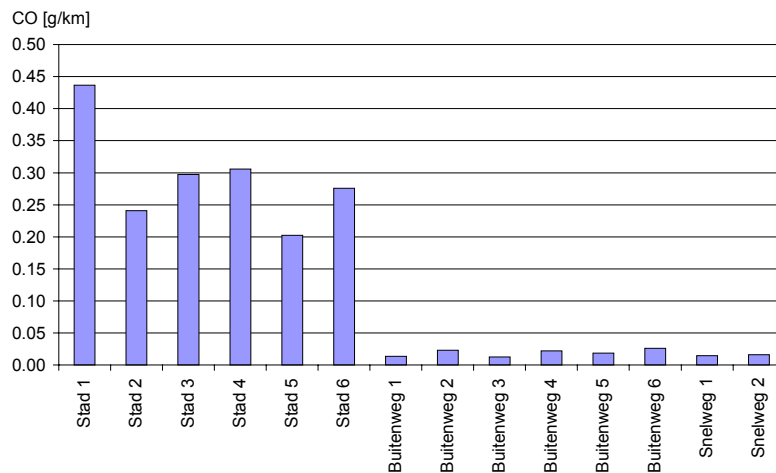
Naast de gemeten emissies, zijn het brandstofverbruik, het diesel-energiegebruik en de SO₂-emissie berekend:

- Brandstofverbruik: berekend uit de emissies (aan de hand van de koolstofbalans).
- Diesel-energiegebruik: berekend uit het brandstofverbruik.
- Zwaveldioxide (SO₂): berekend uit het brandstofverbruik en het zwavelgehalte in de brandstof (marktgemiddelde: 320 ppm), daarbij aannemend dat 95% van de zwavel wordt omgezet in SO₂.

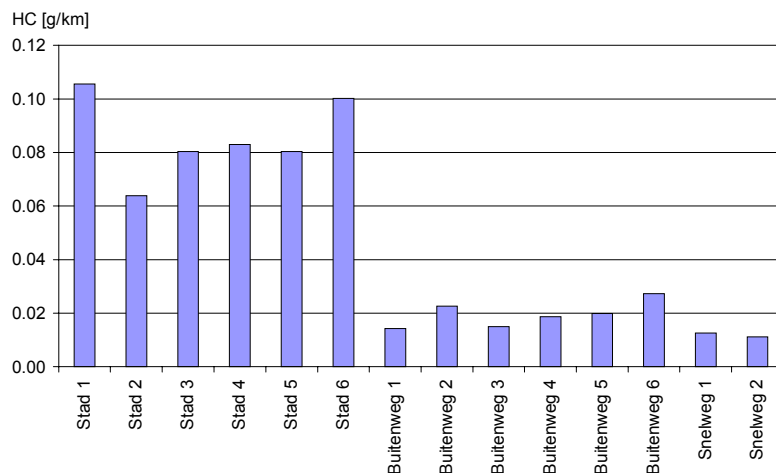
Figuur 4.6 tot en met 4.11 geven de uitlaatgasemissies van de Audi duo per component grafisch weer. In Bijlage H zijn de getalwaarden opgenomen. De naamgeving van de ritcycli eindigt met een getal dat overeen komt met de in Paragraaf 4.2 gedefinieerde gebruiksgebieden (per wegtype). In Figuur 4.12 wordt het diesel-energiegebruik van het referentievoertuig weergegeven.

De volgende zaken vallen op bij een nadere beschouwing van de emissies:

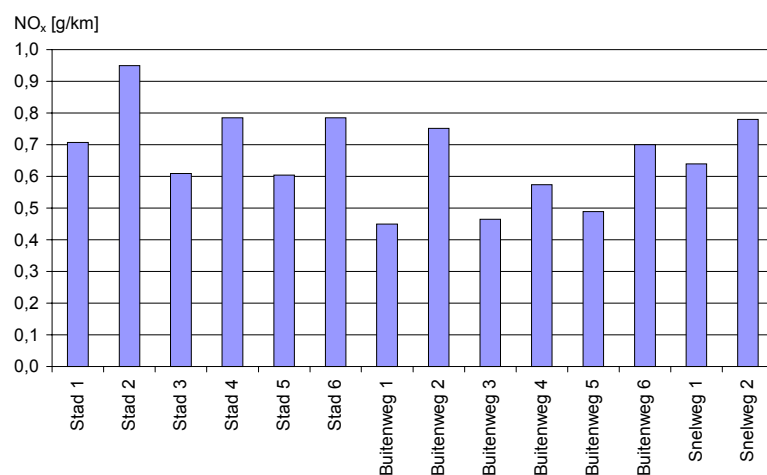
- De CO- en HC-emissie zijn in de stadsritten aanzienlijk hoger dan in de buitenweg- en snelwegritten, veroorzaakt door de koude start. De gemonteerde oxydatiekatalysator werkt blijkbaar zeer effectief zodra deze op temperatuur is.
- Voor de NO_x- en deeltjesemissie is een duidelijke relatie met de koude start niet aanwezig.
- De CO₂-emissie (en daarmee het brandstofverbruik, het energiegebruik en de SO₂-emissie) ligt in de stadsritten gemiddeld zo'n 60% hoger dan in de buitenweg- en snelwegritten, terwijl deze laatste ritten ongeveer gelijke waarden laten zien.
- De 'sportievere' stads- en buitenwegritten (de even genummerde ritten in de figuren) laten een 10-20% hogere CO₂-emissie, brandstofverbruik, energiegebruik en SO₂-emissie zien ten opzichte van hun 'rustigere' versies.
- De relatie met de ritdynamiek is in de NO_x-emissie, en in mindere mate de deeltjesemissie, eveneens duidelijk zichtbaar. Het referentievoertuig emitteert in de 'rustigere' ritten 20-30% minder NO_x (alle ritten) en 30-60% minder deeltjes (met uitzondering van de stadsritten 1 en 2 en de snelwegritten).
- Voor de overige emissies is de relatie met de ritdynamiek veel minder aanwezig. Blijkbaar zijn er andere, sterkere, invloeden aanwezig (bijvoorbeeld de snelheid van opwarming van de oxydatiekatalysator). Wel vertonen de CO- en HC-emissies over de verschillende ritten een sterk correlerend patroon.



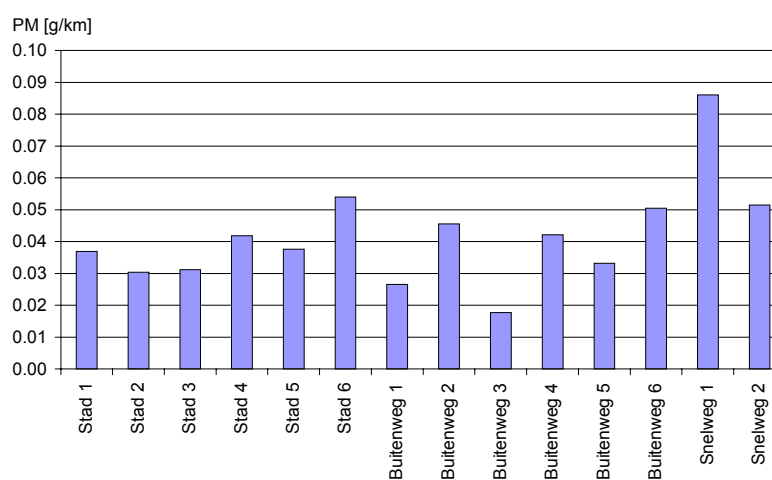
Figuur 4.6 CO-emissies ritcycli referentievoertuig



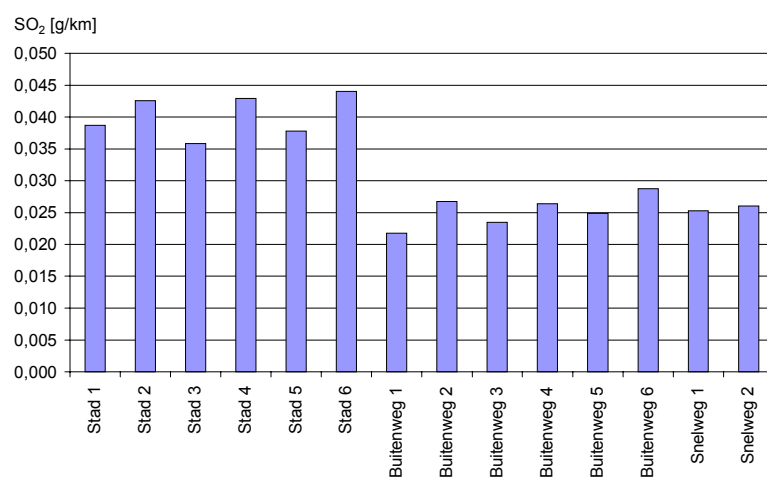
Figuur 4.7 HC-emissies ritcycli referentievoertuig



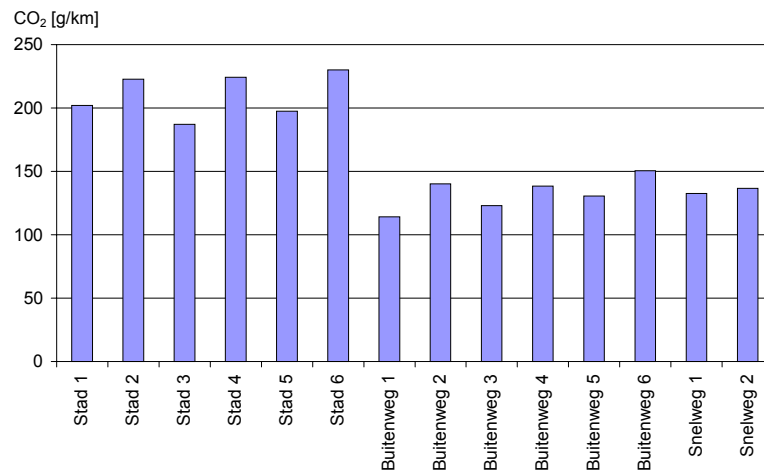
Figuur 4.8 *NO_x-emissies ritcycli referentievoertuig*



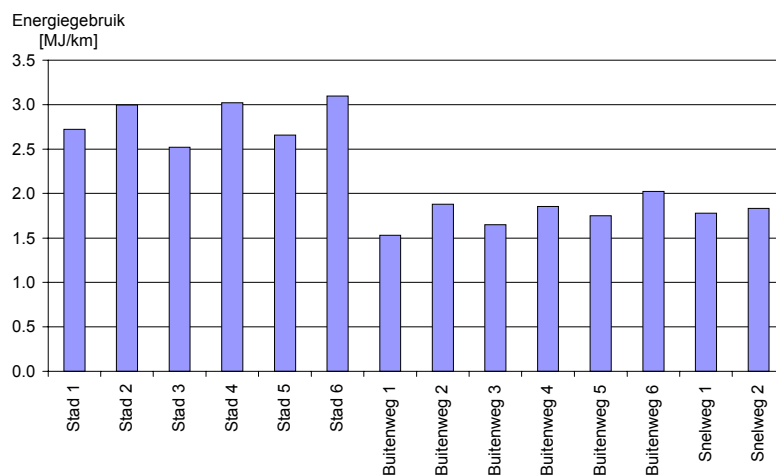
Figuur 4.9 *PM emissies ritcycli referentievoertuig*



Figuur 4.10 *SO₂-emissies ritcycli referentievoertuig*



Figuur 4.11 *CO₂ emissies ritcycli referentievoertuig*



Figuur 4.12 *Energiegebruik (diesel) [MJ/km] ritcycli referentievoertuig*

4.5 Resultaten Audi duo

Omdat de Audi duo in een ritcyclus zowel elektrisch als op diesel heeft gereden, moeten ook de emissies van de elektriciteitsopwekking worden meegenomen in het totaalbeeld. Als er veel elektrisch wordt gereden, is de ladingstoestand van de tractiebatterij aan het eind van de ritcyclus lager dan aan het begin van de ritcyclus. Ook het tegenovergestelde komt voor. In een aantal ritcycli wordt de tractiebatterij opgeladen vanuit de dieselmotor. Dit betekent dat de ladingstoestand van de tractiebatterij aan het eind van de ritcyclus hoger is dan aan het begin van de ritcyclus. Voor beide situaties moeten de resultaten van de uitlaatgasemissie-resultaten met die van de elektriciteitsproductie worden gecompenseerd. De veranderende ladingstoestand van de tractiebatterij wordt uitgedrukt in Ah. De energie die uit het stopcontact wordt gebruikt om de tractiebatterij op te laden, wordt uitgedrukt in kWh.

De emissies voor de opwekking van elektrische energie zijn samengesteld uit cijfers over het Nederlandse elektriciteits-productiepark van 1998 en cijfers over de gaswinning van 1995. Het rendement van de elektriciteitscentrales is gemiddeld 44. De emissies omvatten de emissies van de productie van elektriciteit en van het transport. De gebruikte cijfers zijn weergegeven in Bijlage G.

De ritcycli zijn op de rollenbank gereden met een Audi duo voorzien van een meet- en registratiesysteem. Met deze gegevens is de netto geladen of ontladen elektrische lading van de tractiebatterij (in Ah) berekend.

Formule 1 geeft de berekening van het ladingsverschil van de tractiebatterij over een ritcyclus (met I_{batterij} = batterijstroom):

$$\Delta Ah = \frac{1}{3600} \sum_{t=1}^{t_{\text{ritcyclus}}} I_{\text{batterij}} \quad \text{Formule 1}$$

Hetzelfde ladingsverschil (in Ah) is ook over alle gereden ritten van het praktijkexperiment bepaald. Omdat ook de totaal geladen elektrische energie uit het stopcontact over het gehele praktijkexperiment gemeten is, is uit deze gegevens een factor berekend die aangeeft hoeveel elektrische energie (in kWh) er vanuit het stopcontact nodig is geweest om de ladingstoestand van de tractiebatterij met één Ah te compenseren (zie Tabel 4.1).

Tabel 4.1 *Parameters/waarden compensatie ladingstoestand tractiebatterij*

Parameter	Waarde
Totaal ontladen tractiebatterij-lading praktijkexperiment (ΔAh)	3515
Totaal geladen kWh uit stopcontact (ΔkWh)	2045
[kWh /Ah]	0.58

Door deze methode te gebruiken, worden alle energieverliezen die in de praktijk zijn opgetreden op elektrisch niveau toegekend aan de energie geladen vanuit het stopcontact. Deze verliezen zijn:

- Rendement van het boordlaadapparaat. Het rendement van het boordlaadapparaat is maximaal 80% (waarde gemeten tijdens de laboratoriummetingen).
- Coulomb-rendement tijdens laden van de tractiebatterij. Als de ladingstoestand van de tractiebatterij hoog is, gaat de extra lading die aan de batterij wordt toegevoegd verloren in warmte. Dit heeft een ongunstig effect op het totale energiegebruik en is gerelateerd aan de tractiebatterij.
- Zelfontlading van de tractiebatterij. Het komt in de praktijk veelvuldig voor dat het voertuig geparkeerd staat en niet aan het net is aangesloten. Op dit moment ontladt de tractiebatterij, ondanks dat er geen elektrische apparatuur aanstaat. Ofwel lading gaat verloren zonder dat het nuttig wordt gebruikt.
- Energiegebruik van de randapparatuur tijdens het laden. Gedurende het laden worden vanuit het stopcontact o.a. een aantal koelventilatoren gevoed. Deze zorgen ervoor dat het boordlaadapparaat niet oververhit raakt, maar ze gebruiken ook energie die niet in de tractiebatterij terecht komt.
- Warmteverliezen in de tractiebatterij. Door het laden en ontladen van de tractiebatterij ontstaat in de tractiebatterij zelf warmte. Hoe slechter de conditie van de tractiebatterij, des te meer warmte er wordt geproduceerd. De conditie van de tractiebatterij is sterk afhankelijk van hoe er in de praktijk door de gebruiker van het voertuig met de tractiebatterij is omgegaan. Dit heeft onder andere betrekking op het aantal malen laden vanuit het stopcontact maar ook op de ladingstoestand van de tractiebatterij tijdens het rijden.

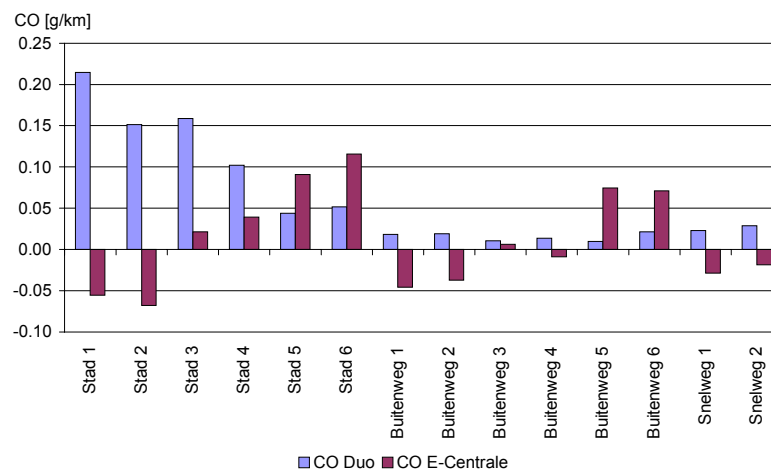
Per ritcyclus is uit de opgenomen data van het meet- en registratiesysteem de veranderde ladingstoestand van de tractiebatterij (in Ah) bepaald. Hieruit is met bovengenoemde factor het aantal kWh berekend dat uit het stopcontact moet worden geladen om het ladingsverschil te compenseren. Vervolgens zijn de hierbij behorende emissies van de elektriciteitsproductie berekend.

Bijlage G geeft de uitlaatgasemissies van de ritcycli nagereden op de rollenbank. Eveneens zijn de daarbij behorende extra (+Ah betekent batterij ontladen) of minder (-Ah is batterij opgeladen) emissies voor elektrische energieopwekking weergegeven. Beide emissies worden ieder afzonderlijk weergegeven. Hierdoor blijft de verdeling tussen de direct (uitlaatgas) en de indirect (elektriciteitscentrale) geproduceerde emissies zichtbaar. Een vergelijking met de emissies van het referentievoertuig is hierdoor mogelijk, echter alleen op 'uitlaatgas' niveau. Bovendien

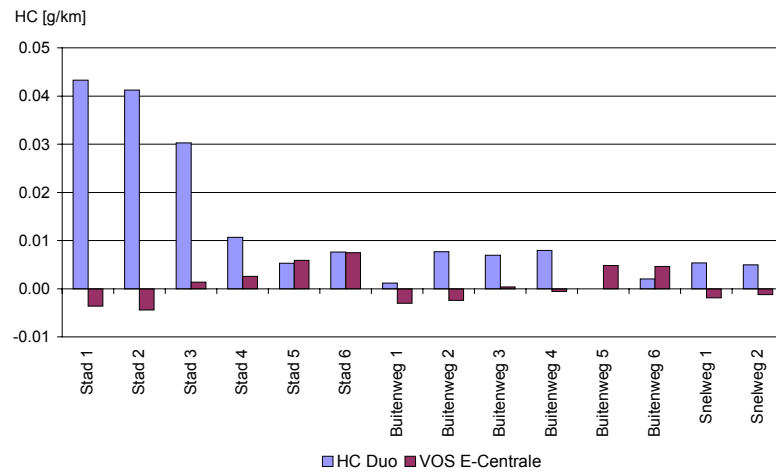
moet opgemerkt worden dat de ketenlengte van de uitlaatgasemissies niet gelijk is aan die van centrale-emissies. In de centrale-emissies zijn, in tegenstelling tot de uitlaatgasemissies, de emissies die ontstaan tijdens winning en transport van de brandstoffen voor de e-centrale meegenomen. In de volgende paragraaf, waar de milieuprestaties van de duo vergeleken wordt met die van het referentievoertuig, worden hiervoor gecompenseerd.

In Figuur 4.13 tot en met Figuur 4.18 worden de emissies per component grafisch weergegeven en in Figuur 4.19 het energiegebruik. De naamgeving van de ritcycli eindigt met een getal dat overeen komt met de in Paragraaf 4.2 gedefinieerde gebruiksgebieden (per wegtipe). Evenals bij het referentievoertuig geldt dat het brandstofverbruik is berekend uit de emissies (koolstofbalans). De SO₂-emissie en het diesel energiegebruik zijn berekend uit het brandstofverbruik. De volgende zaken vallen op:

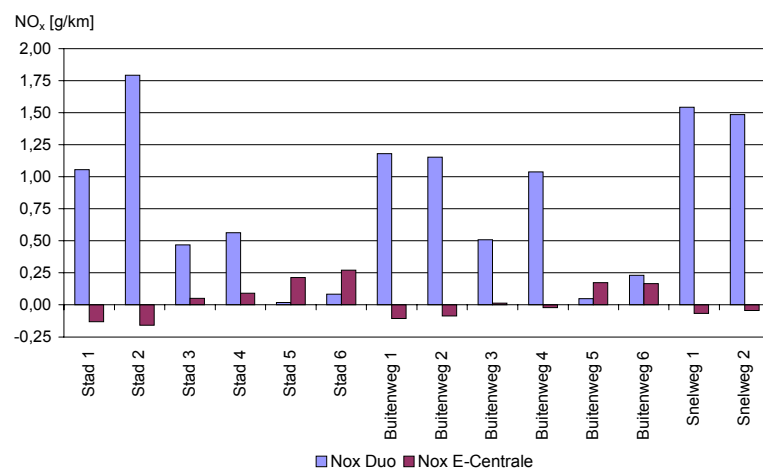
- In de ritten met een relatief hoog percentage diesel (stad/buitenweg 1 en 2, buitenweg 4 en de beide snelwegritten) wordt de tractiebatterij tijdens de ritcyclus netto opgeladen. Dit levert fictieve negatieve emissies van de elektriciteitscentrale op.
- Hoe lager het percentage diesel, hoe lager de uitlaatgasemissies, maar hoe hoger de emissies van de elektriciteitscentrale.
- Ten opzichte van de uitlaatgasemissies van de duo, hebben de volgende emissies van de elektriciteitscentrale een relatief grote invloed op de totaalemisatie van de duo: CO, CO₂, SO₂ en het energiegebruik.
- Voor de invloed van de koude start op de uitlaatgasemissies geldt eenzelfde beschouwing als voor het referentievoertuig. De invloed van het percentage diesel in de ritcyclus op de emissies komt hier nog bovenop.
- Ook voor de invloed van de riddynamiek op de uitlaatgasemissies kunnen dezelfde opmerkingen worden gemaakt als voor het referentievoertuig. Door onbekende oorzaak wijken voor wat betreft de NO_x-emissie de buitenwegritten 1 en 2 hiervan af.



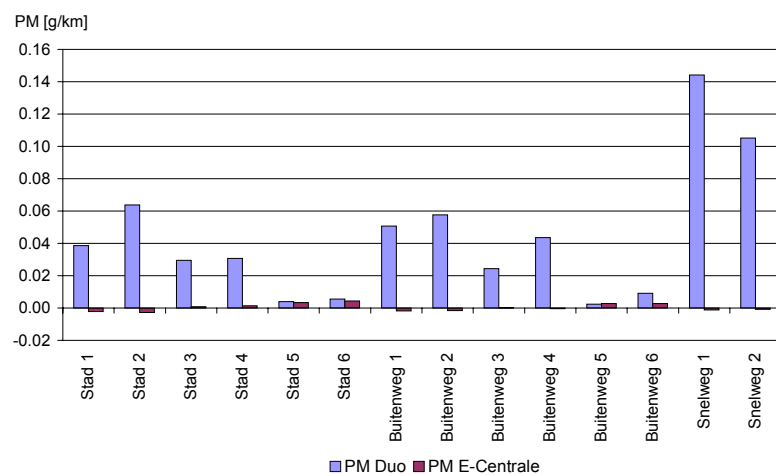
Figuur 4.13 CO-emissies ritcycli Audi duo met compensatie elektriciteitsproductie emissies



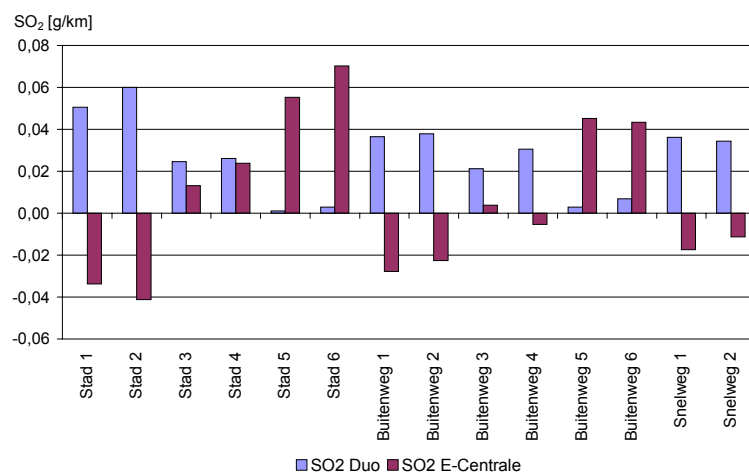
Figuur 4.14 *HC-emissies ritcycli Audi duo met compensatie elektriciteitsproductie emissies*



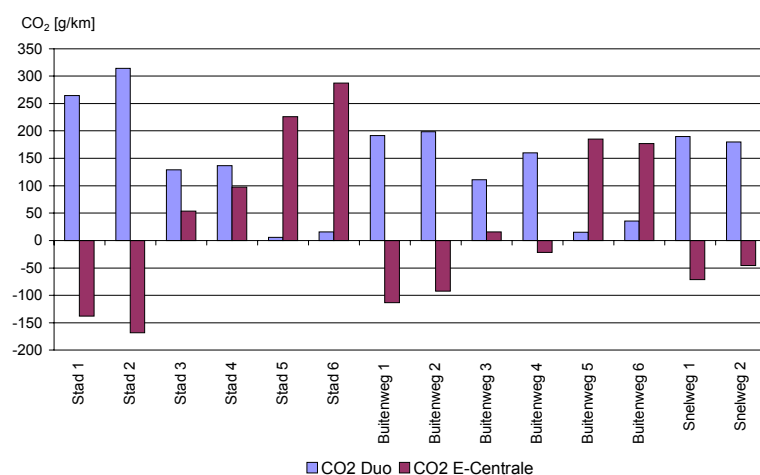
Figuur 4.15 *NO_x-emissies ritcycli Audi duo met compensatie elektriciteitsproductie emissies*



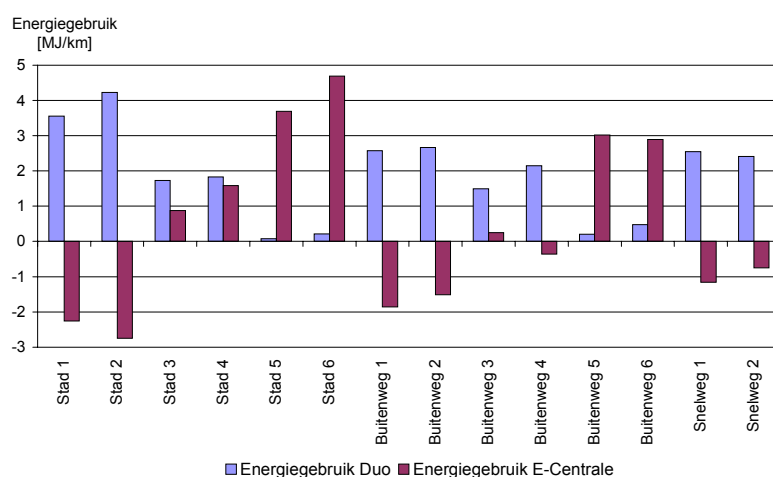
Figuur 4.16 *PM-emissies ritcycli Audi duo met compensatie elektriciteitsproductie emissies*



Figuur 4.17 *SO₂-emissies ritcycli Audi duo met compensatie elektriciteitsproductie emissies*



Figuur 4.18 *CO₂-emissies ritcycli Audi duo met compensatie elektriciteitsproductie emissies*



Figuur 4.19 *Energiegebruik [MJ/km] ritcycli Audi duo met compensatie elektriciteitsproductie emissies*

4.6 Vergelijking referentievoertuig met Audi duo

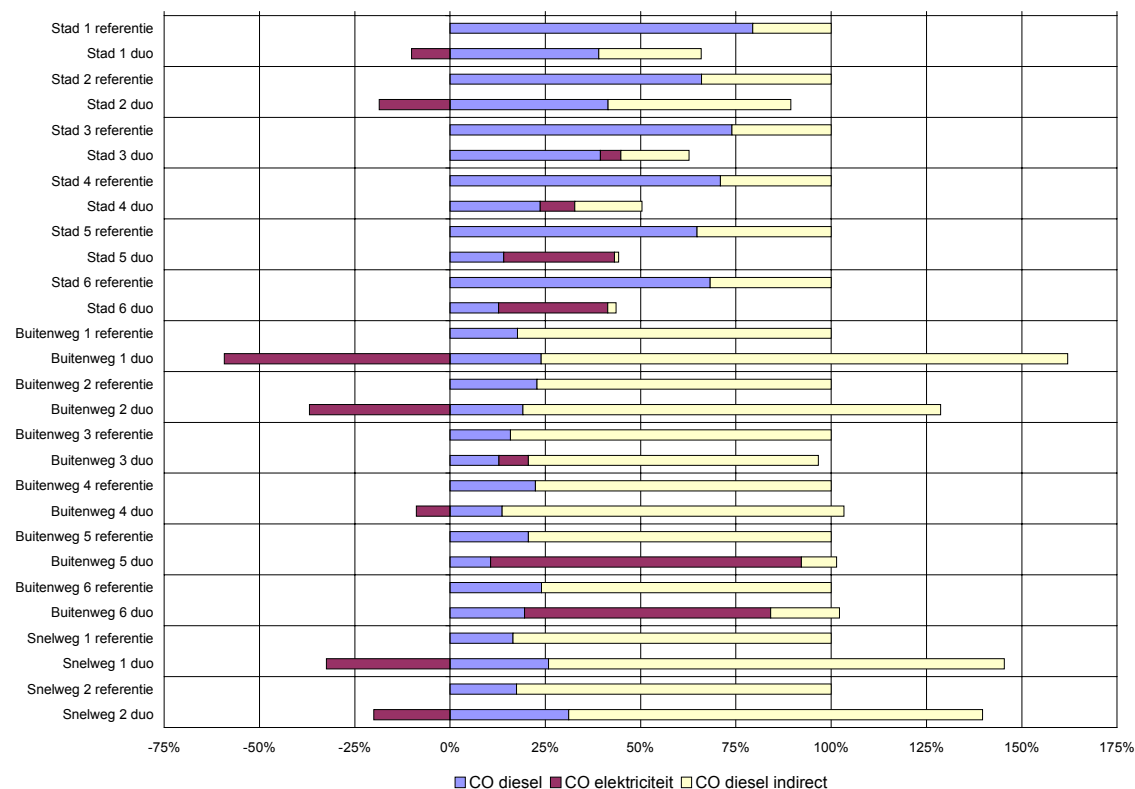
In deze paragraaf worden de emissieresultaten van het referentievoertuig en de Audi duo met elkaar vergeleken. Aan de hand van de vergelijking worden uitspraken gedaan omtrent de milieuprestaties van de Audi duo, gerelateerd aan de verschillende gebruiksgedieden van het voer-

tuig. De conclusies geven aan in welk gebruiksgedebied de duo een milieuvoordeel danwel een -nadeel oplevert ten opzichte van zijn conventionele versie. Een verdere analyse naar hoe de individuele gebruikers van het praktijkexperiment het voertuig in de praktijk gebruikt hebben, en de gevolgen daarvan voor het milieu, wordt beschreven in Hoofdstuk 5.

In de emissieresultaten van de Audi duo (Paragraaf 4.5) zijn, vanwege het laden vanuit het net, ook de emissies van de elektriciteitsopwekking weergegeven. Deze getallen zijn inclusief de emissies die optreden tijdens winning en transport van de brandstoffen die gebruikt worden voor de elektriciteitsopwekking. Om de uitlaatgasemissies van de dieselmotor op hetzelfde niveau te brengen, zijn ook de emissies meegenomen die optreden bij de winning, raffinage en transport van dieselbrandstof. De ketenlengte waarop de totaalemissies van beide voertuigen zijn gebaseerd, zijn met deze compensatie gelijk en vormen de basis voor een vergelijking tussen het referentievoertuig en de Audi duo. Er moet hierbij wel opgemerkt worden dat in de vergelijking geen onderscheid wordt gemaakt tussen emissies op lokaal danwel regionaal niveau. Hiervoor kunnen eventueel de emissiecijfers worden gebruikt uit de vorige paragrafen.

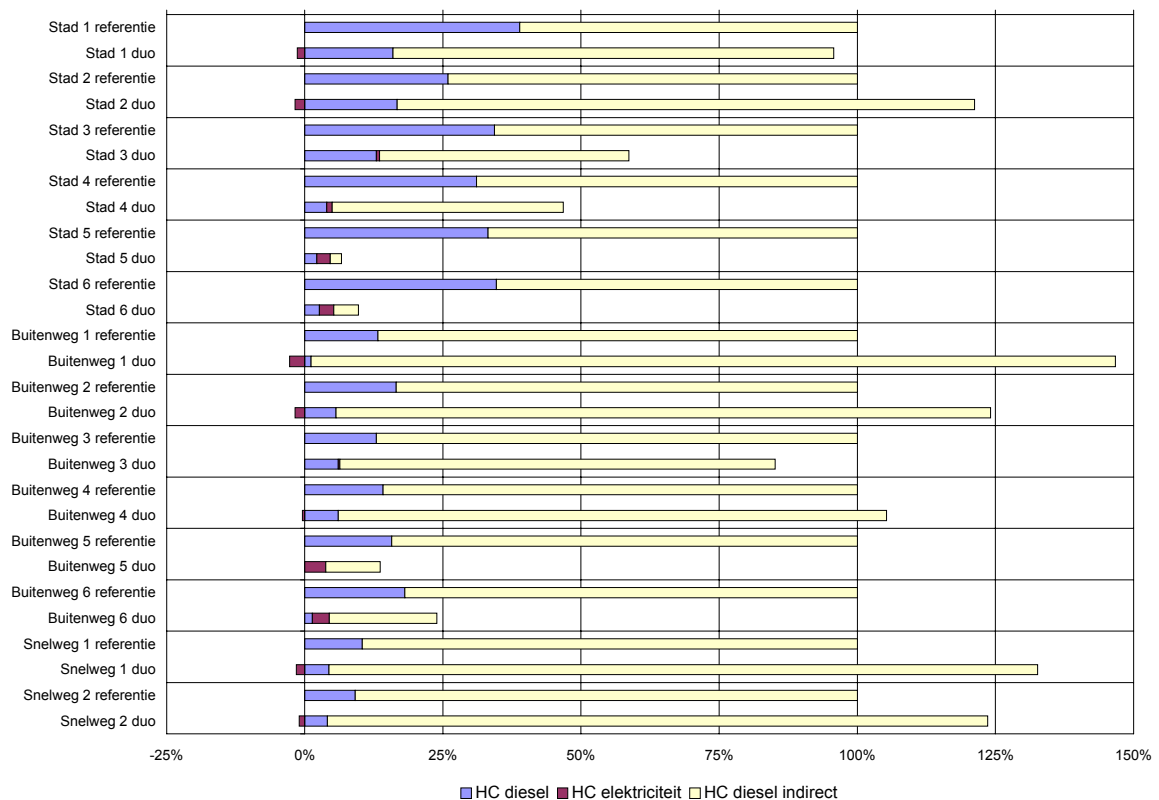
In Bijlage H zijn de emissies voor winning, raffinage en transport van dieselbrandstof weergegeven. Deze emissies worden ook wel de indirecte diesel-emissies genoemd. Voor de berekening van de indirecte emissies zijn deze gerelateerd aan het diesilverbruik van zowel het referentievoertuig als de duo tijdens de ritcycli.

In Figuur 4.20 tot en met Figuur 4.26 zijn per emissiecomponent de resultaten van de vergelijking grafisch weergegeven. De totaalemissies van het referentievoertuig zijn per ritcyclus telkens op 100% gesteld, die van de duo zijn voor dezelfde ritcyclus daaraan gerelateerd. In de figuren zijn de aandelen uitlaatgasemissie, indirecte emissies van de dieselbrandstof en emissie van de e-centrale grafisch zichtbaar gemaakt. Een negatieve emissie van de e-centrale is een fictieve emissie die volgt uit het feit dat in enkele ritcycli de tractiebatterij netto is opgeladen (bij de ritcycli met een hoog aandeel diesel). Deze emissie mag van de totaalemissie worden afgetrokken, indien aangenomen wordt dat deze batterijlading in een volgende rit wordt gebruikt om elektrisch te rijden.



Figuur 4.20 *Percentage emissies CO-referentievoertuig-Audi duo*

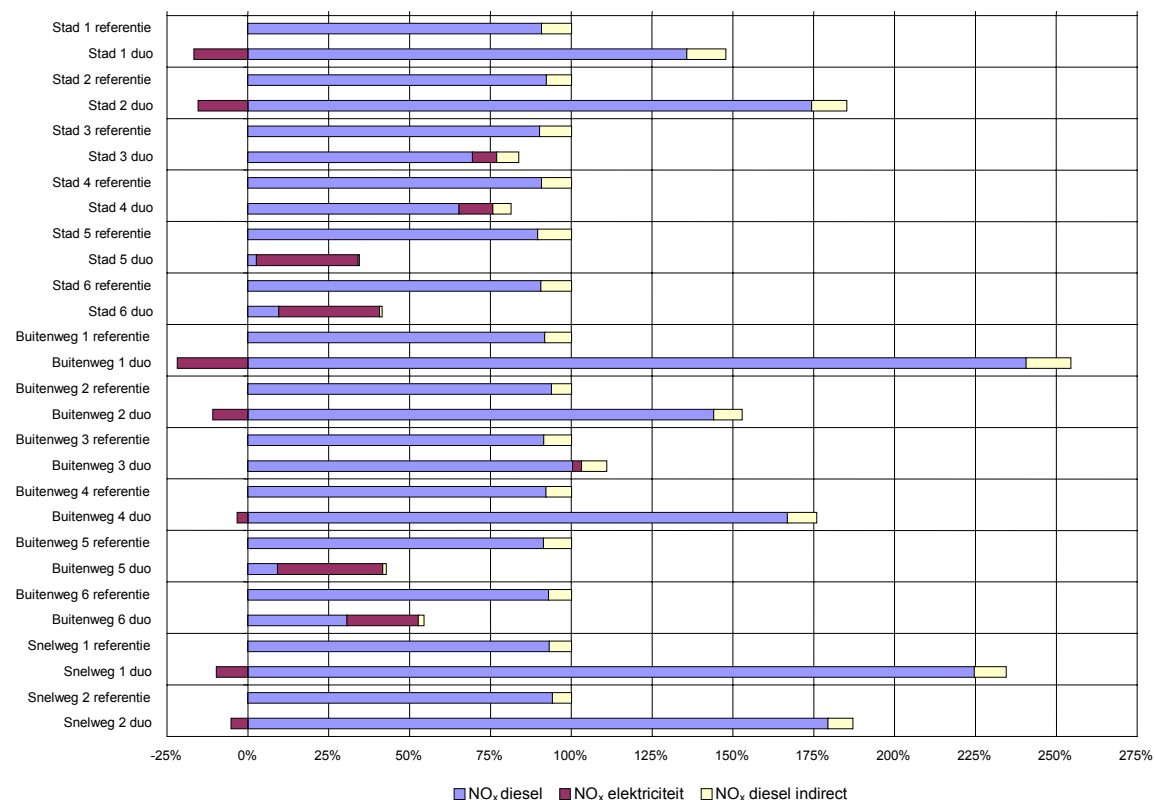
Voor de CO-emissie (Figuur 4.20) geldt dat in alle stadcycli de duo een netto milieuvoordeel oplevert ten opzichte van de conventionele versie. Het milieuvoordeel wordt groter naarmate er in de stad meer elektrisch gereden wordt. Dit wordt veroorzaakt door de relatief lage CO-emissie van de elektriciteitscentrale. Er is in de stad geen duidelijk aanwijsbare relatie aanwezig met de ritdynamiek. In de buitenwegcycli is er geen verschil in de totaalemissies tussen de duo en het referentievoertuig. De duo is hier zeggend in alle gebruiksgebieden milieuneutraal. Dit wordt veroorzaakt doordat de relatief hoge indirecte emissie bij een lager aandeel diesel in dezelfde mate afneemt als de emissie van de elektriciteitscentrale toeneemt. Ook op de buitenweg is er geen relatie met de ritdynamiek aanwezig. Tijdens de beide snelwegritten wordt de tractiebatterij netto opgeladen. De duo is ook op de snelweg milieuneutraal wanneer het de CO-emissie betreft.



Figuur 4.21 *Percentage emissies HC referentievoertuig-Audi duo*

Het aandeel van de indirecte dieselemissies is relatief zeer groot, met name wanneer de dieselmotor warm is (buitenweg en snelweg). Dit wordt mede veroorzaakt door de hoge methaanemissie die ontstaat tijdens de winning van de brandstof (Figuur 4.21).

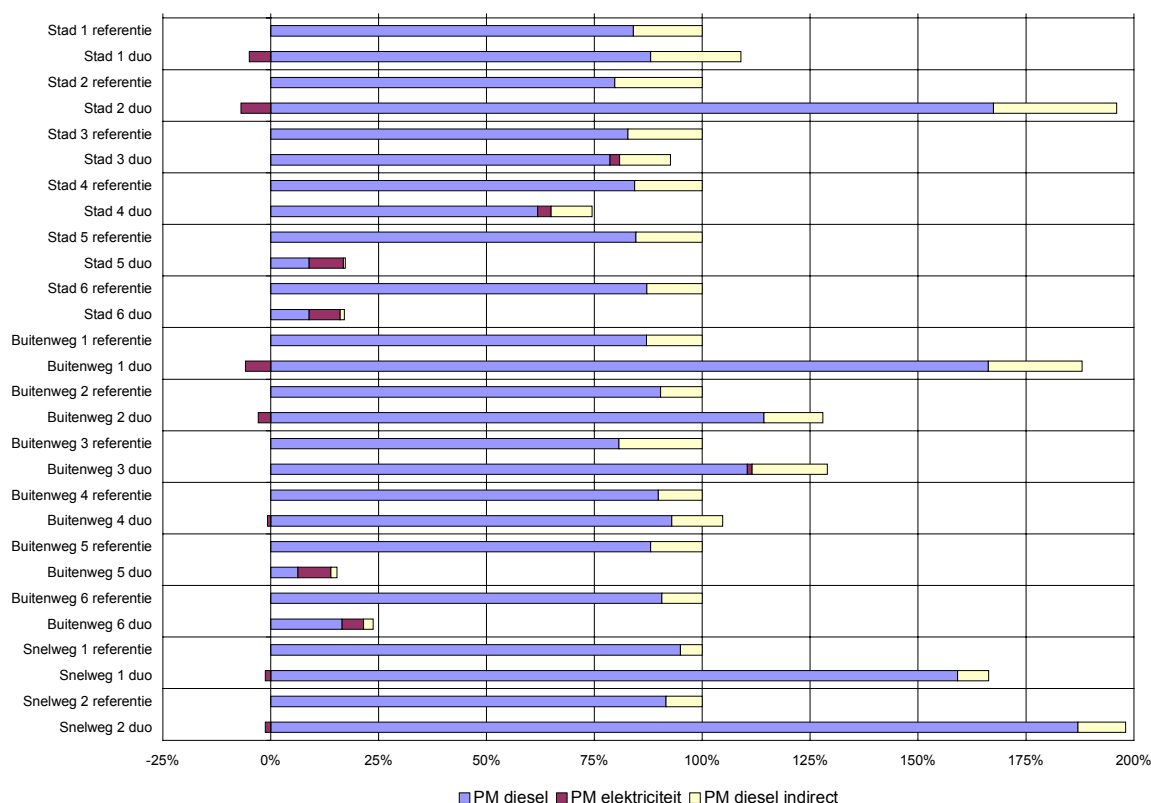
In de stad is de duo milieuneutraal wanneer frequent met de dieselaandrijving wordt gereden. Het slaat om in een steeds groter milieuvoordeel indien het percentage elektrisch rijden toeneemt. Bij volledig elektrisch rijden in de stad is de HC-emissie van de duo zelfs zeer laag te noemen. In dit gebruiksgedebied levert de duo dus een groot milieuvoordeel op ($\pm 90\%$ minder HC-emissie). Er is geen relatie met de ritdynamiek aanwezig. Op de buitenweg moet het aandeel elektrisch rijden rond de 40% zijn, wil de duo milieuneutraal zijn. Daaronder (frequent gebruik van de dieselaandrijving) levert de inzet van de duo een milieunadeel op, daarboven (veel elektrisch rijden) neemt het milieuvoordeel met grote sprongen toe (75-85% lagere HC-emissie bij 90% van de tijd elektrisch rijden). Er is ook hier geen relatie met de ritdynamiek aanwezig. Inzet van de duo op de snelweg moet voor de HC-emissie vermeden worden. In dit gebruiksgedebied is de totale HC-emissie $\pm 25\%$ hoger dan van de conventionele versie.



Figuur 4.22 *Percentage emissies NO_x referentievoertuig-Audi duo*

De indirecte NO_x-emissie (Figuur 4.22) is relatief laag ten opzichte van de uitlaatgasemissie. Alleen bij een hoog aandeel elektrisch rijden is de NO_x-emissie van de e-centrale van enige betekenis. Frequent gebruik van de dieselaandrijving in de stad is voor de milieuprestatie van de duo ongunstig. De NO_x-emissie neemt in dat geval met 50-80% toe. De toename wordt veroorzaakt door het hogere gewicht van de duo waardoor de gemiddelde motorbelasting toeneemt, hetgeen een negatief effect heeft op de NO_x-emissie.

De milieuprestatie van de duo slaat om in een voordeel indien in de stad meer dan ±50% van de tijd elektrisch wordt gereden. Bij 90% van de tijd elektrisch rijden is een netto voordeel te behalen (±65% lagere NO_x-emissie). De duo lijkt in de stad iets meer te emitteren dan de conventionele versie indien de ritdynamiek toeneemt. Voor de buitenweg gelden dezelfde conclusies als voor de stad. De NO_x-emissie neemt fors toe als de duo voornamelijk in de dieselmode wordt gebruikt. Pas als er een flink aandeel elektrisch in de rit aanwezig is (meer dan 50% van de tijd), scoort de duo positief. Evenals voor de HC-emissie moet inzet van de duo op de snelweg vermeden worden. De NO_x-emissie is daar flink hoger dan van de conventionele versie (80-130% hogere emissie).

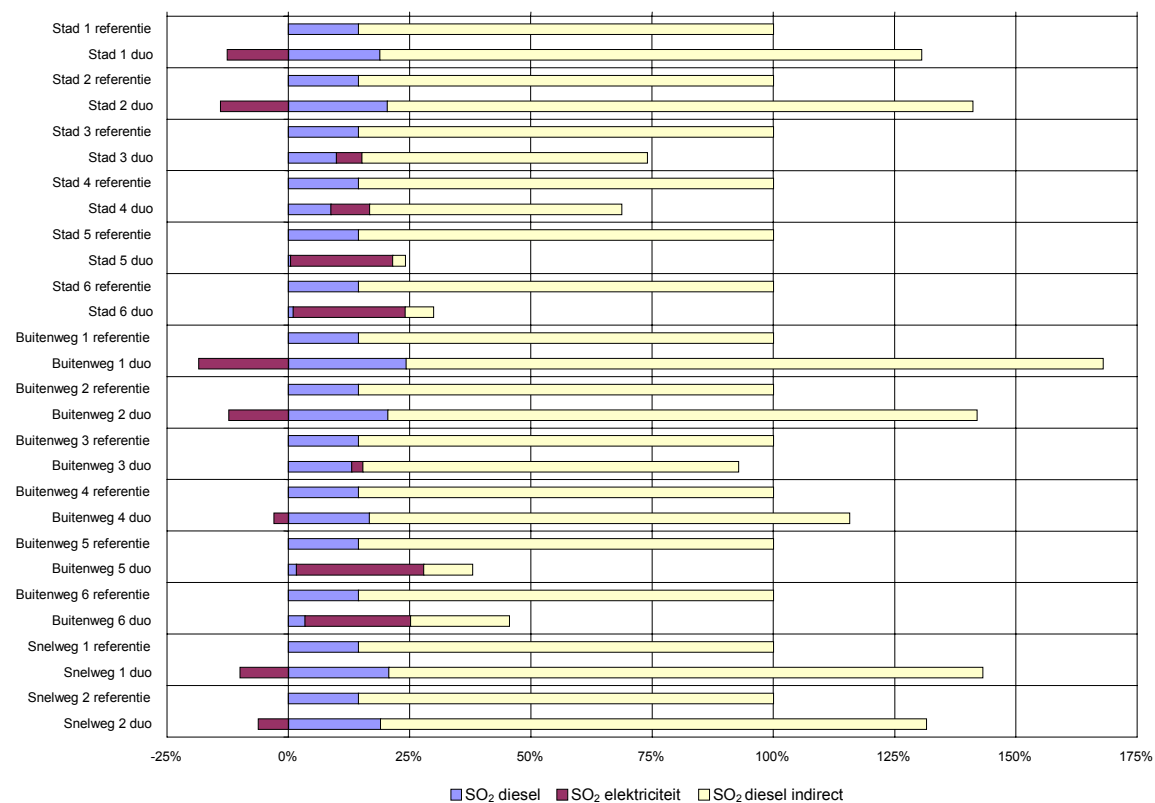


Figuur 4.23 *Percentage emissies PM referentievoertuig-Audi duo*

In grote lijnen geldt voor de deeltjesemissie hetzelfde verhaal als voor de NO_x-emissie. Zowel de indirecte deeltjesemissie als die van de elektriciteitscentrale zijn relatief laag ten opzichte van de uitlaatgasemissie (Figuur 4.23).

Zowel in de stad als op de buitenweg moet met de duo frequent gebruik van de dieselaandrijving vermeden worden om de netto deeltjesemissie niet (veel) hoger te laten zijn dan van het referentievoertuig. Pas bij ongeveer 50% van de tijd elektrisch rijden slaat het milieunadeel om in een milieuvoordeel. Er kan een flink milieuvoordeel bereikt worden indien de duo voornamelijk elektrisch gebruikt wordt (75-85% lagere deeltjesemissie). Inzet van de duo op de snelweg moet, voor wat betreft de deeltjesemissie, vermeden worden (65-100% hogere emissie).

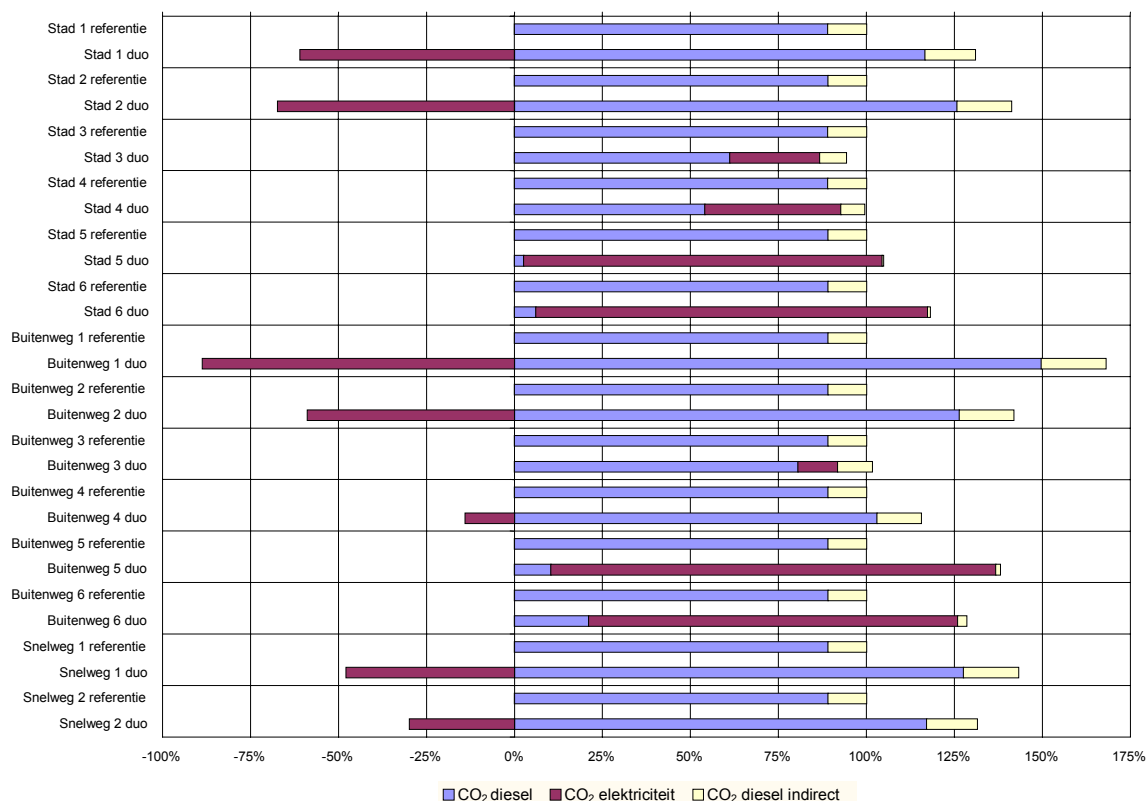
Er is voor de deeltjesemissie geen relatie te vinden tussen de ritdynamiek en de milieuprestatie van de duo.



Figuur 4.24 *Percentage emissies SO₂ referentievoertuig-Audi duo*

Het aandeel van de indirecte dieselemissie op de totaalemissie is zeer groot (Figuur 4.24). Dit wordt met name veroorzaakt door de hoge SO₂-emissie die ontstaat tijdens de winning en transport over zee van de brandstof. Doordat de SO₂-emissie van de elektriciteitscentrale veel lager is, levert een hoog aandeel elektrisch in de ritcyclus al snel een (groot) milieuvoordeel voor de duo op.

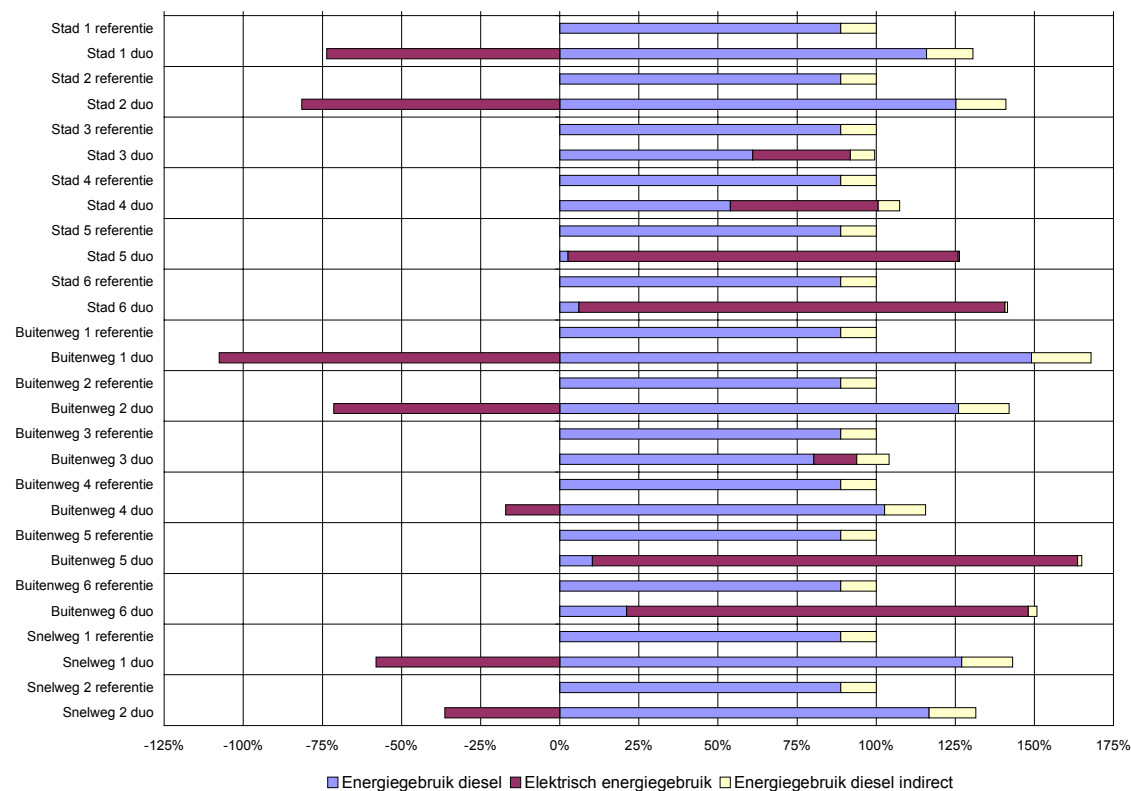
Zowel in de stad als op de buitenweg moet met de duo een frequent gebruik van de dieselaandrijving vermeden worden om de totale SO₂-emissie niet (veel) hoger te laten zijn dan van het referentievoertuig. Bij ongeveer 40% van de tijd elektrisch rijden slaat het milieunadeel om in een milieuvoordeel. Een flink milieuvoordeel wordt bereikt indien de duo voornamelijk elektrisch wordt gebruikt; ±75% lagere SO₂-emissie in de stad en ±60% lagere SO₂-emissie op de buitenweg. Inzet van de duo op de snelweg moet vermeden worden (30-40% hogere SO₂-emissie).



Figuur 4.25 *Percentage emissies CO₂-referentievoertuig-Audi duo*

De CO₂-emissie van de elektriciteitscentrale heeft een grote invloed op de totaalemissie (Figuur 4.25). Hierdoor ontstaat de enigszins verrassende indruk dat de duo, zowel binnen als buiten de stad, de beste milieuprestaties levert bij zo veel mogelijk gebruik van de dieselaandrijving. Deze conclusie verdient enige nuances: Bij een frequent gebruik van de dieselaandrijving wordt de tractiebatterij netto opgeladen. De extra CO₂-emissie van de dieselmotor is echter minder dan de fictieve negatieve emissie van de elektriciteitscentrale. Blijkbaar is de opwekking van elektrische energie door de dieselmotor efficiënter dan laden vanuit het elektriciteitsnet. Dit wordt bevestigd door het feit dat de totale CO₂-emissie van de duo bij een hoog aandeel elektrisch rijden (flink) hoger is dan van het referentievoertuig. Echter, zoals gezegd is de negatieve emissie van de elektriciteitscentrale fictief en mag daarom alleen van de totaalemissie worden afgetrokken indien aangenomen wordt dat de netto batterijlading in een volgende rit wordt gebruikt om elektrisch te rijden. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de duo de beste milieuprestatie levert bij een gecombineerd gebruik van de diesel- en elektrische aandrijving. De resultaten van de ritten 3 en 4 tonen echter aan dat de duo in deze gecombineerde ritten milieuneutraal is. Hierbij moet worden opgemerkt dat in de stadsritten de tractiebatterij nog gedeeltelijk wordt opgeladen vanuit het elektriciteitsnet. Een (klein) CO₂-voordeel is in de stad waarschijnlijk te behalen indien de tractiebatterij zoveel mogelijk door de dieselmotor wordt opgeladen (ook wel ‘charge sustaining’ rijden genoemd).

De CO₂-emissie van de duo is niet gevoeliger of ongevoeliger voor een hogere ritdynamiek dan het referentievoertuig.



Figuur 4.26 Percentage energiegebruik referentievoertuig-Audi duo

Voor het energiegebruik geldt een soortgelijk verhaal als voor de CO₂-Figuur 4.26. De duo levert de beste milieuprestatie bij een gecombineerd gebruik van de diesel- en elektrische aandrijving, waarbij de tractiebatterij zoveel mogelijk wordt opgeladen door de dieselmotor ('charge sustaining' rijden).

Samenvatting van de bevindingen

De milieuprestaties van de Audi duo zijn samengevat in Tabel 4.2, gerelateerd aan de inzet van de duo in de individuele gebruiksgebieden. Hieruit kunnen de volgende conclusies worden getrokken, waarbij een onderscheid is gemaakt tussen schoon (CO, HC, NO_x, deeltjes en SO₂), zuinig (CO₂ en energiegebruik) en de invloed van de ritedynamiek:

Schoon:

- Om schoner te zijn dan de conventionele A4 TDI, moet de duo in de stad en op de buitenweg zoveel mogelijk elektrisch worden gereden.
- Bij ritten waarin zowel elektrisch als diesel wordt gereden (waar het voertuig voor ontworpen is), is de duo in de stad nog steeds schoner. Echter op de buitenweg is de duo in dit gebruiksgebied milieuneutraal.
- Een frequent gebruik van de dieselaandrijving moet zowel in de stad als op de buitenweg vermeden worden, met uitzondering van de CO-emissie. De duo is in dit gebruiksgebied minder schoon dan de conventionele A4 TDI (met name de NO_x-emissie).
- Inzet van de duo op de snelweg moet, vanuit het oogpunt schoner, vermeden worden. Alleen de CO-emissie scoort hier milieuneutraal.

Zuinig:

- De duo is in geen enkel onderzocht gebruiksgebied zuiniger dan de conventionele A4 TDI.
- Bij een hoog percentage elektrisch rijden is de duo zelfs minder zuinig dan de conventionele A4 TDI.
- In de stad is de duo waarschijnlijk (iets) zuiniger dan de conventionele A4 TDI bij een combinatie van diesel- en elektrisch rijden, waarbij de tractiebatterij zoveel mogelijk door de dieselmotor wordt opgeladen ('charge sustaining' rijden).

Ritdynamiek:

- De emissies van de duo zijn niet gevoeliger of ongevoeliger voor een hogere ritdynamiek dan het referentievoertuig.

Conclusies omtrent de gevolgen voor het milieu van de inzet van de duo door de individuele gebruikers van het praktijkexperiment, worden beschreven in Hoofdstuk 5.

Tabel 4.2 *Milieuprestaties van de Audi duo in de verschillende gebruiksgebieden t.o.v. het referentievoertuig*

	Hoog % diesel	Stad 40% diesel	Hoog % elektrisch	Hoog % diesel	Buitenweg 60% diesel	Hoog % elektrisch	Snelweg 5-15% elektrisch
CO	+	+	++	o	o	o	o
HC	o	+	++	-	o	++	-
NO _x	--	+	++	--	o	++	--
Deeltjes	-	+	++	-	o	++	--
SO ₂	-	+	++	-	o	++	-
CO ₂	o/+	o	-	o	o	-	o
Energiegebruik	o/+	o	-	o	o	-	o

++ groot milieuvoordeel
 + milieuvoordeel
 o milieuneutraal
 - milieunadeel
 -- groot milieunadeel

5 EFFECTEN GEBRUIK EN GEDRAG OP MILIEUPRESTATIES

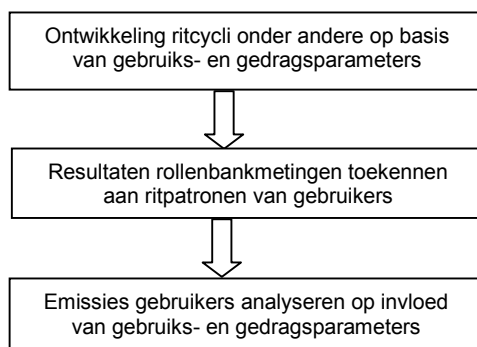
5.1 Inleiding

Dit hoofdstuk behandelt de analyse van de milieuresultaten in relatie tot het gebruik van het voertuig en het gedrag van de bestuurder. Om deze analyse te kunnen uitvoeren zijn de rollenbankmetingen opgezet rondom gebruiks- en gedragsaspecten die het energiegebruik beïnvloeden. De belangrijkste parameters die het gebruik karakteriseren zijn de percentages van de tijd dat in de stad, op de buitenweg en op de snelweg is gereden. De parameters waarmee de gedragsaspecten kunnen worden geanalyseerd zijn bepaald op basis van de afhankelijkheid van het energiegebruik (zie Paragraaf 4.2). Deze parameters zijn:

- Voor stad en buitenweg: ritdynamiek (RPA) en percentage elektrisch.
- Voor snelweg: gemiddelde stand van het gaspedaal en percentage elektrisch.

De resultaten van de rollenbankmetingen zijn toegekend aan de gebruikers. De analyse van de gebruiks- en gedragsaspecten behelst vervolgens de analyse van de invloeden van de gebruiks- en gedragsparameters per gebruiker op de gemiddelde emissie per gebruiker. Op deze manier kan geanalyseerd worden in hoeverre de Audi duo in staat is om ook in de praktijk een betere milieuprestatie te behalen dan een dieselveertuig.

Figuur 5.1 geeft een schematische weergave van de gehanteerde methode.



Figuur 5.1 *Schematische weergave van methode voor bepaling emissies per gebruiker*

Paragraaf 5.2 beschrijft de toekenning van de resultaten van de rollenbankmetingen aan de gebruikers. De paragrafen daaropvolgend beschrijven wat de invloed is van de gebruiks- en gedragsaspecten op de milieuprestaties van de Audi duo. Paragraaf 5.3 behandelt de gebruiksaspecten en Paragraaf 5.4 de gedragsaspecten.

5.2 Milieuprestaties gebruikers

Om de resultaten van de rollenbankmetingen toe te kennen aan de gebruikers is de volgende methode gehanteerd:

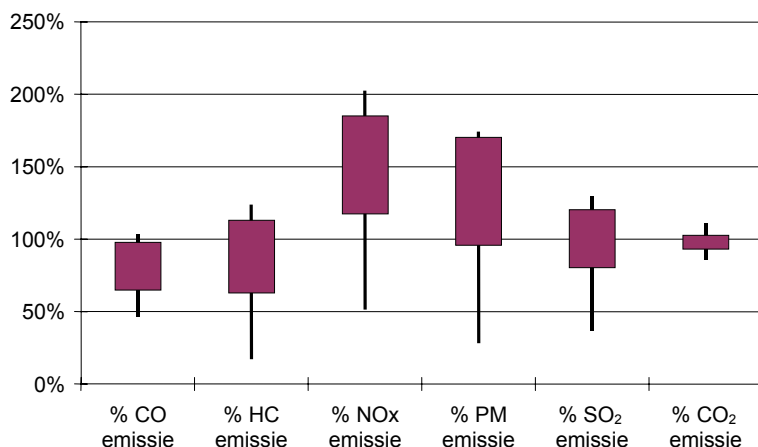
Voor de rollenbankmetingen zijn de modules van de gebruikers ingedeeld in gebruiksgebieden (stad 1 t/m 6, buitenweg 1 t/m 6 en snelweg 1 en 2). Op basis van deze rollenbankmetingen is per gebruiksgebied een emissie vastgesteld. Vervolgens zijn per gebruiker de resultaten van de rollenbankmetingen gekoppeld aan de gereden modules van een gebruiksgebied. Dat wil zeggen dat per gebruiker de gereden modules ingedeeld zijn in stad 1 t/m 6, buitenweg 1 t/m 6 en snelweg 1 en 2 en vervolgens zijn de bijbehorende emissies (van de Audi Duo en de conventionele

Audi) aan deze modules gekoppeld. Op deze manier ontstaat een emissiegetal per gebruiker dat uitgedrukt kan worden in gram per kilometer. Figuur 6.1 geeft een overzicht van de berekening.

Tabel 5.1 *Toekenning emissies aan modules*

Gebruiker 1	Afstand	Rittype	Emissie per rittype	Totale emissie
	32 km	Stad 1	X g/km	X gr
	.. km	Stad ..	.. g/km	
	61 km	Stad 6	Z g/km	
	26 km	Buitenweg 1		
	.. km	Buitenweg ..		
	5 km	Buitenweg 6		
	202 km	Snelweg 1		
	199 km	Snelweg 2		
Totaal	761 km			Xy gr
Gemiddeld per gebruiker				Xyz g/km

Om de milieuprestaties te analyseren zijn de emissies van de gebruikers van de Audi duo berekend als percentage van de emissies van het referentievoertuig. Op deze manier worden de procentuele emissies van de Audi duo ten opzichte van het referentievoertuig verkregen. De diesel-emissies zijn geïndexeerd op 100%. Figuur 5.2 laat de verschillende procentuele Audi duo emissies zien voor de gebruikers. Voor de weergave van deze procentuele emissies is in deze Figuur gebruik gemaakt van bandbreedtes. De blokken in de Figuur geven 75% van de data weer, de lijnen in de grafiek tonen de bovenste en onderste 12,5% van de data.



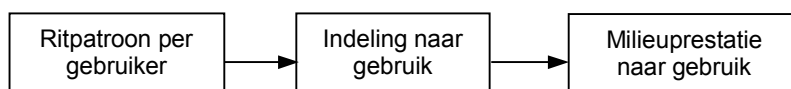
Figuur 5.2 *Spreiding procentuele Audi duo emissies voor de gebruikers*

Er zijn grote verschillen op te merken in de spreiding per emissie. Voor de NO_x- en deeltjes-emissies geldt dat het voor- of nadeel van de Audi duo ten opzichte van het referentievoertuig sterk verschilt per gebruiker. Deze emissies zijn blijkbaar gevoelig voor gebruikersafhankelijke aspecten. Daarentegen is de spreiding in de CO₂-emissies erg klein, en zijn CO₂-emissies blijkbaar ongevoelig voor gebruikersafhankelijke aspecten.

De Figuur laat zien dat voor alle onderzochte emissies geldt dat Audi duo in staat is om ook in de praktijk betere milieuprestaties te behalen dan een dieselveertuig. Voornamelijk voor de CO-, HC- en SO₂-emissies geldt dat de milieuprestaties van de Audi duo gunstiger kunnen zijn dan het dieselveertuig.

5.3 Gebruiksonderzoek - toepassingsmogelijkheden

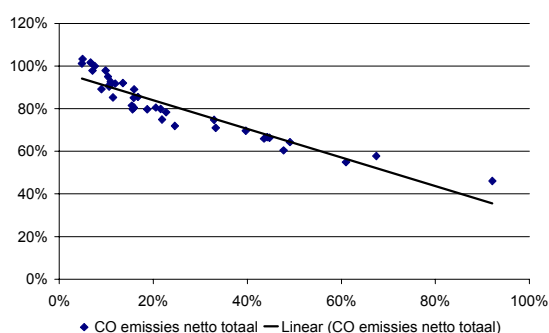
Als gebruikskenmerken zijn gehanteerd de percentages dat een gebruiker in de stad, op de buitenweg dan wel op de snelweg heeft gereden. Deze gebruikskenmerken zijn gebruikt om een indeling van de ritpatronen te maken op basis waarvan de effecten van het gebruik op de milieuprestaties is onderzocht. Figuur 5.3 laat deze aanpak zien.



Figuur 5.3 *Vergelijking emissies en energiegebruik per ritpatroon*

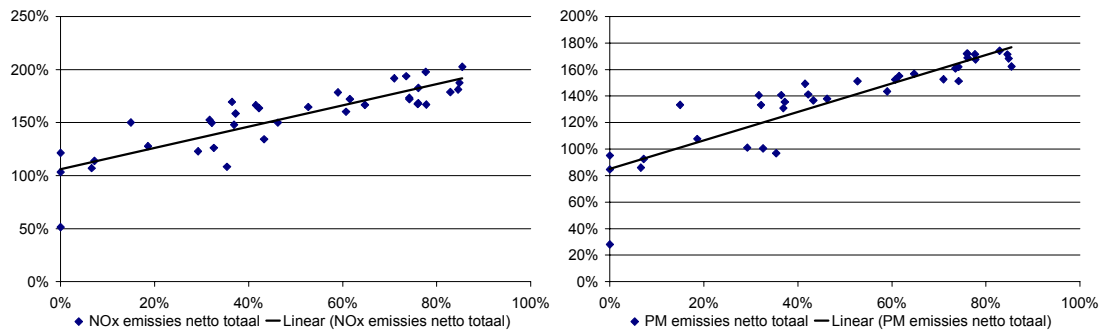
Vervolgens is onderzocht in hoeverre de gebruikskenmerken invloed hebben op de verschillende emissies. De methode die hiervoor gehanteerd is, is beschreven in Bijlage E. De resultaten van deze analyse zijn dat de gebruikskenmerken het meeste invloed hebben op de CO-, NO_x- en PM-emissies. Deze emissies worden hieronder aan de hand van figuren besproken.

Om de milieuprestaties te analyseren zijn de emissies van de Audi duo weergegeven als procentuele emissies ten opzichte van het referentievoertuig. Wanneer de procentuele verschillen van de Audi duo ten opzichte van het referentievoertuig worden uitgezet tegen de percentages dat een gebruiker in de stad, op de buitenweg of op de snelweg heeft gereden worden de volgende figuren verkregen.



Figuur 5.4 *Procentuele CO emissie duo ten opzichte van diesel als functie van percentage stad en per gebruiker*

De Figuur laat zien de CO-emissie van de Audi duo voor bijna al de gebruikers gunstiger uitvalt dan voor het referentievoertuig, de procentuele CO-emissies van de duo liggen namelijk voor bijna al de gebruikers onder de 100%. Ook is te zien dat het percentage stad van een gebruiker een positieve invloed heeft op de CO-emissies van de Audi duo ten opzichte van het conventionele dieselveertuig. Met andere woorden, hoe meer er in de stad gereden wordt des te groter is het voordeel voor de Audi duo ten opzichte van het conventionele dieselveertuig.



Figuur 5.5 *Procentuele NO_x en PM emissie duo ten opzichte van diesel als functie van percentage snelweg en per gebruiker*

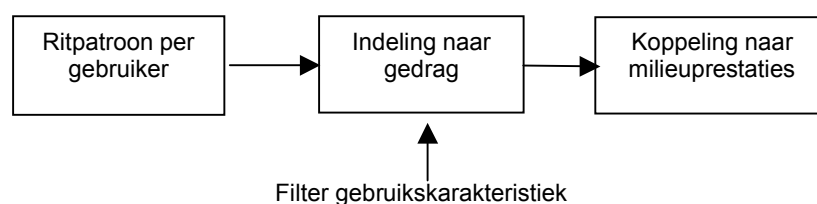
Figuur 5.5 geeft voor de NO_x- en de PM-emissie een minder rooskleurig beeld. Opgemerkt kan worden dat de NO_x- en de PM-emissies van de Audi duo zelden lager uitvallen dan dezelfde emissies van het conventionele dieselveertuig. De Audi duo is slechts voor enkele gebruikers gunstiger wat betreft deze emissies. Ook is te zien dat het percentage snelweg van een gebruiker een negatieve invloed heeft op de NO_x- en de PM-emissies van de Audi duo ten opzichte van het conventionele dieselveertuig. Met andere woorden, hoe meer er op de snelweg gereden wordt des te groter is het nadeel voor de Audi duo ten opzichte van het conventionele dieselveertuig.

Voor deze drie emissies (CO, NO_x, PM) zijn de gebruikskenmerken percentage stad en percentage snelweg de belangrijkste factoren die het verschil in emissies veroorzaken tussen de Audi duo en het conventionele dieselveertuig. Voor CO geldt dat het percentage stad voor 87% verklarend is voor het verschil in de emissies. Voor NO_x en PM geldt dat het percentage snelweg respectievelijk 73% en 79% van het verschil van de emissie verklaart (zie ook Paragraaf 5.4).

Over het algemeen kan gesteld worden dat het percentage stad voor elke emissie een positieve invloed heeft op het voordeel van de Audi duo ten opzichte van het conventionele dieselveertuig. Alleen voor de CO₂-emissie is een licht negatief effect op te merken. Het percentage snelweg heeft een negatieve invloed op het voordeel van de Audi duo. Het percentage buitenweg van een rit is niet erg bepalend voor de hoogte van de verschromissies. Het ritpatroon van een buitenwegrit zou beschouwd kunnen worden als een tussenvorm van een stad- en een snelwegrit. Het positieve effect op het voordeel voor de Audi duo van het percentage stad en het negatieve effect op dit voordeel van het percentage snelweg vallen op deze manier in een buitenwegrit tegen elkaar weg.

5.4 Gedragsonderzoek - relatie gedrag en performance op emissieniveau

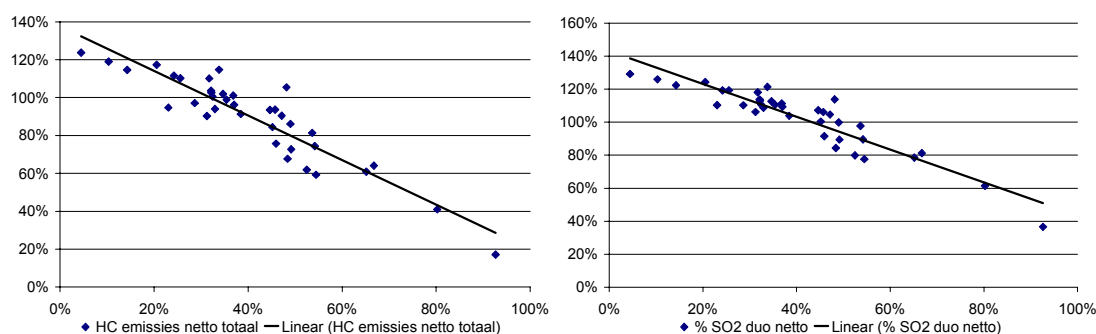
Per gebruiker wordt gekeken in hoeverre en hoe de gedragsaspecten de milieuprestaties beïnvloeden. Hierbij wordt er rekening mee gehouden dat de gedragsaspecten niet beïnvloed worden door de gebruiksaspecten. Als gedragskenmerken zijn gehanteerd de dynamiek van een rit, het percentage dat een gebruiker elektrisch rijdt en de stand van het gaspedaal. Dit wordt in Figuur 5.6 weer gegeven als een filter op de gebruikskarakteristiek.



Figuur 5.6 *Analyse van het gedrag*

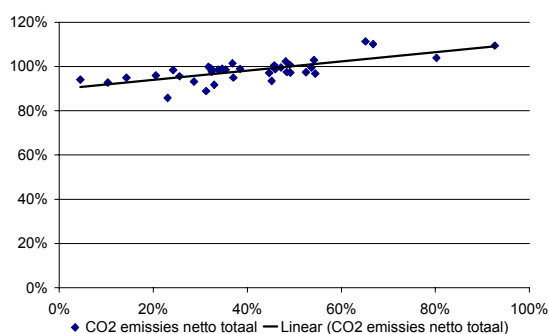
Ook voor de gedragskenmerken is de invloed op de verschillende emissies onderzocht (zie Bijlage E). De HC-, SO₂- en CO₂-emissies worden het meest beïnvloed door de gedragskenmerken. Deze emissies worden dan ook in deze paragraaf uitvoering besproken aan de hand van figuren.

Om de milieuprestaties te analyseren zijn de emissies van de Audi duo wederom weergegeven als procentuele emissies opzichte van het referentievoertuig. Wanneer nu deze procentuele emissies van de Audi duo ten opzichte van het referentievoertuig worden uitgezet tegen de dynamiek van een rit, het percentage dat een gebruiker elektrisch rijdt en de stand van het gaspedaal worden de onderstaande figuren verkregen.



Figuur 5.7 Procentuele HC en SO₂-emissie duo ten opzichte van diesel als functie van percentage elektrisch en per gebruiker

Voor de HC- en SO₂-emissies geldt dat hoe meer men elektrisch rijdt hoe gunstiger de Audi duo afsteekt tegen zijn dieseltegenhanger. Echter bij lage percentages elektrisch valt de vergelijking tussen de Audi duo en het conventionele dieselveertuig nog wel negatief uit. Rond de 30% voor HC en rond de 40% voor SO₂ slaat de balans door naar een voordeel voor de Audi duo. Vanaf deze percentages kan voor de Audi duo gesteld worden dat er minder HC en SO₂ uitgestoten wordt dan bij het referentievoertuig.



Figuur 5.8 Procentuele CO₂ emissie duo ten opzichte van diesel als functie van percentage elektrisch en per gebruiker

Het procentuele voordeel voor de Audi duo ten opzichte van het referentievoertuig wordt voor de CO₂-emissie ook bepaald door het percentage dat een gebruiker elektrisch rijdt. Het percentage elektrisch van een rit heeft hier een negatief effect: hoe meer elektrisch er gereden wordt hoe meer CO₂-emissies worden veroorzaakt. Vanaf ongeveer 45% elektrisch presteert het conventionele dieselveertuig beter op het gebied van de CO₂-emissies.

Voor deze twee emissies (HC, CO₂) zijn de gedragskenmerken de belangrijkste factoren die de hoogte van de emissies veroorzaken. Voor HC geldt dat het percentage elektrisch voor 85% verklarend is voor de hoogte van de emissie. Voor CO₂ dat het percentage elektrisch 52% van de hoogte van de emissie verklaard (zie ook Paragraaf 5.4).

Het percentage elektrisch van een rit heeft op alle emissies een positieve invloed op het voordeel van de Audi duo ten opzichte van het conventionele dieservoertuig, behalve voor de CO₂-emissies. Deze laatste stijgen bij een hoger percentage elektrisch van een rit. De dynamiek van een rit en de stand van het gaspedaal hebben beide over het algemeen een niet significante invloed op de verschil-emissies. Dit komt omdat deze factoren voor het grootste deel bepaald worden door de ander gebruiks- en gedragskenmerken, namelijk de percentages stad, buitenweg, snelweg en elektrisch.

5.5 Totale analyse

Tabel 5.2 geeft een totaal overzicht van de effecten van de gebruiks- en gedragskenmerken op de emissies. De tweede kolom geeft een opsomming van de parameters die een significante invloed hebben op de emissies van de eerste kolom. De derde kolom geeft aan voor welk percentage de parameters in de tweede kolom de hoogte van het verschil-emissies bepalen (verschil-emissies tussen Audi duo en referentievoertuig). In de vierde kolom staat of de invloed van de parameters op de emissies een positief of negatief verloop heeft voor het voordeel van de Audi duo.

Tabel 5.2 Effecten van gebruiks- en gedragskenmerken op emissies

Emissie	Parameter [%]	Verklaring [%]	Invloed
CO	stad	87	Positief
	buitenweg	94	Positief
HC	elektrisch	85	Positief
	stad	95	Positief
	buitenweg	97	Positief
NO _x	snelweg	73	Negatief
	elektrisch	92	Positief
	buitenweg	94	Positief
SO ₂	elektrisch	86	Positief
	stad	95	Positief
	snelweg	96	Negatief
CO ₂	elektrisch	52	Negatief
	stad	80	Negatief
PM	stad	80	Negatief
	elektrisch	89	Positief
	positie gaspedaal	93	Negatief

De belangrijkste factoren die het voordeel van de Audi duo bepalen zijn het gebruik van het voertuig (stad, buitenweg, snelweg) en het percentage elektrisch (instelling van de keuzeschaakelaar).

De dynamiek van een rit is een belangrijke invloedsfactor op de emissies en het energieverbruik van de Audi duo maar deze factor blijkt zo goed als volledig bepaald te worden door het gebruik van het voertuig (stad, buitenweg, snelweg). Hierdoor heeft de dynamiek van een rit geen significante invloed op het procentuele voordeel voor de Audi duo ten opzichte van de dieselreferentie.

In Tabel 5.3 worden de waarden gegeven van de gedrags- en gebruikskenmerken waarvoor geldt dat het gunstiger is om met de Audi duo te rijden dan met een conventionele diesel en omgekeerd.

Tabel 5.3 *Waarde van parameters waarbij een milieuvoordeel omstaat*

Emissie	Parameter [%]	Voordeel Audi duo	Voordeel diesel
CO	stad	10-100% stad	0-5% stad
	buitenweg	0-100% buitenweg	Enkele uitzonderingen
HC	elektrisch	35-100% elektrisch	0-25% elektrisch
	stad	15-100% stad	0-15% stad
	buitenweg	20-100% buitenweg	0-20% buitenweg
NO _x	snelweg	Geen voordeel	0-100% snelweg
	elektrisch	85-100% elektrisch	0-75% elektrisch
	buitenweg	Geen voordeel	0-100% buitenweg
SO ₂	elektrisch	45-100% elektrisch	0-40% elektrisch
	stad	40-100% stad	0-30% stad
	snelweg	0-40% snelweg	50-100% snelweg
CO ₂	elektrisch	0-45% elektrisch	50-100% elektrisch
	stad	Geen significant voordeel	Geen significant voordeel
PM	snelweg	0-10% snelweg	15-100% snelweg
	elektrisch	70-100% elektrisch	0-70% elektrisch
	stand gaspedaal	0-15	20-50

Geconcludeerd kan worden dat er geen gebied aan te wijzen is waar de Audi duo in alle gevallen een betere milieuprestatie heeft dan het dieselveertuig. Voor CO, HC, PM en SO₂ kan wel geconcludeerd worden dat de Audi duo in de volgende situaties altijd gunstiger presteert dan het dieselveertuig:

- hoog percentage stadsritten (>40%),
- hoog percentage buitenwegritten (>20%),
- geen snelwegritten,
- hoog percentage elektrisch (>70%).

Voor NO_x is de balans eigenlijk zo goed als altijd negatief tenzij er heel veel elektrisch gereden wordt (>85%). Voor al de emissies, behalve de CO₂-emissie, geldt dat hoe meer er elektrisch gereden wordt met de Audi duo, hoe schoner het voertuig is. Dit lijkt een kans voor de batterij-elektrische auto.

Voor CO₂ geldt dat hoe minder er elektrisch gereden wordt hoe gunstiger de balans uitvalt voor de Audi duo. Dit betekent dat er altijd een afweging gemaakt zal moeten worden tussen de CO₂ emissies en de andere emissies. Anders gezegd het voertuig is schoon (weinig emissies) of zuinig (lage CO₂-emissies is laag energiegebruik) te gebruiken en niet allebei.

Het patroon waarvoor de Audi duo het meeste voordeel heeft ten opzichte van het dieselveertuig is een patroon dat niet bij een van de meegenomen doelgroepen past. De onderlinge verschillen tussen gebruikers van een doelgroep zijn in sommige gevallen bijna net zo groot als de verschillen tussen de doelgroepen. Er kunnen dan ook geen uitspraken gedaan worden betreffende de milieuprestatie van de doelgroepen. Wel kan geconcludeerd worden dat de voordelen voor de Audi duo over het algemeen groter worden naar mate er meer in de stad en meer elektrisch gereden wordt. Doelgroepen die veel op de snelweg en diesel rijden zullen minder of in het geheel niet profiteren van de milieuvoordelen van de Audi duo. Deze conclusie lijkt een

conflict te zijn met het karakter van de Audi duo. De Audi duo, gebaseerd op een Audi A4 Avant, is een auto voor de zakenrijder. Zakelijke rijders maken jaarlijks veel kilometers en rijden gemiddeld veel op de snelweg. De milieuprestaties van de Audi duo zijn juist in dit gebruiksgebied (snelweg) minder goed dan die van het referentievoertuig. De Audi duo lijkt wat betreft milieuprestaties beter te presteren dan het referentievoertuig wanneer deze veel in de stad wordt gebruikt, eventueel op de buitenweg, maar weinig op de snelweg.

6 KANSSEN EN BELEMMERINGEN VOOR MARKTINTRODUCTIE

6.1 Inleiding

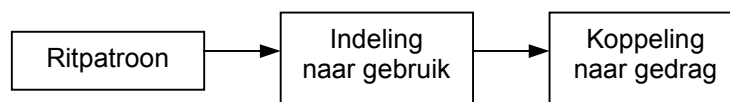
Gewenning van de gebruikers aan het voertuig en ervaringen van gebruikers met het rijden met het voertuig kunnen beide informatie opleveren voor de marktintroductie. Met behulp van de analyse van de gewenning en de ervaringen van de gebruikers komen positieve en negatieve punten naar voren die omgezet kunnen worden in suggesties en aanbevelingen voor de uitvoering van een hybride auto en de marktintroductie daarvan. Paragraaf 6.2 behandelt de gewenning en paragraaf 6.3 de ervaringen. Tot slot worden in paragraaf 6.4 de kansen en belemmeringen voor marktintroductie besproken.

6.2 Analyse gewenning

Gewenning kan optreden wanneer actieve interacties plaats hebben tussen gebruiker en voertuig. Deze interacties leiden dan uiteindelijk tot een stabiel gedrag van de gebruiker ten opzichte van het voertuig. De uitwerking van de belangrijkste interacties zullen nader worden bekeken. Hierbij is vooral de aandacht uitgegaan naar interacties die specifiek zijn voor deze hybride auto. Deze interacties vinden op de volgende manieren plaats:

- Het instellen van de keuzeschakelaar.
- Acceleratie (diesel/elektrisch).
- Het schakelen in elektro-stand (versnellingen).

Om de gewenning te kunnen analyseren worden de ritpatronen gebruikt die ingedeeld zijn in stad-, buitenweg en snelwegmodules (zie Paragraaf 3.2.2). Aan de hand van deze indeling naar gebruik is het gedrag nader bekeken. Figuur 6.1 geeft dit proces in een diagram weer.



Figuur 6.1 *Analyse gewenning*

Voor de ritpatronen van stad, buitenweg en snelweg worden afzonderlijk een aantal parameters onderzocht op gewenning. Deze parameters zijn afgeleid van bovenstaande interacties. Tabel 6.1 geeft de interacties en de parameters weer.

Tabel 6.1 *Interacties en parameters*

Interacties	Parameter
Interactie tussen gebruik keuzeschakelaar dagen ervaring	Percentage van de tijd gereden in diesel-stand. Percentage van de tijd gereden in electro-stand. Percentage van de tijd gereden in duo-stand.
Interactie tussen acceleratie en dagen ervaring	RPA diesel. RPA elektrisch.
Interactie tussen schakelen en dagen ervaring	Toerental waarbij geschakeld wordt in elektrisch bedrijf.

Voor de parameters wordt per gebruiker het verloop in de tijd onderzocht. Hiervoor zijn alleen gebruikers meegenomen die minstens tien dagen ervaring hebben opgedaan met stad, buitenweg en/of snelwegritten. Gewenning is gedefinieerd als interactie tussen gebruiker en voertuig die

leidt tot een stabiel gedrag van gebruiker ten opzichte van het voertuig. Wanneer uitgegaan wordt van deze definitie wordt een logaritmisch verband verwacht. Omdat de stabilisatie echter nog niet goed waar te nemen is na twee weken kan de analyse alleen informatie geven over de richting waarin de gewenning verloopt. Gezocht is dus naar een trend in de vorm van een lineair verband, hoewel dit een versimpeling is van de werkelijkheid. Wanneer er geen lineair verband aanwezig is vindt de interactie waarschijnlijk niet plaats. R^2 is een karakterisering van de mate van lineaire samenhang. Voor deze analyse is gekeken naar relaties met een $R^2 > 0,25$. Dit betekent dat de parameters voor minstens 25% bepalend zijn voor het verloop in de tijd.

Tabel 6.2 geeft de algemene resultaten van deze analyse weer voor de stad en de buitenweg. Voor de stad geldt dat voor 18 van de 37 (49%) deelnemers er verandering in het gedrag waar te nemen is. Voor de buitenweg geldt dat voor 27% van de deelnemers. Voor de snelweg geldt dat er per gebruiker te weinig dagen ervaring is opgedaan met snelwegritten om hier iets over te kunnen zeggen. Er zijn alleen verbanden te vinden voor de parameters van het instellen van de keuzeschakelaar en van de acceleratie. Het schakelgedrag in elektro-stand levert geen verloop op ($R > 0,5$) in tijd. In deze paragraaf zullen de snelweg en het schakelgedrag beide dan ook verder buiten beschouwing worden gelaten.

Tabel 6.2 *Overzicht algemene resultaten, lineair verband*

	Stad		Buitenweg	
	Deelnemers	Ritten [%]	Deelnemers	Ritten [%]
Totaal	37	100	37	100
Selectie > 10 ritten	30		21	
Selectie > 10 ritten en lineair verband	18	44	10	35
Versnelling schakelaar	12	35	9	29
Versnelling acceleratie	8	23	4	13

De gebruikers waarbij een verandering in het gedrag is waar te nemen, zitten in een proces van gewenning. Voor deze gebruikers is nog geen stabiele situatie ontstaan, daarvoor is de tijd te kort gebleken. De gebruikers waarbij geen duidelijke verandering in het gedrag is waar te nemen hebben meestal een erg diffuus patroon of juist een erg vlak patroon waarin in de loop van de tijd geen verband kan worden gevonden. Een erg diffuus patroon kan er op duiden dat men nog zoekende is en een vlak patroon kan er op wijzen dat men nooit zoekende is geweest. Dit laatste treedt dan ook regelmatig op in de gevallen dat iemand een bepaalde stand van de schakelaar nauwelijks heeft gebruikt.

6.2.1 Gebruik keuzeschakelaar

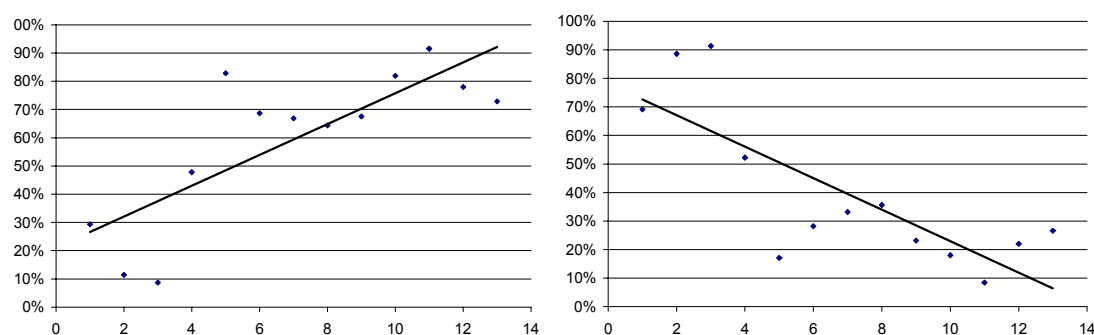
Stad

Voor de stad geldt dat voor 12 van de 37 (32%) deelnemers er enige mate van gewenning optreedt met betrekking tot de keuzeschakelaar. Deze 12 deelnemers hebben 35% van de ritten gereden. Tabel 6.3 laat de onderverdeling zien van de aanpassing in het gedrag in de vorm van stijgende en dalende relaties. Een stijgende relatie in de diesel-stand betekent dat in de loop van de tijd de gebruiker meer in de diesel-stand is gaan rijden.

Tabel 6.3 *Relaties keuzeschakelaar stadsritten*

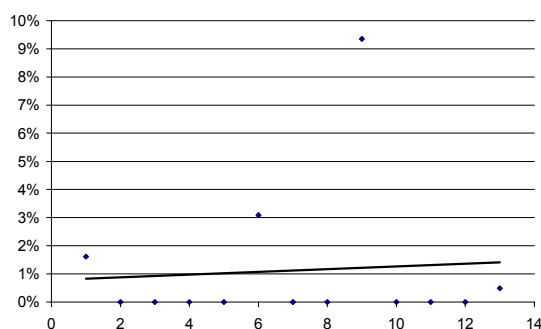
Diesel-stand	Duo-stand	Elektro-stand	Aantal deelnemers
Stijgend	Dalend	-	5
Stijgend	-	-	2
-	-	Dalend	2
-	-	Stijgend	1
-	Dalend	Stijgend	1
Dalend	-	-	1
Totaal			12

Over het algemeen kan geconcludeerd worden dat men in de loop van de tijd meer in de diesel-stand is gaan rijden in de stad en minder in de duo-stand. De volgende figuren geven hier een voorbeeld van. Figuur 6.2 laat voor een deelnemer het verloop zien van de percentages diesel en duo-stand in de tijd.



Figuur 6.2 *Percentage diesel naar rit in de tijd (links), percentage duo naar rit in de tijd*

Duidelijk is dat deze twee diagrammen elkaars spiegelbeeld zijn. Dit wordt nog duidelijker wanneer het percentage elektro-stand in een diagram wordt weergegeven: deze persoon rijdt amper in deze stand (Figuur 6.3).



Figuur 6.3 *Percentage elektro-stand van dezelfde persoon stad*

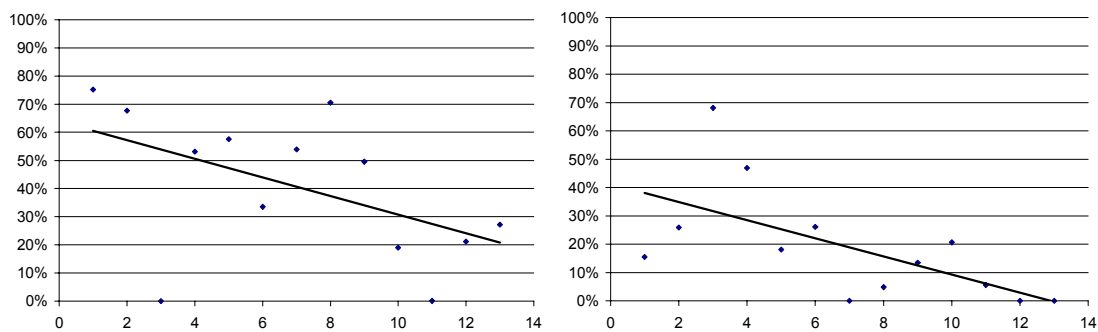
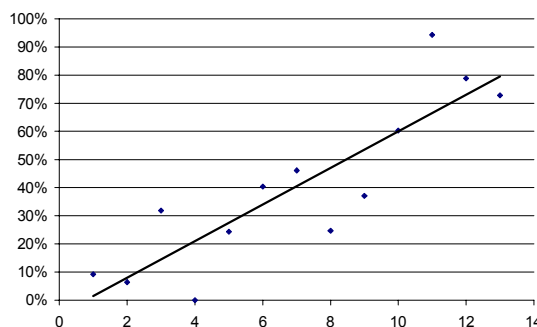
Buitenweg

Voor de buitenweg geldt dat voor 9 van de 37 (24%) deelnemers er enige mate van gewenning optreedt met betrekking tot de keuzeschakelaar. Deze 9 deelnemers hebben 29% van het totale aantal buitenwegritten gereden. Tabel 6.4 laat de onderverdeling zien van de verandering in het gedrag in de vorm van stijgende en dalende relaties.

Tabel 6.4 *Relaties schakelaar buitenweg*

Diesel stand	Duo stand	Elektro stand	Aantal deelnemers
Stijgend	Dalend	-	3
Dalend	-	Stijgend	2
Stijgend	-	Dalend	1
Stijgend	Dalend	Dalend	1
Dalend	Dalend	Stijgend	1
-	-	Dalend	1
Totaal			9

Voor de buitenweg geldt hetzelfde: het gebruik van de duo-stand neemt af in de loop van de tijd. De stijging van de diesel-stand is voor de buitenweg wat minder uitgesproken dan voor de stad. Bij het starten van het voertuig wordt de schakelaar automatisch door het voertuig in de duo-stand gebracht. In het begin van de proefperiode zullen de meeste mensen deze stand dan ook in eerste instantie hebben laten staan. Pas later is men zelf actiever gaan schakelen. Dit zou een verklaring kunnen zijn voor het dalen van het gebruik van de duo-stand in de loop van de tijd. Figuur 6.4 laat voor een deelnemer het verloop zien van de percentages diesel en duo-stand in de tijd.

Figuur 6.4 *Percentage diesel naar rit in de tijd (links), percentage duo naar rit in de tijd*Figuur 6.5 *Percentage elektrisch naar rit op buitenweg*

6.2.2 Acceleratie

Om de acceleratie te kunnen analyseren is de Relatieve Positieve Acceleratie (RPA) uitgerekend. RPA is een maat voor de dynamiek van een rit en wordt berekend door de totale energie die nodig is om het voertuig in een rit te accelereren te delen door de verreden afstand (zie Bijlage E). Hoe hoger de RPA waarde, hoe dynamischer de rit. In dit geval duidt een verhoging van de RPA in de loop van de tijd op het ontwikkelen van een sportievere rijstijl.

Voor de stad geldt dat voor 8 van de 37 (22%) deelnemers er enige mate van gewenning optreedt met betrekking tot de acceleratie, deze 8 deelnemers hebben 23% van de ritten gereden. Voor de buitenweg geldt een verband voor 4 deelnemers en 13% van de ritten. Tabel 6.5 en

Tabel 6.6 laten de onderverdeling zien van de verandering van het gedrag in de vorm van stijgende en dalende relaties voor de stad en de buitenweg. Een stijgende relatie geeft aan dat een deelnemer sportiever is gaan rijden in de loop van de tijd, een dalende relatie geeft aan dat de deelnemer rustiger is gaan rijden.

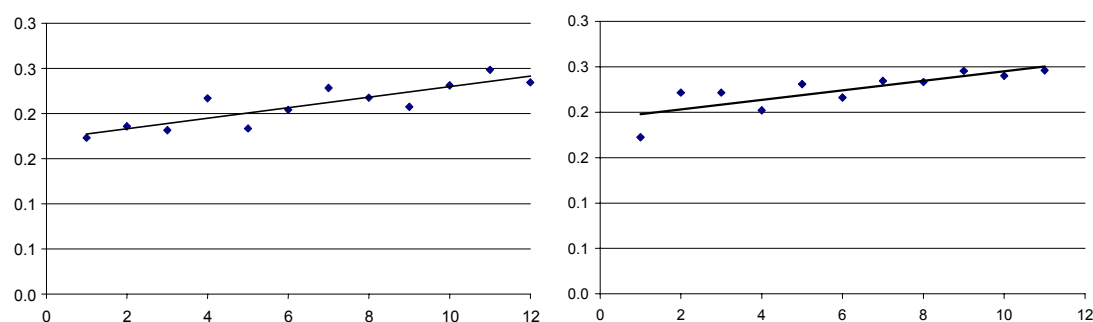
Tabel 6.5 *Relaties acceleratie stad*

Stad diesel	Stad elektrisch	Aantal deelnemers
Stijgend	Stijgend	2
Stijgend	-	2
-	Dalend	2
-	Stijgend	1
Dalend	-	1
Totaal		8

Tabel 6.6 *Relaties acceleratie buitenweg*

Buitenweg diesel	Buitenweg elektrisch	Aantal deelnemers
Stijgend	Stijgend	1
Stijgend	-	1
Stijgend	Dalend	1
-	Stijgend	1
Totaal		4

Voor een aantal deelnemers valt er een trend te onderscheiden in de acceleratie. Over het algemeen stijgt de RPA bij de gebruikers in de loop van de proefperiode. Figuur 6.6 laat het verloop van de RPA in de loop van de tijd zien voor twee deelnemers.



Figuur 6.6 *RPA diesel stad (links) RPA elektrisch stad (rechts) naar rit*

Het gedrag van de bestuurders met betrekking tot het instellen van de keuzeschakelaar en de acceleratie duidt erop dat er sprake is van verandering van gedrag wat kan leiden tot gewinning. Helaas is het verloop van het gedrag niet altijd de positieve richting op. Verminderd duo-standgebruik en een hoger wordende RPA duiden allebei op een verhoging van het energiegebruik in de loop van de tijd. Er kan zelfs geconcludeerd worden dat een verminderd gebruik van de duo-stand en een vermeerdering van het gebruik van de diesel-stand leidt tot een verhoging van het diesel-gebruik.

6.3 Analyse ervaringen

De ervaringen van bestuurders zijn geanalyseerd om mogelijke kansen en belemmeringen voor marktintroductie te identificeren. De verwachting van de gebruiker voorafgaand aan het rijden met de Audi duo is vergeleken met positieve en/of negatieve ervaringen. De verwachtingen en ervaringen van bestuurders zijn gevraagd middels enquêtes. Dit zijn open vragen, score-vragen en multiple choice vragen. Er is onderscheid gemaakt tussen de vragen die specifiek gericht zijn

op ervaring en de vragen die zijn bedoeld om het profiel van de gebruiker vast te stellen. In Bijlage B zijn beide enquêtes opgenomen.

6.3.1 Attitude

Het is een vooruitstrevende groep gebruikers. Bijna een kwart van de gebruikers heeft al eens in een elektrisch aangedreven auto gereden; deze gebruikers zijn echter niet oververtegenwoordigd bij de energie gerelateerde bedrijven. Ruim de helft (60%) van de deelnemers is van mening dat er een vervanging moet komen voor auto's met verbrandingsmotoren. Dit hoeft echter niet een hybride auto te zijn. Veel gebruikers (56%) zijn voorafgaand aan het rijden van mening dat de hybride auto de auto van de toekomst is. Van de deelnemers denkt vooraf 38% in de toekomst een hybride aan te schaffen of over een hybride te beschikken, achteraf is dit percentage gestegen tot 43%. De overwegend positieve houding bij de deelnemers ten aanzien van de hybride zou veroorzaakt kunnen worden door de wijze van selectie van de deelnemers. Mensen die de omschrijving 'hybride voertuig' niets zegt zullen niet erg waarschijnlijk deelnemen aan een dergelijk praktijkexperiment.

Het antwoord op de vraag of de hybride de auto van de toekomst is, is afhankelijk van de brandstof die men rijdt. Dit kan te maken hebben met de waardering van de dieselmotor. Het type brandstof blijkt ook een rol te spelen op de verwachting ten aanzien van het gebruik van de hybride in de toekomst: benzine rijders achten de kans groter dat ze in de toekomst een hybride zullen hebben.

De rijders van de B-groep oordelen positiever over de hybride als auto van de toekomst en de kans zelf in de toekomst een hybride aan te schaffen dan de rijders van de A-groep (A-groep rijders van Audi duo met meet- en registratiesysteem, B-groep rijders van Audi duo zonder meet- en registratiesysteem). Dat geeft de indruk dat de B-groep gemotiveerder is. Een verklaring hiervoor kan zijn dat de rijders van de B-groep zichzelf hebben opgegeven terwijl de rijders van de A-groep via het bedrijf bij de proef zijn betrokken.

De klasse van de eigen auto heeft weinig tot geen invloed op de antwoorden. De aandacht gaat voornamelijk uit naar de nieuwe techniek. Dit is een positieve constatering voor het experiment. Een significante relatie tussen het huidige type auto en de mening over de toekomstverwachting is dan ook niet geconstateerd. Wel lijkt het alsof bezitters van een grotere middenklasse auto iets minder positief zijn. De houding ten opzichte van de hybride auto wordt niet bepaald door de leeftijd van de deelnemer.

Vooraf zijn de meeste rijders positief over de toekomstmogelijkheden van de hybride (> 50% oordeelt positief), voornamelijk de dieselrijders (66% oordeelt positief). Achteraf zijn de diesel- en LPG-rijders relatief negatiever in hun oordeel geworden: respectievelijk 11% en 9% daling in positieve beoordeling. De benzinerijders zijn duidelijk positiever geworden: een stijging van 12% in de positieve beoordelingen. Gesteld kan worden dat na het rijden in de Audi duo gedurende 10 à 12 dagen de meningen over de toekomstmogelijkheden van de hybride auto iets genuanceerder zijn geworden. Dit effect wordt vaker waargenomen bij vergelijkbare experimenten. Deelnemers met een negatieve houding denken achteraf wat positiever terwijl personen met oorspronkelijk een uitgesproken positieve houding achteraf toch minder enthousiasme tonen. De algemene eindbeoordeling blijft echter positief voor de meeste gebruikers.

De reden van deelname aan de proef is vooral interesse in nieuwe technieken en niet het milieu. Van de deelnemers zegt 70% dat de doorslaggevende reden om mee te doen de interesse in nieuwe technieken is. Deze motivatie is ook bekend bij andere experimentele projecten onder andere met zonne-energie. Mensen vinden het interessant om in een auto te rijden met nieuwigheden. Je valt er mee op, het is een manier om aandacht te krijgen (anderen zijn nieuwsgierig), je bent vooruitstrevend en dat ook nog voor een goed doel. Gebruikers met een dergelijke houding worden ook wel 'early adopters' genoemd. Mogelijk is de belangstelling voor 'nieuwe

technologie', dat wil zeggen vooruitstrevendheid een betere inbeddingsroute voor de introductie van energiezuinige technologie dan een moreel beroep doen op gebruikers met betrekking tot het milieu.

Voor de eigen auto wordt een lage score gegeven voor milieu en brandstofverbruik. Dit kan zijn oorzaak hebben in het feit dat deelnemers denken dat deze houding nu eenmaal hoort bij de deelname aan dit onderzoek. Ook kan het zijn dat er inderdaad minder rekening met deze aspecten gehouden wordt bij aanschaf van een auto. Al wordt brandstofverbruik door de deelnemers wel als belangrijke factor aangegeven bij aanschaf van een nieuwe auto. Vooraf en achteraf wordt de vraag gesteld in hoeverre men in de toekomst over een hybride auto wil beschikken. Achteraf wordt ook naar de reden gevraagd. Het blijkt dat de gebruikers die graag in de toekomst zelf over een hybride willen beschikken toch vaak het milieu en het comfort (stil) als reden opgeven. Redenen om niet tot aanschaf over te gaan zijn prijs en capaciteit van de batterij. Overwegend is de reactie op de Audi duo positief daar er achteraf meer mensen zijn die over een hybride willen beschikken dan bij het begin van de praktijkproef

6.3.2 Ervaring

Men waardeert de motoren waar ze voor bedoeld zijn. De dieselmotor wordt positief beoordeeld op topsnelheid en acceleratie, terwijl de elektromotor positief wordt gewaardeerd vanwege het geringe geluid en het rijplezier. Over het algemeen wordt het elektrisch rijden als comfortverhogend gezien. De combinatie van beide aandrijvingen in een auto zou dus hoog moeten kunnen scoren maar dat valt tegen. De afzonderlijke krachtbronnen worden beter beoordeeld dan de hybride combinatie. Het blijkt dat men bij de beoordeling van de elektromotor vooral let op de positieve ervaringen: stil en schoon. Bij de waardering van de combinatie wordt meer nadruk gelegd op de negatieve ervaringen betreffende de elektrische aandrijving: geringe actieradius, gering vermogen bij halflege batterij, omschakeling tussen aandrijvingen in duo-stand werkt niet goed.

Deelnemers zijn overwegend tevreden over de dieselmotor. De schriftelijke toelichtingen die gebruikers bij de enquêtes hebben gegeven doen vermoeden dat dit afhankelijk is van ervaringen met de eigen auto. De uitgesproken ontevreden deelnemers zijn allemaal deelnemers die zelf in een auto met een dieselmotor rijden. Het schakelen en het geluid in de auto worden als zeer negatief ervaren bij rijden op de dieselmotor. Ook de acceleratie wordt minder goed beoordeeld. De dieselrijders zijn relatief negatiever over de acceleratie dan de benzine rijders. Deelnemers zijn iets minder tevreden over de elektromotor dan over de dieselmotor. Duidelijke negatieve punten bij de elektromotor zijn de actieradius en de acceleratie. Deze kritiekpunten kunnen samengevat worden in kritiek op de prestaties van de accu. Dit reflecteert zich in de waardering van de hybride.

Benzinerijders zien meer in de Audi duo dan dieselrijders en LPG-rijders. De laatste twee groepen zijn 'grootverbruikers', dat wil zeggen zij maken de meeste kilometers. Het feit dat de waardering voor de Audi duo afneemt naarmate er meer in gereden wordt wijst in dezelfde richting: lagere waardering bij intensiever gebruik.

De duo- en diesel-stand zijn het meest populair in het gebruik. Het omzetten van de schakelaar met de hand naar diesel- of elektro-stand wordt echter duidelijk hoger gewaardeerd dan het gebruik van de duo-stand. Men vindt het blijkbaar fijn om zelf de omschakeling in handen te hebben en/of men vindt de automatische omschakeling in duo-stand niet goed werken omdat niet op het gewenste moment tussen de aandrijvingen omgeschakeld wordt. De positieve waardering van de keuzeschakelaar lijkt dus verband te houden met de kritiek op de duo-stand. De auto is minder goed in staat om zelf het gewenste schakelmoment tussen diesel en elektrisch rijden te bepalen. De berijder kan dit probleem op een simpele manier verhelpen door zelf de schakelaar te bedienen, hetgeen positief gewaardeerd wordt. Toch gebruikt men erg vaak de duo stand, 43% zegt de schakelaar meestal in de duo-stand te zetten.

De capaciteit van de batterijen wordt te laag bevonden en ook de acceleratie in elektrisch bedrijf wordt laag gewaardeerd. Dit zijn twee dingen die elkaar echter versterken, meer batterijcapaciteit zorgt voor hoger gewicht van de auto en lagere acceleratie. Men wil dus eigenlijk het onmogelijke, althans voorlopig onmogelijk. Dit is een typisch verschijnsel van een volledig batterij-elektrische auto. Als belangrijkste reden voor de ontevredenheid over de elektromotor wordt gegeven dat de batterij te weinig vermogen levert wanneer deze minder dan 50% is geladen. Ook wordt een te kleine actieradius als reden gegeven. Conclusie kan zijn dat er in de toekomst voor een ander type batterij zou moeten worden gekozen.

Over het algemeen is men wat rustiger gaan rijden maar dit is niet onverdeeld positief beoordeeld. Veel gebruikers geven aan dat de auto niet in staat is om net zo pittig als hun eigen auto te rijden en de auto dwingt rijders dus om rustiger te rijden. Er zijn ook gebruikers die het als positief ervaren dat ze rustiger zijn gaan rijden, ze zijn meer gaan genieten van het 'toeren'. De waardering lijkt sterk af te hangen van de situatie waarin de gebruiker verkeert. In de stad of in de file is het niet erg om rustig te rijden, dan dwingt de verkeerssituatie dat af. Op de buitenweg wil men snel kunnen optrekken en zijn de verkeerssituaties sterk verschillend en hier blijkt de aandrijving op de elektromotor niet voldoende te presteren.

Over de stelling dat een elektrische aangedreven auto zo stil is dat er gevaar ontstaat voor andere weggebruikers is de mening achteraf nogal verdeeld. Hierbij is het opvallend dat van diegenen die in een bemeterde auto hebben gereden 53% het eens is met deze stelling terwijl dit percentage in de andere groep 27% is. Dit verschil in beleving zou zijn oorsprong kunnen vinden in het feit dat de A-groep voorlichting heeft gehad over het rijden met de Audi duo. Tijdens bijeenkomsten voorafgaand aan het rijden is gewezen op het mogelijke gevaar voor voetgangers en fietsers omdat de auto in de elektro-stand nauwelijks geluid maakt.

Door hun ervaringen met de Audi duo constateren deelnemers dat deze uitvoering van een hybride auto nog niet ideaal is. Dit leidt bij de deelnemers tot een iets minder positieve opstelling ten aanzien van een hybride auto. De 'veel-rijders' (diesel- en LPG-rijders) zijn nog iets minder positief. Over het algemeen echter komt de hybride auto uit deze proef naar voren als een positief beleefd product, waar gebruikers rekening mee willen houden. Dat wil zeggen, ze zijn bereid hun rijstijl aan te passen om comfortabeler en milieuvriendelijker te kunnen rijden. Dit is een hoopgevend resultaat in verband met verwachtingen om via techniek het gedrag te kunnen beïnvloeden.

6.4 Kansen en belemmeringen

Het gewinningsaspect en de ervaringen van de deelnemers met de Audi duo kunnen vertaald worden in belemmeringen en kansen voor marktintroductie van hybride auto's. In deze paragraaf worden de belemmeringen en kansen achtereenvolgens nader besproken.

Belemmeringen

De analyse van de enquêtes heeft veel informatie opgeleverd met betrekking tot mogelijke belemmeringen. Veel deelnemers hebben de open vragen van de enquêtes uitgebreid ingevuld. Vooral op basis van de antwoorden op deze open vragen is duidelijk geworden wat de belangrijkste belemmeringen voor marktintroductie zouden kunnen zijn. Ook de analyse van de gewinning heeft tot inzichten geleid omtrent de belemmeringen voor marktintroductie. Tot de belangrijkste belemmeringen kunnen worden gerekend:

- De capaciteit van de batterij van het voertuig. Ervaringen wijzen op een vermindering van de werking van de batterij wanneer de ladingstoestand van de batterij is gedaald tot minder dan 50%. Ook wordt de actieradius als beperkende factor ervaren. Men zou graag een groter elektrisch bereik hebben met de auto.
- De werking van de keuzeschakelaar, en dan met name de werking van de duo-stand. De deelnemers hebben de ervaring dat de schakelaar in de duo-stand niet op de gewenste mo-

menten overschakelt naar de andere aandrijving. De duo-stand is voornamelijk een elektrische stand en het voertuig schakelt te weinig en te laat over naar de dieselaandrijving. Hierdoor hebben de deelnemers de neiging om meer zelf te gaan schakelen. Uit de analyse van de gewenning is dan ook naar voren gekomen dat het gebruik van de duo-stand is afgenomen in de loop van de tijd en voor veel deelnemers is het gebruik van de dieselstand daarvoor in de plaats gekomen. Dit kan negatieve gevolgen hebben voor de milieuprestatie van de auto.

- De prijs van een hybride auto. Over het algemeen hebben de deelnemers weinig tot geen extra geld over voor een hybride auto. Dit impliceert dat zolang de hybride auto duurder is dan een conventionele auto, men niet snel tot aanschaf van een hybride auto zal overgaan.
- Opladen aan het elektriciteitsnet. De multiple-choice vragen van de enquête duiden op een vrij positieve waardering van de gebruikers voor het laden aan het net. Echter wanneer de open vragen bestudeerd worden komt er toch een aantal duidelijke bezwaren naar voren. De reacties kunnen in twee nadelen samengevat worden: het laden duurt te lang en het is onhandig. De batterij blijkt niet altijd volledig geladen na een nacht laden aan het net. Het uit- en inrollen van het snoer wordt als onhandig ervaren en zelfs als vervelend wanneer het regent. Verder is het voor een aantal gebruikers niet goed of onmogelijk om de auto voor de deur op te laden omdat er geen stopcontact voor handen is. Een verlengsnoer blijkt vaak onontbeerlijk.

Wegnemen belemmeringen

Sommige van de belemmeringen kunnen weggenomen worden en misschien zelfs tot kansen worden omgevormd wanneer daar voldoende aandacht aan besteed wordt. De eerste en misschien wel belangrijkste belemmeringen is de batterij van het voertuig. Het concept heeft momenteel een loodzuur batterij. Dit is een verouderde, maar over het algemeen een zeer betrouwbare technologie met een relatief kleine actieradius. In toekomst zou er gekozen kunnen worden voor een andere batterij technologie met een grotere actieradius. Voornamelijk het gebrek aan vermogen van de elektrische aandrijving is in het praktijkexperiment als negatief ervaren. Er zijn andere batterijtechnologieën waarvoor onderzoek en ontwikkeling nog in volle gang is. Daar zitten naar verwachting een aantal betrouwbare technologieën bij die tot betere prestaties kunnen komen betreffende de actieradius en vermogen. Wel zijn deze nieuwe batterijen relatief duur ten opzichte van de loodzuur batterij. Omdat de prijs van de hybride auto ook belangrijk is zal er altijd een afweging gemaakt moeten worden tussen prijs en prestaties.

De analyses van de gewenning en de ervaringen duiden op een negatieve ervaring met de werking van de duo-stand. Er zou opnieuw gekeken moeten worden naar de voor- en nadelen van een keuzeschakelaar, ook in relatie tot de milieuaspecten. Eventuele inpassing van een volledig automatische overgang tussen de aandrijvingen zou niet uitgesloten moeten worden.

Kansen

De hybride technologie is een technologie die voornamelijk bij 'early adopters' kans maakt. Mogelijk is de belangstelling van de deelnemers voor 'nieuwe technologie', die blijkt uit de enquêtes, een betere inbeddingsroute voor introductie van energiezuinige technologie dan een moreel beroep doen op gebruikers met betrekking tot het milieu. Een conclusie zou kunnen zijn dat hybride auto's wanneer ze op de markt komen vooral gepromoot moeten worden op basis van nieuwe techniek in plaats van milieu. Op deze manier zou het ook een nieuwe vorm van statussymbool kunnen worden: uit de enquêtes blijkt dat 70% van de deelnemers vindt dat men zich met een hybride auto positief kan onderscheiden.

De ervaringen van de deelnemers zijn dat de auto een soort rust uitstraalt. Het feit dat de auto geluidsarm rondrijdt wordt als positief ervaren. Een aantal gebruikers geeft aan dat ze rustiger zijn gaan rijden en dat ook als positief ervaren. Ook deze uitkomst zou gebruikt kunnen worden voor de promotie van een hybride auto.

7 CONCLUSIES

Het praktijkexperiment met de Audi duo heeft een aantal inzichten opgeleverd die gebruikt kunnen worden bij de marktintroductie van dit type voertuigen. Antwoorden op een aantal vragen die in het onderzoek zijn gesteld, kunnen op basis van deze inzichten worden gegeven en vormen de conclusies van het onderzoek.

Wat zijn de milieuprestaties van de Audi duo in termen van energiegebruik en emissies?

De emissies van de Audi duo zijn met die van een referentie vergeleken (Audi duo in volledige dieselbedrijf) bij een verschillend gebruik van het voertuig. Deze zogenaamde gebruiksgebieden zijn gebaseerd op metingen in de praktijk. Onderscheid is gemaakt naar het wegtype (stad, buitenweg en snelweg). Daarnaast is onderscheid gemaakt naar het gedeelte van de tijd dat met de diesel-, c.q. elektrische aandrijving is gereden en de dynamiek van de rit, dat wil zeggen de mate van 'sportief rijgedrag'. De milieuprestaties zijn onderzocht ten aanzien van koolmonoxide (CO), koolwaterstoffen (HC), stikstofoxiden (NO_x), deeltjes (PM), zwaveldioxide (SO₂), kooldioxide (CO₂) en energiegebruik. De eerste vijf emissies (CO, HC, NO_x, deeltjes en SO₂) geven aan hoe 'schoon' het voertuig is, CO₂ en energiegebruik de mate waarin het voertuig 'zuinig' is.

De Audi duo is schoner dan de referentie wanneer in de stad en op de buitenweg zoveel mogelijk elektrisch wordt gereden. Bij ritten waarin zowel met de elektrische als de dieselaandrijving wordt gereden - hiervoor is de auto als HEV ontworpen - is de Audi duo in de stad nog steeds schoner, maar op de buitenweg is geen milieuvoordeel meer aanwezig. Een frequent gebruik van de dieselaandrijving moet zowel in de stad als op de buitenweg worden vermeden. Dan ontstaan bij de Audi duo hogere HC-, SO₂- deeltjes- en, met name, NO_x-emissies. De CO-emissie is in alle situaties voor de Audi duo echter lager of hoogstens gelijk aan die van de referentie. Gebruik op de snelweg pakt in het algemeen, wat betreft schoon rijden, negatief uit voor de Audi duo.

Doordat de Audi duo energie betreft uit het elektriciteitsnet heeft de CO₂-emissie en het primair energiegebruik van de elektriciteitscentrale grote invloed op de mate waarin de Audi duo zuiniger is dan het referentievoertuig. Wanneer wordt uitgegaan van het Nederlands elektriciteitsproductiepark, blijkt uit de analyses van het praktijkexperiment dat de Audi duo op vrijwel geen enkel wegtype zuiniger is dan het referentievoertuig. Wanneer veel elektrisch wordt gereden is de Audi duo zelfs minder zuinig. In de stad is de duo waarschijnlijk (iets) zuiniger dan de dieseluitlevering bij een combinatie van diesel- en elektrisch rijden, waarbij de tractiebatterij zoveel mogelijk door de dieselmotor wordt opgeladen (zogenaamd 'charge sustaining' rijden).

De emissies en het energiegebruik van de Audi duo zijn in het algemeen niet gevoeliger of on gevoeliger voor een hogere ritedynamiek dan het referentievoertuig.

Wat zijn de toepassingsmogelijkheden voor de Audi duo en wat is de relatie tussen het gedrag van de bestuurder en de milieuprestaties?

Een bestuurder van de Audi duo beïnvloedt de milieuprestatie door de plaats waar hij of zij met het voertuig rijdt en de wijze waarop het voertuig wordt bediend. In het praktijkexperiment hebben 37 personen gereden met een Audi duo waarbij een grote hoeveelheid ritgegevens zijn gemeten en opgeslagen. Door de milieuprestaties van de duo te koppelen aan de ritgegevens van de deelnemers wordt het mogelijk de milieuprestaties te analyseren op gebruiks- en gedragsaspecten voor het totaal aantal kilometers dat door deelnemers is gereden.

De onderlinge spreiding tussen de emissies over de totaal gereden afstand per gebruiker is relatief groot. Dit geldt met name voor de emissies van NO_x en deeltjes. Deze emissies lijken het

meest gevoelig voor gebruiks- en gedragsaspecten. Daarentegen is de spreiding van CO₂-emissies tussen de verschillende gebruikers relatief klein.

Voor bijna alle gebruikers geldt dat door het gebruik van de Audi duo de CO-emissie lager is uitgevallen dan in het geval alleen de dieselaandrijving was gebruikt. Naarmate meer in de stad is gereden, is dit voordeel groter. De emissies van NO_x en deeltjes is voor de meeste gebruikers ongunstiger. Slechts enkele gebruikers hebben ten opzichte van de referentie een lagere emissie gerealiseerd. Naarmate meer op de snelweg is gereden, neemt het milieunadeel wat betreft de NO_x- en deeltjesemissie toe.

De emissies van SO₂ waren, gemeten over de totale ritlengte, voor ongeveer de helft van de gebruikers lager dan die van het referentievoertuig, voor de andere helft hoger. Voor de HC-emissie geldt dat de meerderheid van de gebruikers een lagere emissie heeft gerealiseerd met de Audi duo. Voor beide emissies geldt dat een positieve milieuprestatie vooral afhangt van de mate waarin elektrisch wordt gereden. Voor de CO₂-emissie geldt het tegenovergestelde. Naarmate meer elektrisch wordt gereden, neemt de CO₂-emissie toe.

Deelnemers aan het praktijkexperiment die in een geïnstrumenteerde Audi duo hebben gereden, waren afkomstig uit 5 verschillende doelgroepen. De onderlinge verschillen tussen deelnemers uit een doelgroep zijn in sommige gevallen bijna net zo groot als de verschillen tussen de doelgroepen. Er kunnen dan ook geen uitspraken worden gedaan over de milieuprestatie van doelgroepen.

Er is geen toepassing aan te wijzen waarbij de Audi duo per definitie een betere milieuprestatie heeft dan bij gebruik van enkel de dieselaandrijving. Dit geldt ook voor de wijze waarop met de Audi duo wordt gereden. De belangrijkste factoren die bepalen of de Audi duo een milieuvoordeel heeft ten opzichte van het referentievoertuig is het gebruik van het voertuig in stad, op de buitenweg of op de snelweg en het percentage elektrisch dat wordt gereden. Voor de CO-, HC-, deeltjes- en SO₂-emissie ontstaat in de volgende situaties voor Audi duo een voordeel ten opzichte van het referentievoertuig:

- hoog percentage ritten in de stad (>40%),
- hoog percentage ritten op de buitenweg (>20%),
- geen ritten op de snelweg,
- hoog percentage elektrisch (>70%).

De NO_x-emissie is bij gebruik van de Audi duo bijna altijd hoger dan die van het referentievoertuig, tenzij veel elektrisch wordt gereden (>80%). De CO₂-emissie en het energiegebruik worden gunstiger naarmate er minder elektrisch wordt gereden. Dit betekent dat er bij het streven naar een verbetering van de milieuprestatie een afweging moet worden gemaakt tussen de CO₂-emissie en energiegebruik enerzijds en de andere emissies anderzijds. Met andere woorden: de Audi duo is schoon of zuinig te gebruiken, maar niet allebei.

Wat zijn de kansen en belemmeringen van de Audi duo voor marktintroductie?

Aan de hand van een tweetal enquêtes onder 93 gebruikers van de Audi duo is een beeld verkregen over de mogelijke kansen en belemmeringen voor marktintroductie.

Vooraf op basis van de antwoorden op de open vragen in de enquête is duidelijk geworden wat de belangrijkste belemmeringen voor marktintroductie zouden kunnen zijn. Ook de analyse van de gewinning heeft tot inzichten geleid omtrent de belemmeringen voor marktintroductie. Tot de belangrijkste belemmeringen kunnen worden gerekend:

- *De capaciteit van de tractiebatterij van het voertuig.* Bij het elektrisch rijden wordt de actieradius als beperkend ervaren. Deelnemers zouden graag een grotere afstand elektrisch willen rijden. Ook het beperkte vermogen bij elektrisch rijden wordt negatief ervaren, met name wanneer de ladingstoestand van de tractiebatterij beneden de 50% is gedaald.

- *De werking van de keuzeschakelaar, en dan met name de werking van de duo-stand.* Deelnemers hebben de ervaring dat de schakelaar in de duo-stand niet op de juiste momenten overschakelt naar de andere aandrijving. De duo-stand is voornamelijk een elektrische stand die te weinig en te laat overschakelt naar de dieselaandrijving. Hierdoor hebben deelnemers de neiging om zelf in te grijpen in de keuze van het type aandrijving. Uit de metingen bij een gedeelte van de deelnemers is gebleken dat het gebruik van de duo-stand in de loop van de tijd is afgenomen en de dieselstand daarvoor in de plaats is gekomen.
- *Opladen aan het elektriciteitsnet.* Deelnemers hebben geen bezwaren tegen het opladen van de Audi duo aan het elektriciteitsnet, doch vinden wel dat het laden te lang duurt en ervaren het uit- en inrollen van het aansluitsnoer als onhandig. Niet iedereen beschikt over een aansluiting en vaak is een verlengsnoer onontbeerlijk.
- *De prijs van een hybride auto.* Deelnemers hebben overwegend weinig extra geld over voor het rijden in een hybride auto.

Keuze voor een ander type tractiebatterij (met een grotere actieradius en groter vermogen) en een verbetering van de regelstrategie achter de duo-stand zouden belangrijke technische bezwaren kunnen wegnemen. Beperkende factoren betreffende een ander type tractiebatterij zijn echter het gewicht en de prijs. Deze overwegingen zijn in het onderzoek niet verder meegenomen.

Het feit dat de auto in zijn elektrische stand geluidsarm rondrijdt wordt als positief ervaren. Een aantal deelnemers geeft aan dat ze rustiger zijn gaan rijden en dat ook als positief ervaren. Deze uitkomst zou gebruikt kunnen worden bij het promoten van een hybride auto.

Deelnemers hebben vooral belangstelling getoond voor de nieuwe technologie van de Audi duo. Dit werd belangrijker gevonden dan een verbeterde milieuprestatie. De getoonde belangstelling voor de technologie hangt ook samen met de verwachting van de meerderheid van deelnemers dat de verbrandingsmotor op termijn zal worden vervangen door andere aandrijftechnologieën. Mogelijk dat de belangstelling voor nieuwe technologie een aangrijpingspunt vormt voor marktintroductie. Inspelen op de vooruitstrevendheid lijkt een betere inbeddingroute voor de introductie van milieuvriendelijke technologie dan het doen van een moreel beroep op verbetering van het milieu.

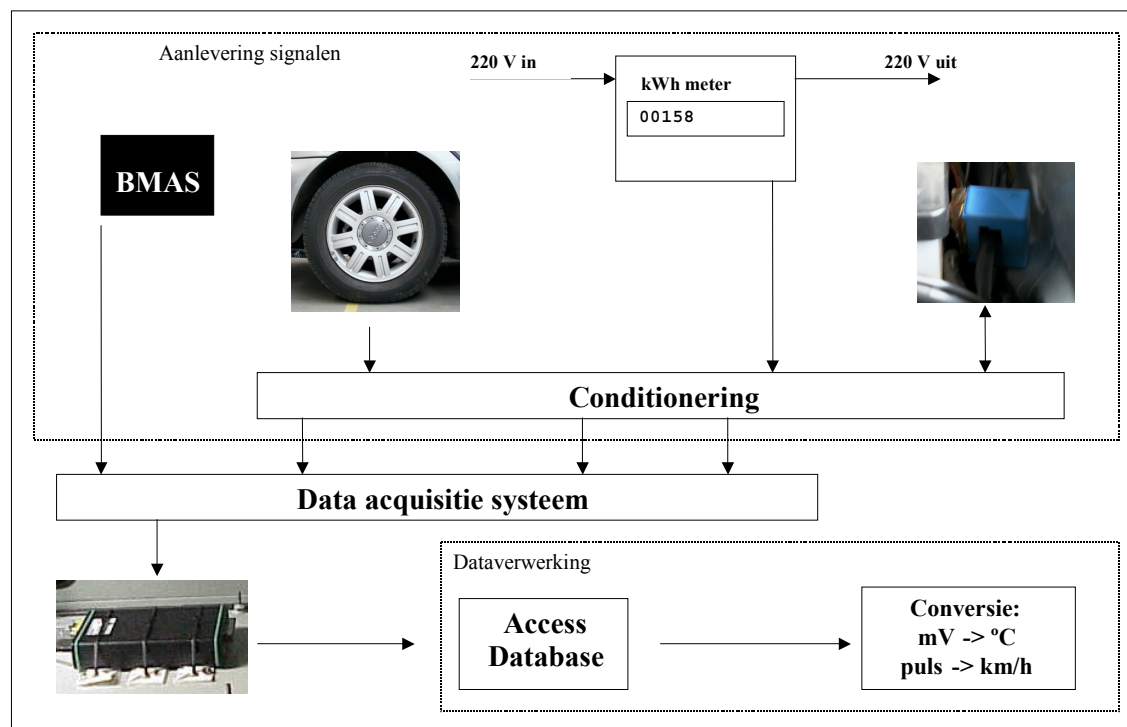
REFERENTIES

- CBS (2000 a): Beroepsbevolking per 1-1-2000 volgens het CBS.
- CBS (2000 b): Autobezit in Nederland per 1-1-2000 volgens het CBS.
- CBS (1996): *Auto's in Nederland 1996*, CBS.
- NIPO (1999): NIPO jaarlijks onderzoek naar automobilisten 1999.
- Rijkeboer, R.C. (TNO), P. Kroon (ECN) e.a., *Wijziging brandtofmix*, 1992.
- TNO (1992): *TNO-rapport 92.OR.VM.001.0/RR*, oktober 1992.
- Weijer, C.J.T. van de Weijer (TNO Wegtransportmiddelen): *Heavy-duty emission factors; Development of representative driving cycles and prediction of emissions in real-life*, PhDThesis Technical University of Graz, Oktober 1997.

A. MEET- EN REGISTRATIESYSTEEM

A.1. Opbouw meet- en registratiesysteem

Het systeem is opgebouwd uit de onderstaande onderdelen (zie Figuur A.1). Hart van de meet- en registratie apparatuur is het data acquisitie systeem. Dit systeem meet de signalen die er op worden aangesloten en zorgt voor registratie van deze gemeten signalen op de opslageenheid.



Figuur A.1 Opbouw meet- en registratiesysteem

In het overzicht worden binnen het blok 'Aanlevering signalen' een viertal voorbeelden van signalen gegeven. Een aantal signalen kan worden gemeten door gebruik te maken van reeds in het voertuig aanwezige sensoren. Deze sensoren zijn verbonden aan een management systeem in het voertuig, dat afhankelijk van de gemeten waarden actuatoren in het voertuig aanstuurt. Informatie over de locatie van de signalen op de management systemen en fysieke grenzen is verkregen van Audi AG in Ingolstadt, Duitsland. Een gedeelte van deze aanwezige signalen kan rechtstreeks op het data acquisitie systeem worden aangesloten (BMAS), een aantal anderen moeten worden geconditioneerd.

'Conditionering' houdt in dat het niveau van het signaal moet worden aangepast zodat het data acquisitie systeem ze kan begrijpen en meten. Voorbeeld hiervoor is het snelheidssignaal dat in de tijd gezien een sinusvormig verloop heeft. Ook zijn er signalen aanwezig in het voertuig die gemeten moeten worden met behulp van externe sensoren. Ook deze behoeven in de meeste gevallen conditionering voordat ze kunnen worden aangesloten. Voorbeelden in bovenstaand overzicht zijn de kWh meter, die het aantal geladen kWh uit het stopcontact meet, en een stroomopnemer waarmee de batterijstroom wordt gemeten. Ten behoeve van het conditioneren van signalen is door TNO-Wegtransportmiddelen een speciale elektrische printplaat ontwikkeld, waarover later meer. 'Dataverwerking' van de geregistreeerde gegevens gebeurt in een Access database, die uitvoerig wordt behandeld in Bijlage C.

A.2. Te meten en af te leiden signalen

Nadat het voertuig uitvoerig is geanalyseerd en een overzicht is gemaakt op welke gebieden inzicht moet worden verkregen, is een lijst van te meten signalen en af te leiden parameters aangemaakt. Bij de fabrikant, Audi AG, is voor de signalen die worden gemeten met behulp van de in het voertuig reeds aanwezige sensoren, informatie ingewonnen met betrekking tot de locatie en het fysieke bereik van de signalen. Tabel A.1 is een resultaat van deze werkzaamheden. De twee laatste signalen worden gebruikt als gebeurtenis waarop het meet- en registratiesysteem beslist of er wel of geen dataopslag plaatsvindt.

Tabel A.1 *Overzicht te meten signalen*

Signaal	Omschrijving	Fysiek bereik	Type signaal	waar/hoe meten; opmerking(en)
Date and Time	Datum en tijd van meting	-		Parameter van meet- en registratiesysteem
Vehicle speed	Snelheid voertuig	0..200 [km/u]	Digitaal (teller/frequentie)	ABS sensor rechter achter wiel
Acceleration	Voertuig acceleratie	-5..5 [m/s ²]		Afgeleid uit voertuigsnelheid
V-A matrix	Snelheid-acceleratie matrix			Uit voertuigsnelheid en voertuigacceleratie afgeleid
Triplength	Lengte individuele rit	0..1000 [km]	Digitaal (teller/frequentie)	Afgeleid uit voertuigsnelheid
Stops	Aantal stops in rit	0..100 [-]		Afgeleid uit voertuigsnelheid
n ICE	Toerental dieselmotor	0..6000 [rpm]		Motor management
n EM	Toerental elektromotor	0..10000 [rpm]	Digitaal (teller/frequentie)	Inverter management
Gear	Geselecteerde versnelling	vrij-1-2-3-4-5-R	Analoog	Koppeling management
energy source	Gebruikte energiebron	0..12 [V]	Analoog	Batterij management
Coolant ICE	Temperatuur koelvloeistof dieselmotor	-20..120 [°C]	Analoog	Motor management
T ICE trip	Temperatuur koelvloeistof tijdens start rit	-20..120 [°C]		Afgeleid uit Coolant ICE
T ICE start	Temperatuur koelvloeistof tijdens start dieselmotor	-20..120 [°C]		Afgeleid uit Coolant ICE
Oil ICE	Olie temperatuur dieselmotor	-20..150 [°C]	Analoog	Op stekker in dashboard
SOC	Ladingstoestand tractiebatterij	0..100 [%]	Analoog	Batterij management
U bat HV	Spanning tractiebatterij	0..325 [V]	Analoog	Met behulp van Voltage Transducer
I bat HV	Stroom vanaf tractiebatterij	-130..130 [A]	Analoog	Met behulp van Current Transducer
I DC/DC	Stroom naar DC/DC converter	0..15 [A]	Analoog	Met behulp van Current Transducer
I Inverter	Stroom naar Inverter	-130..130 [A]		=I bat HV - I DC/DC
P Battery	Vermogen van/naar tractiebatterij	-15..42 [kW]		=U bat HV × I bat HV
P DC/DC	Vermogen naar DC/DC converter	0..5 [kW]		=U bat HV × I DC/DC
P Inverter	Vermogen naar Inverter	-15..42 [kW]		=U bat HV × I Inverter
Regen.	Regeneratief remmen	Ja/nee		Als P Inverter = - en remmen
P Regen.	Vermogen uit regeneratief remmen	-3..0 [kW]		P Inverter als Regen. ja is
U bat 12V	Spanning 12 V batterij	0..15 [V]	Analoog	12 V batterij
I dynamo	Stroom vanaf dynamo dieselmotor	-100..200 [A]	Analoog	Met behulp van Current Transducer
P ICE	Vermogen van dynamo	-1.5..3 [kW]		=U bat 12V × I dynamo
FC ICE	Brandstofverbruik dieselmotor	0..100 [ml/s]	Digitaal (teller/frequentie)	Motor management
FC heater	Brandstofverbruik kachel	0..100 [ml/s]	Digitaal (teller/frequentie)	Externe standkachel
KWh pulse	kWh geladen vanuit stopcontact	0..10 [kWh]	Digitaal (teller/frequentie)	Met externe kWh meter; maximale energieinhoud batterij is 10 [kWh]
Chargelength	Tijdsduur laden uit stopcontact			Uit datum tijd en indicator
Selected mode pin22	Vormen samen gekozen	0-12 [V]	Digitaal (hoog/laag)	Inverter management

Signaal	Omschrijving	Fysiek bereik	Type signaal	waar/hoe meten; opmerking(en)
Selected mode pin68	stand keuzeschakelaar	0-12 [V]	Digitaal (hoog/laag)	Inverter management
Gas pedal	Gas pedaalstand	0..5 [V]	Analoog	Motor management
Brake	Rem gebruikt aan/uit	0-12 [V]	Digitaal (hoog/laag)	Koppeling management
T Ambient	Buitentemperatuur	-20..50 [°C]	Analoog	Thermokoppel type T
Coolant EM	Temperatuur koelvloeistof electro motor	-20..120 [°C]	Analoog	Inverter management
Coolant Battery	Temperatuur koelvloeistof battery	-20..120 [°C]	Analoog	Batterij management
Clutch	Toestand koppeling	Los..in aangrijping	Analoog	Koppeling management
Charger	Batterij laden vanuit stopcontact (aan/uit)	0-12 [V]	Digitaal (hoog/laag)	Batterij management
Ignition	Contact aan/uit	0-12 [V]	Digitaal (hoog/laag)	Koppeling management

A.3. Eisen data-acquisitiesysteem

Vanuit Tabel 1 is een eisenpakket opgesteld waaraan het hart van het meet- en registratiesysteem, het data acquisitie systeem, moet voldoen. Gekozen is voor een systeem dat alle te meten signalen met een vaste samplefrequentie meet en registreert. Dataverwerking vindt achteraf plaats met een dataverwerkingsprogramma. Met dit uitgangspunt is het eisenpakket opgesteld. De uiteindelijke keuze van het systeem is gebaseerd dit eisenpakket:

- kunnen meten van minimaal 30 signalen met een vaste samplefrequentie van minimaal 1 (Hz),
- trilling-, schok- en hittebestendig (geschikt zijn voor automotive toepassingen),
- laag energiegebruik tijdens volledig in bedrijf,
- voorzien zijn van een zogenaamde 'slaapmode', waarin het energiegebruik zeer laag is,
- voldoende geheugenopslagcapaciteit: minimaal 240 uur data-opslag zonder dat uitlezen noodzakelijk is,
- een aantal analoge ingangen galvanisch gescheiden, om beïnvloeding van de meetsignalen onderling te voorkomen,
- zo min mogelijk conditionering van de signalen. Dit betekent dat de ingangen een hoog ingangsbereik moeten hebben,
- mogelijkheid tot het draaien van verschillende processen:
- loggen met 1 Hz van alle signalen, tijdens rijden,
- loggen tijdens laden via stopcontact
- stand-alone systeem,
- systeem moet over interne klok beschikken,
- configuratie van het systeem moet eenvoudig zijn,
- bijbehorende software in Engelse taal en in Windows 95/98/NT omgeving,
- voorzien van back up batterij (UPS) om korte spanningsval op te vangen,
- leverancier moet goede ondersteuning/service bieden in geval van optredende problemen,
- eventueel op afstand uit te lezen en te programmeren (GSM module),
- output t.b.v. foutdetectie.

Met behulp van deze eisen is een inventarisatie gemaakt van systemen die op de markt aanwezig zijn. Uiteindelijk is gekozen voor het systeem van de firma Gantner, in Nederland vertegenwoordigd door Moore Industries.

A.4. Specificaties gekozen data-acquisitiesysteem

Het Gantner systeem bestaat uit drie afzonderlijk aan elkaar gekoppelde modules. Belangrijkste onderdeel van het systeem is de intelligente datalogger, de IDL100, die beschikt over 8 analoge ingangen om spanning- (0 to ± 10 Volt), stroom- (0 to 25 mA) en weerstandsignalen (0 to 20k Ω)

te meten en ook temperaturen m.b.v. thermokoppels. Ook zijn er 6 digitale kanalen aanwezig die te configureren zijn als uit- of ingang waarmee status-, frequentie- en tellermetingen zijn te verrichten en die een status aan kunnen sturen. Er zijn meerdere samplefrequenties beschikbaar waarmee het systeem kan werken, waaronder ook de gewenste samplefrequentie van 1 (Hz).

De datalogger is uitgerust met een display en een selectieknop waarmee alle signalen die worden gemeten zichtbaar kunnen worden gemaakt. Daarnaast zijn ook LED's aanwezig die de status van een digitaal kanaal aangeven en een foutmelding kunnen weergeven. De datalogger is eenvoudig te configureren en heeft de mogelijkheid om conditioneel data op te slaan. In dit project is de datalogger zo geconfigureerd dat er alleen data wordt gelogd op de volgende momenten:

- het contact van het voertuig staat aan,
- het voertuig wordt verbonden aan het stopcontact,
- het voertuig wordt losgekoppeld van het stopcontact.

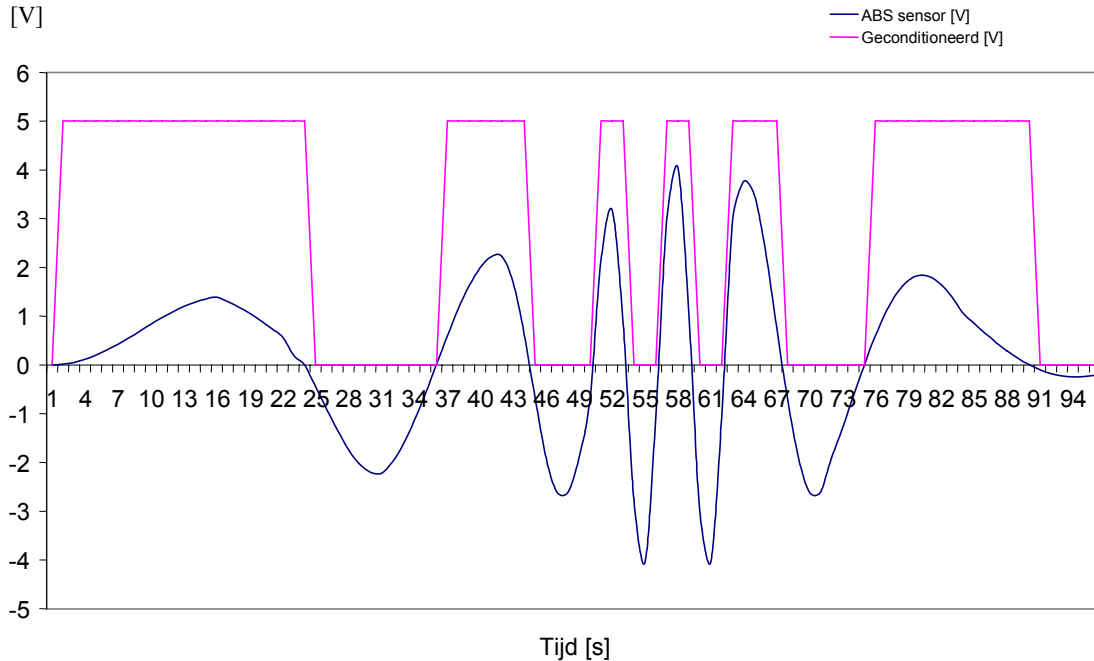
Met behulp van de twee laatste opslagmomenten kan worden bepaald hoeveel energie er vanuit het stopcontact tijdens een laadcycclus wordt geladen.

Via de RS485 communicatiebus is de datalogger verbonden aan een digitale en een analoge module. De digitale module heeft 12 digitale ingangen en 8 uitgangen en is ook voorzien van LED's die de status van het digitale kanaal aangeven. De analoge module beschikt over 8 analoge ingangen. De drie modules werken op een voedingsspanning tussen 10 en 30 Volt. Dataopslag geschiedt met behulp van een externe drive waarin een PCMCIA geheugenkaartje kan worden geschoven. Een geheugenkaartje van 150 Mb zorgt voor opslag van meer dan 800 uur bij het meten van 30 signalen op 1 (Hz) samplefrequentie.

De gebruikte modules hebben een zeer laag energiegebruik tijdens het meten van signalen (12 Watt). Daarnaast beschikt het systeem ook over een zogenaamde 'slaapmode' zodat wanneer het systeem geen gegevens registreert, minder energie wordt gebruikt (2 Watt). Het gebruiksgemak van het systeem is erg hoog. De te meten signalen kunnen eenvoudig worden aangesloten en het systeem is eenvoudig te configureren. De configuratie software draait onder Windows (95/98/NT). Met deze software is het ook mogelijk online alle gemeten signalen op het beeldscherm van een PC te krijgen. Speciale aandacht is uitgegaan naar de betrouwbaarheid van het systeem. Door de fabrikant zijn meerdere referenties aangereikt van automotive toepassingen van het systeem. Daarnaast is het systeem schok-, tril- en hittebestendig.

A.5. Conditionering signalen

Zoals reeds gemeld, dienen een aantal signalen geconditioneerd te worden alvorens ze aan het data acquisitie systeem kunnen worden aangeboden. Conditionering houdt in dat de niveaus van de signalen moeten worden aangepast om ervoor te zorgen dat ze door het data acquisitie systeem kunnen worden gemeten. Een voorbeeld is het gemeten snelheidssignaal. Dit is een sinusvormingsignaal vanuit het ABS systeem, dat varieert in frequentie en amplitude, zie Figuur A.2. Een dergelijk signaal rechtstreeks aansluiten op het data acquisitie systeem levert onbetrouwbare metingen, het signaal heeft daarom een conditionering zoals in dezelfde Figuur is te zien.



Figuur A.2 *Conditionering snelheidssignaal*

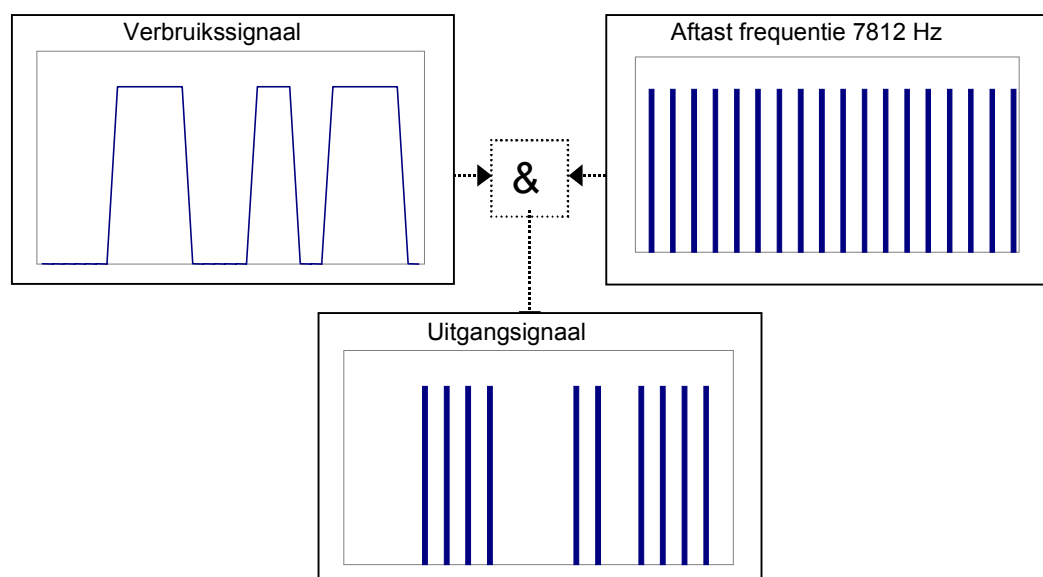
Ten behoeve van conditionering van de signalen is een speciale conditioneringsprint ontwikkeld. Deze print zorgt voor de conditionering van een aantal signalen. Daarnaast is voor twee signalen een speciale bewerking van het gemeten signaal toegevoegd:

- Ingeschakelde versnelling: de stand van de versnellingspook wordt door het voertuig gemeten met twee potmeters. Deze geven beide een spanning af, afhankelijk van de stand van de pook. De spanningen worden door de print verwerkt tot een uitgangsspanning van exact 1, 2, 3, 4, 5 Volt, overeenkomstig de ingeschakelde versnelling, of exact 6 Volt voor de achteruit.
- Het signaal dat het brandstofverbruik van de dieselmotor afgeeft, wordt onderworpen aan een hoge aftastfrequentie waarmee het signaal gecontroleerd wordt op hoog of laag (zie Figuur A.3). Het gemeten aantal pulsen per seconde is op deze wijze een maat voor het brandstofverbruik van de dieselmotor.

Samengevat voert de signaalconditioneringsprint de functies uit zoals vermeld in Tabel A.2.

Tabel A.2 *Funcities conditioneringsprint*

Signaal	Omschrijving	Conditionering
Charger	Batterij laden vanuit stopcontact (aan/uit)	niveau aanpassing 0 - 5 Volt
n EM	Toerental elektromotor	niveau aanpassing 0 - 5 Volt
Selected mode pin 22	Vormen samen	niveau aanpassing 0 - 5 Volt
Selected mode pin 68	stand keuzeschakelaar	niveau aanpassing 0 - 5 Volt
FCHeater	Brandstofverbruik kachel	niveau aanpassing 0 - 5 Volt
n ICE	Toerental dieselmotor	niveau aanpassing 0 - 5 Volt
Ignition	Contact aan/uit	niveau aanpassing 0 - 5 Volt
Brake	Rem gebruikt aan/uit	niveau aanpassing 0 - 5 Volt
Energy Source	Gebruikte energiebron	Spanningsdeling
U bat 12V	Spanning 12 V batterij	Spanningsdeling
I dynamo	Stroom vanaf dynamo dieselmotor	voeding verzorgen en omzetting naar spanningsmeting
I DC/DC	Stroom naar DC/DC converter	voeding verzorgen en omzetting naar spanningsmeting
I bat HV	Stroom vanaf tractiebatterij	voeding verzorgen en omzetting naar spanningsmeting
Gear	Geselecteerde versnelling	combineren twee ingangssignalen naar uitgangssignaal
Vehicle speed	Snelheid voertuig	indien spanning > 0, 5 uitsenden, anders 0
FC ICE	Brandstofverbruik dieselmotor	scannen gemeten signaal om brandstofverbruik te bepalen



Figuur A.3 *Meetprincipe brandstofverbruik Dieselmotor*

A.6. Specificaties externe meetapparatuur

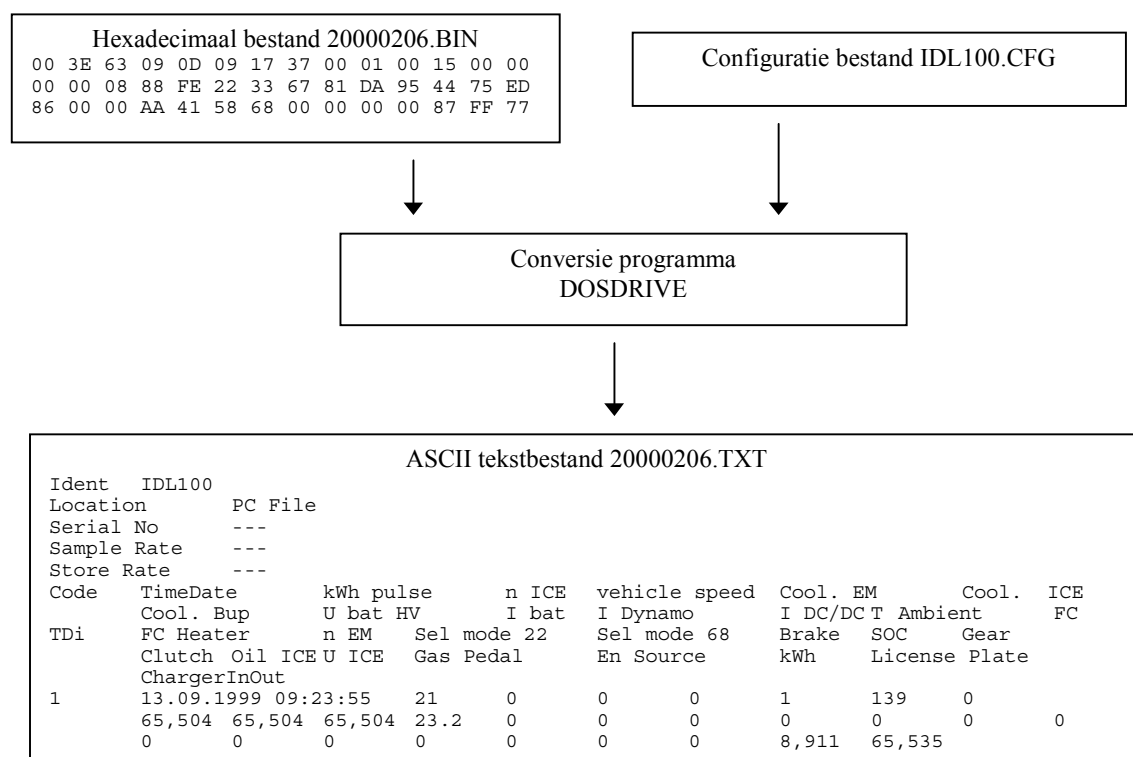
Een aantal signalen zijn niet beschikbaar vanaf een managementsysteem, zodat er in het voertuig extra meetsensoren zijn geplaatst. Deze zijn samengevat in Tabel A.3.

Tabel A.3 *Overzicht externe meetsensoren*

Signaal	Omschrijving	Meetapparatuur	Opmerkingen
U bat HV	Spanning tractiebatterij	Voltage Transducer, type LEM CV 3-1200	conversie factor 1200V/10V, ruim meet - temperatuurbereik
I bat HV	Stroom vanaf tractiebatterij	Current Transducer, LEM LA205-P of LA205-S	conversie factor 1:2000, ruim meet - temperatuurbereik
I DC/DC	Stroom naar DC/DC converter	Current Transducer, LEM LA55-P	conversie factor 1:1000, ruim meet - temperatuurbereik
I dynamo	Stroom vanaf dynamo dieselmotor	Current Transducer, LEM LA200-P	conversie factor 1:2000, ruim meet - temperatuurbereik
kWh pulse	kWh geladen vanuit stopcontact	Delta meter merk ABB, type DBB 2A0200-104	levert 1 puls per 0.01 kWh, programmeerbare uitgang
T Ambient	Buitentemperatuur	Thermokoppel type T	

A.7. Dataopslag

De meetdata worden opgeslagen op een PCMCIA geheugenkaartje. Op dit kaartje wordt voor elke dag een nieuw bestand aangemaakt in hexadecimaal formaat. Omdat een dergelijk bestand niet direct in te lezen is in een verwerkingsprogramma, moet hiervoor eerst een conversieslag worden uitgevoerd. Het bestand moet worden omgezet naar ASCII formaat, zodat het kan worden geïmporteerd in bijvoorbeeld Excel of Access. In Figuur A.4 wordt de conversie schematisch weergegeven.

Figuur A.4 *Schematische weergave conversie meetdata*

A.8. Meet- en registratiesysteem in voertuig

Figuur A.5 geeft een overzicht van het complete meet- en registratiesysteem zoals dit in het voertuig is ingebouwd.



Figuur A.5 *Detailfoto meet- en registratiesysteem*

Benoeming onderdelen (van links naar rechts, boven naar onder):

- Externe drive met PCMCIA geheugenkaart van 150 of 175 Mb.
- Master module IDL100 met display en keuzeknop.
- Aansluitblok signalen en voeding.
- Voedingsprint externe drive.
- Signaal conditioneringsprint.
- Koelventilator.
- Analoge module.
- Digitale module.
- Back-up batterij.

B. ENQUÊTES

Demonstratieproject Audi duo Eerste enquête onder testrijders

Geachte testrijder,

U neemt deel aan een test met een hybride auto. Het doel is om uw ervaringen met deze auto vast te stellen. Daartoe wordt u twee keer een enquête voorgelegd; de eerste voorafgaande aan de test en de tweede nadat u de auto enige tijd heeft kunnen uitproberen. Deze eerste enquête is bedoeld om, voorafgaande aan de test, uw houding en kennis ten aanzien van hybride auto's vast te stellen. Daarnaast vragen wij u om enkele persoonlijke gegevens. Deze gegevens worden strikt vertrouwelijk verwerkt en worden alleen gebruikt bij de analyse van de testresultaten. U wordt verzocht de vragenlijst in te vullen voordat u voor het eerst met de Audi duo gaat rijden. De ingevulde vragenlijst kunt u in de bijgevoegde antwoord-envelop verzenden aan: Onderzoeksbureau Ergo, antwoordnummer 11714, 1000 RA Amsterdam. Een postzegel is niet nodig.

1. Wat is voor u de doorslaggevende reden om deel te nemen aan de test? *(kruis alleen het best passende antwoord aan)*
 - ☐ leuk om in een nieuwe auto te rijden
 - ☐ belangrijk voor het milieu
 - ☐ interesse in nieuwe technieken
 - ☐ leuk om in een auto van het merk Audi te rijden
 - ☐ heel anders, namelijk
2. Wij gaan er van uit dat u doorgaans de beschikking heeft over een auto; welk merk en type auto is dat?
Merk Model/type
3. Wat is de beste omschrijving van deze auto?
 - ☐ stadsauto *(bijv. Fiat Cinquecento)*
 - ☐ kleine middenklasser *(bijv. Opel Corsa)*
 - ☐ middenklasser *(bijv. Opel Astra)*
 - ☐ grote middenklasser *(bijv. Opel Vectra)*
 - ☐ luxe segment *(bijv. Mercedes 400 SEL)*
4. Wat is het nettogewicht van deze auto?
 - ☐ minder dan 1000 kg
 - ☐ 1000 - 1250 kg
 - ☐ 1250 - 1500 kg
 - ☐ meer dan 1500 kg
5. Wat is het bouwjaar? 19
6. Het betreft:
 - ☐ uw *eigen* auto
 - ☐ een lease auto
 - ☐ eigendom van de werkgever
7. De auto heeft:
 - ☐ handschakeling
 - ☐ (semi)automatisch schakeling
8. Op welke brandstof rijdt deze auto (meestal)?
 - ☐ benzine
 - ☐ diesel
 - ☐ LPG (gas)

9. Hoeveel kilometer rijdt u met deze auto per jaar?
- ☐ minder dan 10.000
- ☐ 10.000 - 15.000
- ☐ 15.000 - 20.000
- ☐ 20.000 - 30.000
- ☐ 30.000 - 40.000
- ☐ 40.000 - 50.000
- ☐ 50.000 of meer
10. Hoe is deze afstand, in procenten, verdeeld over de volgende bestemmingen? (*een schatting is voldoende*)
- | | | |
|--------------------|-----|---|
| ▪ woon-werkverkeer | .. | % |
| ▪ voor zaken | .. | % |
| ▪ privé | .. | % |
| TOTAAL | 100 | % |
11. Kunt u aangeven hoeveel kilometer u doorgaans met de auto aflegt op een **werkdag**?
Ongeveer.....km
12. Welk deel daarvan rijdt u doorgaans door **stedelijk gebied** (*max. snelheid 50 km*) en welk deel op de **buitenweg** (*plattelands-wegen, provinciale wegen, autosnelwegen*)?
- | | | |
|--------------------------------|-------|----|
| ▪ stedelijk gebied | | km |
| ▪ buitenweg | | km |
| TOTAAL (<i>zie vraag 11</i>) | | km |
13. Kunt u met een rapportcijfer aangeven hoe belangrijk u elk van de volgende overwegingen vindt bij de aanschaf van een auto?

1 = zeer onbelangrijk; 10 = zeer belangrijk

	Uw cijfer
Aankoopprijs	
Brandstofgebruik	
Onderhoudskosten	
Ruimte	
Betrouwbaarheid	
Vormgeving, styling	
Milieuvriendelijkheid	
Topsnelheid	
Acceleratie	
Comfort	
Extra's (airco, abs)	
Uitstraling	
Kleur	
Verkeersveiligheid	
Wegligging	

14. Wat is de beste omschrijving van uw rijstijl?
- ☐ *veel pittiger dan de meeste automobilisten*
- ☐ *iets pittiger dan de meeste automobilisten*
- ☐ *ongeveer zoals de meeste automobilisten*
- ☐ *iets rustiger dan de meeste automobilisten*
- ☐ *veel rustiger dan de meeste automobilisten*

15. Kunt u uw mening geven over de volgende uitspraak:
'Het gebruik van auto's met een verbrandingsmotor moet worden teruggedrongen'
- ☐ geheel mee eens
 - ☐ overwegend mee eens
 - ☐ neutraal
 - ☐ overwegend mee *oneens*
 - ☐ geheel mee *oneens*
 - ☐ geen mening
16. Uw mening over de volgende uitspraak:
'De hybride auto is de auto van de toekomst'
- ☐ geheel mee eens
 - ☐ overwegend mee eens
 - ☐ neutraal
 - ☐ overwegend mee *oneens*
 - ☐ geheel mee *oneens*
 - ☐ geen mening
17. Heeft u eerder in een *elektrisch* aangedreven personenauto gereden?
- ☐ ja ☐ nee
18. In hoeverre bent u bekend met de rijeigenschappen van een *hybride* auto?
- ☐ goed bekend
 - ☐ grotendeels bekend
 - ☐ grotendeels *onbekend*
 - ☐ geheel *onbekend*
19. Bent u inmiddels geïnstrueerd (mondeling, schriftelijk) over het rijden in de Audi Duo?
- ☐ ja ☐ nee
20. Hoe groot acht u de kans (in procenten) dat u in de toekomst zelf een hybride auto gaat gebruiken?
- ☐ 0 - 25%
 - ☐ 25 - 50%
 - ☐ 50 - 75%
 - ☐ 75 -100%
 - ☐ weet niet
21. Wat is de beste omschrijving van uw woonplaats?
- ☐ grote stad (100.000 of meer inwoners)
 - ☐ kleinere stad
 - ☐ dorp of platteland
22. Wat is de beste omschrijving van de plaats waar u werkt?
- ☐ grote stad (100.000 of meer inwoners)
 - ☐ kleinere stad
 - ☐ dorp of platteland
 - ☐ niet van toepassing
23. Wat is uw hoogstgenoten opleiding?
- ☐ Basisonderwijs
 - ☐ LBO (huishoudschool/technische school)
 - ☐ MAVO/(M)ULO
 - ☐ MBO (middelbaar beroepsonderwijs)
 - ☐ HAVO/VWO/HBS/MMS
 - ☐ HBO (hoger beroepsonderwijs)
 - ☐ Wetenschappelijk onderwijs
24. Is uw opleiding technisch georiënteerd?
- ☐ ja ☐ nee

25. Uw leeftijd:.....jaar

26. ☐ Vrouw ☐ Man

Voorletters Naam

Adres

Postcode Woonplaats

Telefoonnummer/.....

Hartelijk dank voor uw deelname!

Demonstratieproject Audi duo

Tweede enquête onder testrijders

Geachte testrijder,

U heeft onlangs gebruik gemaakt van een Audi duo. Graag willen we aan de hand van deze enquête uw ervaringen met de auto vastleggen. Uw antwoorden worden strikt vertrouwelijk verwerkt en worden alleen gebruikt bij de analyse van de testresultaten. De ingevulde vragenlijst kunt u in de bijgevoegde antwoord-envelop verzenden aan: Onderzoeksbureau Ergo, antwoordnummer 11714, 1000 RA Amsterdam. Een postzegel is niet nodig.

- 1 Hoeveel dagen heeft u met de Audi duo gereden? dagen
- 2 In hoeverre bent u tevreden over de handleiding die bij de auto is geleverd? (*hier wordt bedoeld: de schriftelijke instructie op A4-formaat*)
- ☐ zeer tevreden
 - ☐ overwegend tevreden
 - ☐ niet tevreden/niet ontevreden
 - ☐ overwegend ontevreden
 - ☐ zeer ontevreden
- 3 Indien u (overwegend of zeer) ontevreden bent over de handleiding; kunt u uw mening toelichten?

De krachtbronnen

- 4 De dieselaandrijving is met name bedoeld voor ritten buiten de bebouwde kom. In hoeverre bent u tevreden over de prestaties van de dieselmotor?
- ☐ zeer tevreden
 - ☐ overwegend tevreden
 - ☐ niet tevreden/niet ontevreden
 - ☐ overwegend ontevreden
 - ☐ zeer ontevreden
- 4.1 Kunt u dit antwoord beknopt toelichten?
- 5.1 De *elektromotor* is vooral bedoeld voor stadsritten. In hoeverre bent u tevreden over de prestaties van de elektromotor?
- ☐ zeer tevreden
 - ☐ overwegend tevreden
 - ☐ niet tevreden/niet ontevreden
 - ☐ overwegend ontevreden
 - ☐ zeer ontevreden
- 5.2 Kunt u dit antwoord beknopt toelichten?
- 6.1 Met een hybride auto wordt getracht de voordelen van een conventionele verbrandingsmotor en de voordelen van een elektromotor te combineren. In hoeverre is, voor uw gevoel, de Audi duo hierin geslaagd of mislukt?
- ☐ geheel geslaagd
 - ☐ overwegend geslaagd
 - ☐ niet geslaagd/niet mislukt
 - ☐ overwegend mislukt
 - ☐ geheel mislukt
- 6.2 Kunt u uw antwoord toelichten?
- 7 Kunt u met een rapportcijfer van 1 t/m 10 aangeven in hoeverre u tevreden bent met de volgende aspecten. Daarbij is een onderscheid gemaakt tussen de aandrijving met de dieselmotor en met de elektromotor.

1 = zeer ontevreden; 10 = zeer tevreden; ? = weet niet

	Diesel	Elektro
Topsnelheid		
Actieradius		
Acceleratie		
Rijplezier		
Schakelgemak (versnellingsbak)		
Betrouwbaarheid		
Geluidsniveau in de auto		

Technische problemen

8.1 Heeft u een of meerdere keren technische problemen gehad met de auto?

- ☐ nee → vraag 9.1
☐ ja → vraag 8.2

8.2 Kunt u het technische probleem of de problemen kort omschrijven?

Het schakelen

9.1 Met de **keuzeschakelaar** kan de chauffeur bepalen welke krachtbron gebruikt wordt (elektromotor of dieselmotor); de schakelaar kan ook in de 'duo-stand' (ook wel aangeduid met de 0-stand) worden gezet, zodat de auto automatisch de geschikte krachtbron kiest.

In welke mate bent u tevreden over het systeem met de keuzeschakelaar?

- ☐ zeer tevreden
☐ overwegend tevreden
☐ niet tevreden/niet ontevreden
☐ overwegend ontevreden
☐ zeer ontevreden

9.2 Kunt u uw mening toelichten?

10. Het gebruik van de schakelaar is van belang bij de overgang tussen de twee krachtbronnen. Kunt u met een rapportcijfer aangeven hoe tevreden u bent over de verschillende mogelijkheden?

1 = zeer ontevreden; 10 = zeer tevreden

	Uw Cijfer
Overgang van diesel naar elektro door de schakelaar om te zetten	
Overgang van elektro naar diesel door de schakelaar om te zetten	
Overgang van diesel naar elektro met de schakelaar in de duo-stand (<i>dus automatisch</i>)	
Overgang van elektro naar diesel met de schakelaar in de duo-stand (<i>dus automatisch</i>)	

11. In hoeverre bent u *gewend* geraakt aan de keuzeschakelaar?

- ☐ volledig gewend
☐ enigszins gewend
☐ niet gewend

12.1. Hoe vaak stelde u de schakelaar in de **duo-stand**?

- ☐ altijd
☐ meestal wel
☐ soms wel/soms niet
☐ meestal niet
☐ nooit

12.2 In welke situatie(s) is de duo-stand vooral geschikt? (*meerdere antwoorden mogelijk*)

- ☐ gewone omstandigheden op de buitenweg
☐ langzaam rijdend verkeer (file) op de buitenweg
☐ in de bebouwde kom
☐ overig:

- 13.1 Hoe vaak stelde u de schakelaar in de **elektro-stand**?
☐ altijd
☐ meestal wel
☐ soms wel/soms niet
☐ meestal niet
☐ nooit
- 13.2 In welke situatie(s) is de elektro-stand vooral geschikt? *(meerdere antwoorden mogelijk)*
☐ gewone omstandigheden op de buitenweg
☐ langzaam rijdend verkeer op de buitenweg
☐ in de bebouwde kom
☐ overig:.....
- 14.1 Hoe vaak stelde u de schakelaar in de **diesel-stand**?
☐ altijd
☐ meestal wel
☐ soms wel/soms niet
☐ meestal niet
☐ nooit
- 14.2 In welke situatie(s) is de diesel-stand vooral geschikt? *(meerdere antwoorden mogelijk)*
☐ gewone omstandigheden op de buitenweg
☐ langzaam rijdend verkeer op de buitenweg
☐ in de bebouwde kom
☐ overig:

Beoordeling op aspecten

15. Kunt u met een rapportcijfer van 1 t/m 10 uw indruk geven van de Audi duo en van de auto die u doorgaans gebruikt? *(geef s.v.p. ook een cijfer als u alleen een inschatting kunt maken).*

1 = zeer slechte indruk; 10 = zeer goede indruk ?= geen idee

	Audi duo	Uw auto
Wegligging		
Brandstofverbruik <i>(van verbrandingsmotor)</i>		
Onderhoudskosten		
Ruimte		
Betrouwbaarheid		
Vormgeving, styling		
Milieuvriendelijkheid		
Topsnelheid		
Acceleratie		
Comfort		
Uitstraling		
Extra's (airco, abs)		
Schakelgemak <i>(versnellingsbak)</i>		
Kleur		
Verkeersveiligheid		
Energiegebruik <i>(totaal)</i>		

- 16.1 Heeft u uw rijstijl aangepast aan de Audi duo?
☐ nee → vraag 17
☐ ja, ik reed namelijk:
☐ veel pittiger dan anders
☐ iets pittiger dan anders
☐ iets rustiger dan anders
☐ veel rustiger dan anders

16.2 Kunt u dit toelichten?

Het opladen

17. U heeft de batterijen geregeld aan het elektriciteitsnet opgeladen; welke routine heeft u daarbij gevolgd?
- ☐ meerdere keren per dag opladen
 - ☐ elke dag precies een keer opladen
 - ☐ enkele keren per week opladen
 - ☐ geen vaste werkwijze gevolgd
18. Wáár heeft u de batterijen zoal opgeladen? (*meerdere antwoorden mogelijk*)
- ☐ thuis
 - ☐ op het werk
 - ☐ elders, namelijk
19. Waar heeft u de batterijen meestal opgeladen?
- ☐ thuis
 - ☐ op het werk
 - ☐ elders, namelijk
- 20.1 In welke mate bent u tevreden over het opladen aan het elektriciteitsnet?
- ☐ zeer tevreden
 - ☐ overwegend tevreden
 - ☐ niet tevreden/niet ontevreden
 - ☐ overwegend ontevreden
 - ☐ zeer ontevreden
- 20.2 Kunt u uw antwoord toelichten?
21. In welke mate bent u tevreden over de capaciteit van de batterijen?
- ☐ zeer tevreden
 - ☐ overwegend tevreden
 - ☐ niet tevreden/niet ontevreden
 - ☐ overwegend ontevreden
 - ☐ zeer ontevreden

Kansen voor de Audi duo

22. Wenst u voortaan zelf over een hybride auto te beschikken?
- ☐ ja, graag
 - ☐ hangt er vanaf
 - ☐ nee, beslist niet
23. Kunt u uw mening toelichten?
24. Hoe groot acht u de kans (in procenten) dat u in de toekomst zelf een hybride auto gaat gebruiken?
- ☐ 0 - 25%
 - ☐ 25 - 50%
 - ☐ 50 - 75%
 - ☐ 75 -100%
 - ☐ weet niet
25. In hoeverre bent u het eens met de volgende stellingen:
- 'De hybride auto is de auto van de toekomst'**
- ☐ geheel mee eens
 - ☐ overwegend mee eens
 - ☐ neutraal
 - ☐ overwegend mee oneens
 - ☐ geheel mee oneens
 - ☐ geen mening

‘Met een hybride auto kun je je positief onderscheiden van anderen’

- ☐ geheel mee eens
- ☐ overwegend mee eens
- ☐ neutraal
- ☐ overwegend mee *oneens*
- ☐ geheel mee *oneens*
- ☐ geen mening

‘Een elektrisch aangedreven auto is zo stil, dat er gevaar ontstaat voor andere weggebruikers’

- ☐ geheel mee eens
- ☐ overwegend mee eens
- ☐ neutraal
- ☐ overwegend mee *oneens*
- ☐ geheel mee *oneens*
- ☐ geen mening

26. Voor welke categorie automobilisten is een hybride auto volgens u geschikt? (*u kunt meerdere antwoorden aankruisen*)

- ☐ voor elke automobilist
- ☐ zakenmensen die veel op de weg zitten
- ☐ woon-werk forenzen
- ☐ voor mensen die vooral in de stad rijden
- ☐ voor niemand
- ☐ anders, namelijk.....

27. Een hybride auto heeft een hogere aanschafprijs dan dezelfde auto met een conventionele motor. Wat vindt u een redelijk meerprijs voor een hybride uitvoering?

- ☐ een hybride mag niet meer kosten
- ☐ 10% meer
- ☐ 20% meer
- ☐ 30% meer
- ☐ 40% meer
- ☐ 50% meer
- ☐ geen mening

Dit waren onze vragen. Zouden wij u eventueel nog eens mogen bellen om u naar aanleiding van deze vragenlijst nog enkele aanvullende vragen te stellen?

- ☐ nee
- ☐ ja → bij voorkeur:
 - ☐ overdag, tel. /
 - ☐ 's avonds, tel. /

Datum:.....

Kenteken van de Audi duo: / /

Voorletters Naam

Adres

Postcode Woonplaats

HARTELIJK DANK VOOR UW DEELNAME!

C. ANALYSE ENQUÊTES

C.1. Eerste enquête

De eerste enquête is door al de 93 deelnemers aan het praktijkexperiment ingevuld.

C.1.1. Doorslaggevende reden voor deelname

Ruim 70% van de deelnemers zegt dat de doorslaggevende reden voor deelname de ‘interesse in nieuwe technieken’ is. Slechts 3% van de deelnemers moesten van hun werkgever. Er zijn 21 deelnemers die zeggen dat ze reeds eerder in een elektrisch aangedreven personenauto hebben gereden. Van deze groep zijn er 3 werkzaam bij ECN, 1 bij NUON en 2 bij REMU; deze 5 deelnemers hebben in een bemeterde auto gereden.

C.1.2. Karakterisering van de huidige auto

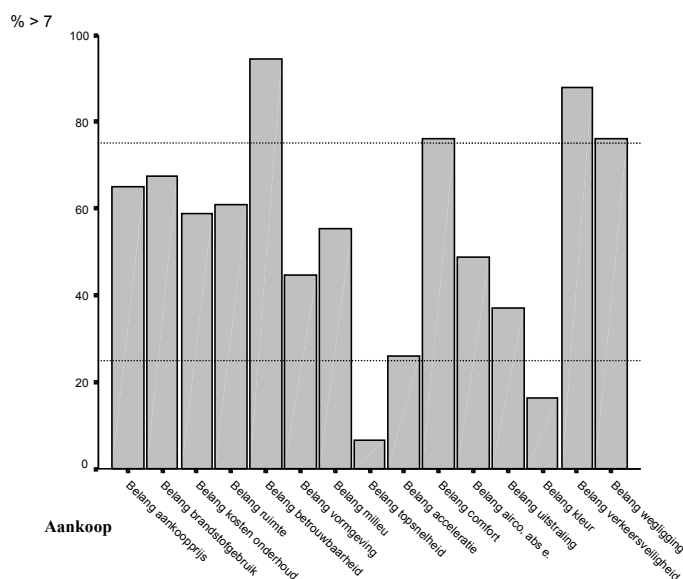
Van de deelnemers rijdt 47% in een ‘grote middenklasser’, 9% van de huidige auto behoort tot het luxe segment, terwijl 2% in een stadsauto rijdt. Ruim 40% van de auto’s is zwaarder dan 1250 kilogram. In 17% van de gevallen wordt de auto geleasd terwijl in 13% de auto eigendom is van de werkgever. Bijna 90% van de auto’s heeft een handschakeling. Dit betekent dat slechts één deelnemer met ervaring in een automatisch geschakelde auto in een bemeterde auto heeft gereden. Van de auto’s waarin de deelnemers zelf rijden heeft 56% benzine als brandstof, 31% diesel en 13% LPG. De deelnemers die een bemeterde auto hebben gereden waren gelijkmatig verdeeld over benzine en diesel, deelnemers die LPG rijden waren in 12% van de gevallen vertegenwoordigd.

C.1.3. Kilometers die per jaar worden verreden

Van alle deelnemers rijden er 5% minder dan 10.000 kilometer per jaar, terwijl 15% meer dan 50.000 km per jaar rijdt. De modale afstand is 20.000 tot 30.000 kilometer. Van de bestemming is 27% woon werk verkeer, 40% zakelijk en 33% privé. Op een werkdag wordt gemiddeld 112 kilometer afgelegd. Van het totaal wordt ca 27% in stedelijk gebied verreden.

C.1.4. Overwegingen bij aanschaf van een auto

Gevraagd is naar het belang van de overwegingen bij de aanschaf van een auto. Naarmate een item belangrijker wordt gevonden is het rapportcijfer hoger.



Figuur C.1 *Belang van de overwegingen bij aanschaf van een auto*

In Figuur C.1 is aangegeven welk percentage van de uitkomsten een waarde heeft hoger dan 7. Duidelijk is de betrouwbaarheid en verkeersveiligheid van het grootste belang worden geacht, daarna volgen comfort en wegligging. Opvallend is de geringe percentages die gevonden worden voor topsnelheid en acceleratie.

C.1.5. Persoonlijke gegevens

Van de deelnemers vindt 43% dat hij/zij een pittiger rijstijl heeft dan de meeste automobilisten, terwijl 24% denkt een rustiger rijstijl te hebben. Van de deelnemers had 23% reeds eerder in een elektrische auto gereden, 66% zei onbekend te zijn met de rijeigenschappen van een hybride auto.

Tabel C.1 *Relatie tussen de woonplaats en de plaats van werken van de deelnemers*

Woonplaats	Plaats van werken				totaal
	grote stad	kleinere stad	dorp of platteland	niet van toepassing	
grote stad (> 100.000)	26	4	3		33
kleinere stad	8	11	6	1	26
dorp of platteland	16	3	13	2	34
totaal	50	18	22	3	93

C.1.6. Attitude t.a.v. hybride auto vooraf

In de eerste enquête is de mening gevraagd over een tweetal uitspraken. De eerste luidt: 'Het gebruik van auto's met een verbrandingsmotor moet worden teruggedrongen', de tweede uitspraak is; 'De hybride auto is de auto van de toekomst'. De mening van de deelnemers over beide uitspraken is in onderstaande Tabel C.2 als relatie weergegeven.

Tabel C. 2 *Relatie tussen de mening van de deelnemers over de toekomst van de hybride en de houding tot auto's met verbrandingsmotor (attitude vooraf)*

QA15: Het gebruik van auto's met verbrandingsmotoren moet worden teruggedrongen	QA16: Hybride auto is auto van de toekomst					totaal
	volledig mee eens	overwegend mee eens	neutraal	overwegend mee oneens	geheel mee oneens	
volledig mee eens	7	11	6		2	26 28,6%
overwegend mee eens	2	13	9	3		27 29,7%
neutraal	1	6	14	1	1	23 25,3%
overwegend mee oneens	4	4		0		8 8,8%
geheel mee oneens	1	2	3	1	0	7 7,7%
totaal	15	36	32	5	3	91
verdeling	16,5%	40,0%	35,2%	5,5%	3,3%	100%

Uit de tabel blijkt dat het gaat om twee verschillende zaken, een positieve houding t.o.v. de toekomst van de hybride auto impliceert geen negatieve houding t.a.v. auto's met verbrandingsmotoren en omgekeerd.

Een andere vraag betreft de kans dat een deelnemer denkt in de toekomst te hebben dat hij/zij een hybride auto zal gebruiken. Van alle deelnemers schat 38% van de deelnemers de kans dat hij/zij in de toekomst een hybride auto zullen gebruiken op meer dan 0,5. Opvallend is dat in de groep die in een bemeterde auto zal rijden slechts 21% deze kans groter acht dan 0,5; bovendien heeft een groter deel de vraag niet ingevuld. De overige deelnemers zijn wat positiever, 48% hiervan denkt dat de kans groter is dan 50%.

Tabel C.3 *Kans op gebruik van hybride auto in toekomst (attitude vooraf)[%]*

Kans op gebruik hybride auto	Alle deelnemers	Deelnemers in bemeterde auto's	Overige deelnemers
0 – 25	25	32	20
26 – 50	16	9	20
51 – 75	24	15	29
75 – 100	14	6	19
niet ingevuld	22	38	12
totaal	100	100	100

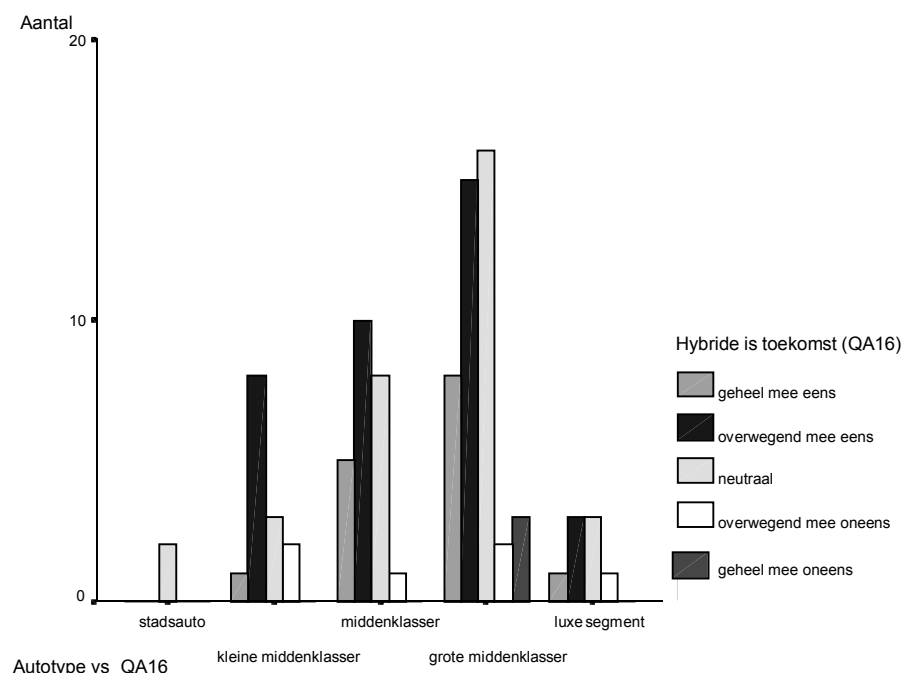
Het type brandstof van de huidige auto blijkt geen significante invloed te hebben op de mening over de toekomst van de hybride terwijl ook t.a.v. het terugdringen van de brandstofmotor geen significante invloed valt waar te nemen. Ook is in deze enquête geen significante invloed waar te nemen van het type brandstof op de mening over het terugdringen van de brandstofmotor.

Over de invloed van het type auto op de mening over de stelling dat 'de hybride auto de auto van de toekomst is' zijn wel enige opmerkingen te maken. Daarom zijn in onderstaande tabel de betreffende waarnemingen weergegeven.

Tabel C.4 *Relatie tussen het type van de huidige auto en antwoord over de toekomst van de hybride auto*

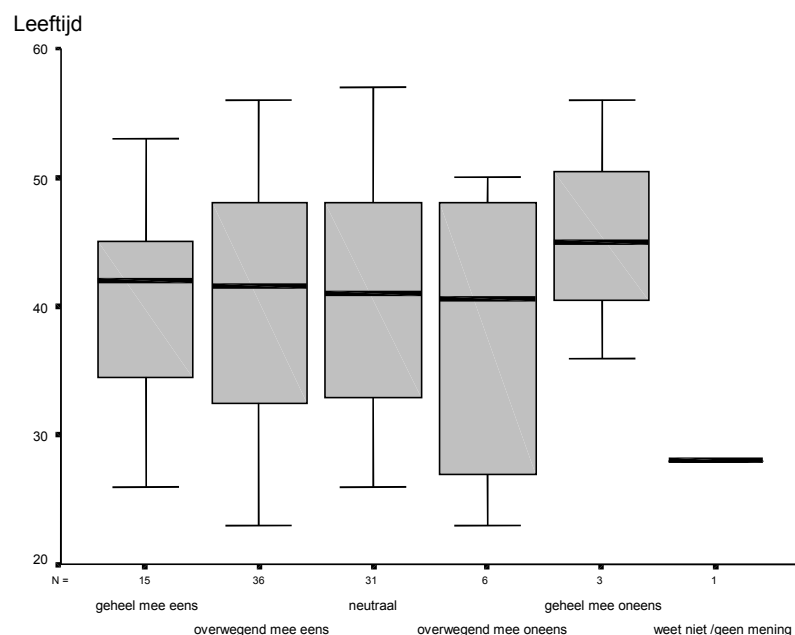
QA16= Hybride is auto van de toekomst	QA3 = Omschrijving van de huidige auto					totaal	
	stadsauto	kleine midden- klasser	midden-klasser	grote midden- klasser	luxe segment		
geheel mee eens		1	5	8	1	15	16%
overwegend mee eens		8	10	15	3	36	39%
neutraal	2	3	8	16	3	32	35%
overwegend mee oneens		2	1	2	1	6	7%
geheel mee oneens				3		3	3%
totaal	2	14	24	44	8	92	
verdeling	2%	15%	26%	48%	9%		100%

Er is geen significant relatie aantoonbaar tussen het type van de huidige auto en de mening over de genoemde stelling in de eerste enquête. Omdat er toch nog wel wat opmerkingen te maken zijn, zijn de uitkomsten in onderstaande Figuur nog eens grafisch weergegeven. Zo blijkt het beeld voor de kleine middenklasse en de middenklasse auto hetzelfde, maar wordt er bij de deelnemers die een grotere middenklasse auto rijden iets minder positief over de toekomstmogelijkheden van de hybride auto gedacht. De stadsauto komt zo weinig voor dat hierover niets te zeggen valt terwijl het aantal in de luxe klasse ook te beperkt van omvang is conclusies te trekken.



Figuur C.2 *Type auto vs. de mening over toekomst van de hybride auto*

Het is mogelijk dat leeftijd van de deelnemer een rol speelt bij de verwachting die de deelnemers hebben over de toekomstmogelijkheden van de hybride auto. In onderstaande Figuur is weergegeven wat de leeftijd is van de groep die een bepaalde uitspraak heeft gedaan. Het blijkt dat de 3 deelnemers die het geheel met de stelling oneens zijn gemiddeld een wat hogere leeftijd hebben dan de rest, maar het aantal is te beperkt om conclusies te kunnen trekken. Overigens zijn alle leeftijdsgroepen vertegenwoordigd tussen 21 en 58 jaar.



Hybride auto is auto van de toekomst (qa16) vs leeftijd

Figuur C. 3 Relatie tussen mening over de toekomst van de hybride en leeftijd van de deelnemer

C.2. Tweede enquête

C.2.1. Algemeen

De deelnemers hebben gemiddeld 11 dagen in een AUDI Duo gereden. Voor deelnemers die in een bemeterde auto hebben gereden was dit één dag meer terwijl de overigen een dag minder van de hybride gebruik hebben gemaakt. Ruim 80% was tevreden over de handleiding. De overigen waren neutraal of niet tevreden (11%) of hebben geen antwoord gegeven (8%). Van de deelnemers waren er 21 die hebben aangegeven dat ze eerder in een elektrische personenauto hebben gereden. Op de vraag in hoeverre Audi er in geslaagd is een goede hybride te bouwen heeft deze groep geen afwijkend antwoord gegeven.

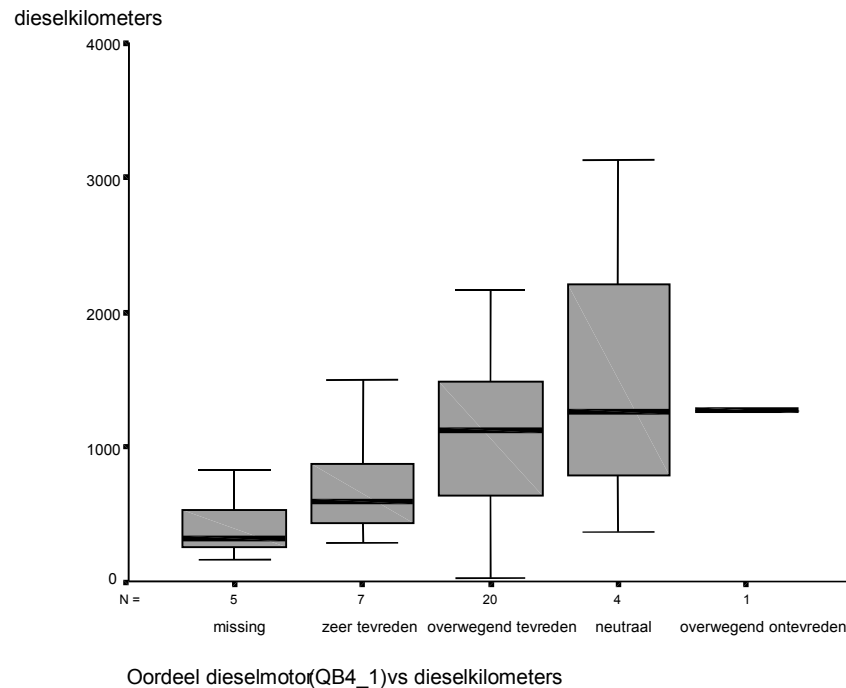
C.2.2. Krachtbronnen

In de enquête wordt gevraagd in hoeverre de deelnemers tevreden zijn over de verschillende krachtbronnen. In onderstaande Figuur is weergegeven wat hiervan de uitkomsten zijn. Over de dieselmotor is men erg tevreden, 90% van de deelnemers oordeelt (overwegend) tevreden. De elektromotor wordt minder gewaardeerd, 67% van de deelnemers is (overwegend) tevreden. Slechts 10% van de deelnemers is zeer tevreden over de *duomotor*, maar 59% is overwegend tevreden zodat toch 69% (overwegend) tevreden is over de *duomotor*. Het blijkt dat de brandstof van de huidige auto geen significante invloed heeft op de mate van tevredenheid over de dieselmotor. Wel blijkt dat het aantal benzinerijders dat 'zeer tevreden' is hoger ligt dan op grond van het totale beeld mag worden verwacht.

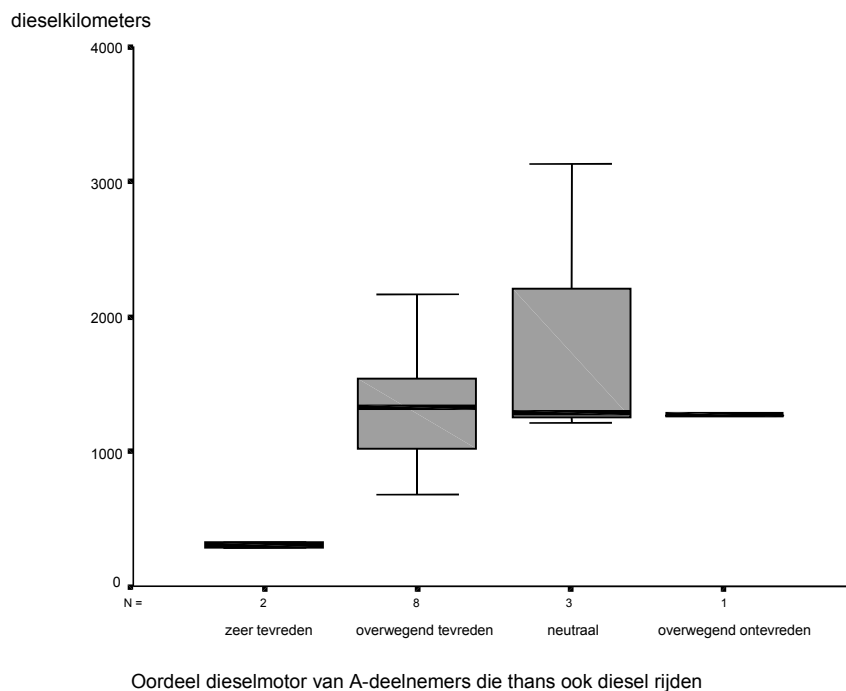
Tabel C.5 Mate van tevredenheid over de krachtbronnen van de Audi Duo

krachtbronnen	zeer tevreden	overwegend tevreden	neutraal	overwegend ontevreden	zeer ontevreden	totaal
dieselmotor	31	51	6	3	0	91
elektromotor	24	37	19	8	3	91
duomotor	9	53	18	10	0	90

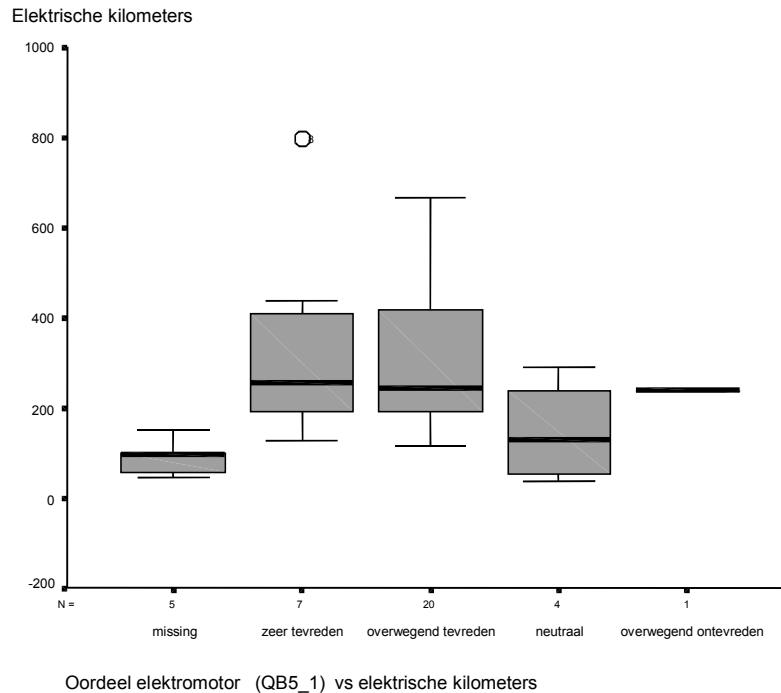
Van de 37 deelnemers die in een bemeterde auto hebben gereden is bekend hoeveel dieselkilometers zij hebben gemaakt. In onderstaande Figuur is aangegeven wat de relatie is tussen de mate van tevredenheid en dit aantal kilometers. Opvallend is dat men minder tevreden is naarmate er meer kilometers zijn gemaakt. Wel dient te worden opgemerkt dat er slechts 4 deelnemers zijn die overwegend ontevreden zijn. Zij hebben respectievelijk 371, 1216, 3126 en 1292 dieselkilometers gereden. Slechts één deelnemer is overwegend ontevreden, hij heeft 1270 dieselkilometers gereden. Ook voor de elektromotor is een dergelijk Figuur gemaakt. Er is geen verband aantoonbaar tussen de mate van tevredenheid en de elektrische kilometers.



Figuur C.4 *Mate van tevredenheid over dieselmotor vs. de verreden dieselkilometers*

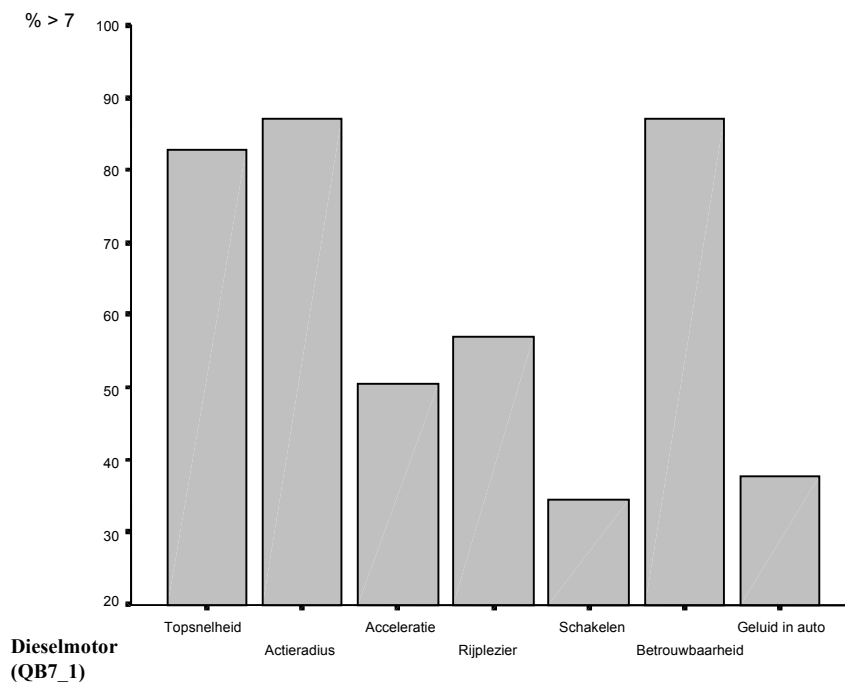


Figuur C.4a *Mate van tevredenheid over dieselmotor van Audi Duo versus aantal gereden dieselkilometers tijdens het project voor deelnemers die thans diesel rijden*



Figuur C.5 *Mate van tevredenheid over elektromotor versus aantal elektrisch gereden kilometers*

Gevraagd is om een rapportcijfer toe te kennen aan de aandrijving met de dieselmotor en die met de elektromotor. Ook hier is een Figuur gemaakt waarin het percentage uitkomsten is weergegeven met een cijfer hoger dan 7. Voor de dieselmotor blijken de topsnelheid, de actieradius en de betrouwbaarheid het beste te scoren, terwijl het schakelen en het geluid in de auto meer negatief worden beoordeeld.



Figuur C.6 *Waardering voor de verschillende aspecten van de dieselmotor*

In welke mate de eigen auto een rol speelt bij de waardering van het acceleratievermogen van de dieselmotor van de Audi duo is nader onderzocht door na te gaan hoe de verdeling is over type auto en type brandstof van die deelnemers die voor de acceleratie van de dieselmotor een ruime voldoende (>7) hebben gegeven, het betreft 44 deelnemers. Uit vergelijking tussen de gevonden percentages deelnemers naar brandstof blijkt dat met name de rijders van benzineauto's de acceleratie van de dieselmotor van de Audi positief waarderen, het type auto speelt geen rol.

Tabel C.6 *Deelnemers die de acceleratie van de dieselmotor met meer dan een 7 hebben gewaardeerd, verdeeld naar type auto en brandstof*

	benzine	diesel	LPG	totaal type auto	waargenomen [%]	verwacht [%]
stadsauto	2	0	0	2	5	2
kleine middenklasse	8	0	0	8	18	16
middenklasse	6	3	1	10	23	26
grote middenklasse	11	5	4	20	45	47
luxé segment	3	0	1	4	9	9
totaal brandstof	30	8	6	44	100	
waargenomen %	68%	18%	14%	100%		
verwacht %	56%	31%	13%			

In totaal waren er 18 deelnemers die de acceleratie van de dieselmotor hebben gewaardeerd met een waarde lager dan 7. De gevonden aantallen zijn in onderstaande tabel vermeld.

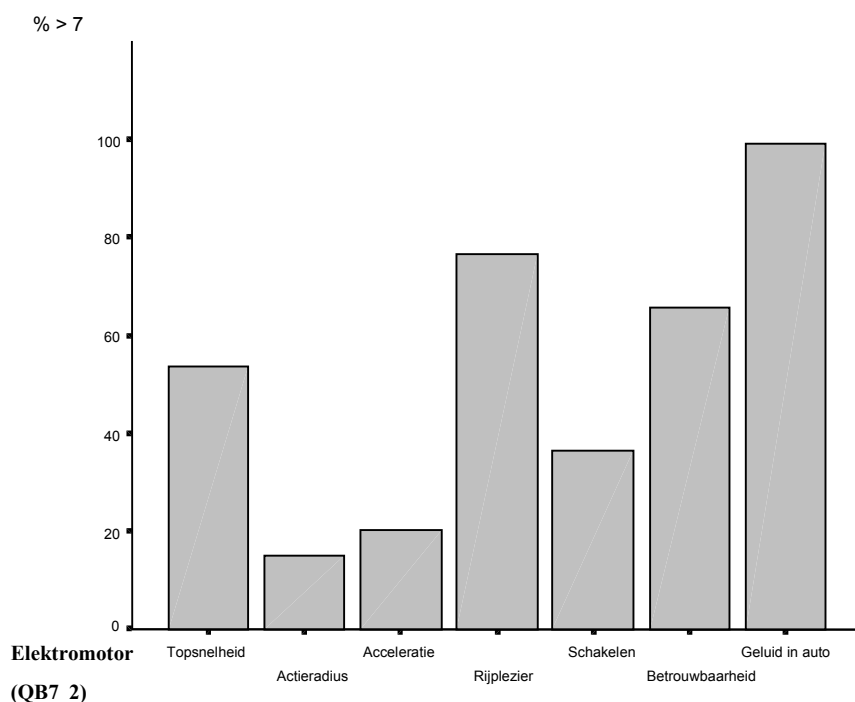
Tabel C.7 *Deelnemers die de acceleratie van de dieselmotor met minder dan een 7 hebben gewaardeerd, verdeeld naar type auto en brandstof*

	benzine	diesel	LPG	totaal type auto	waargenomen [%]	verwacht [%]
stadsauto	0	0	0	0	0	2
kleine middenklasse	3	1	1	5	28	16
middenklasse	3	2	0	5	28	26
grote middenklasse	2	2	1	5	28	47
luxé segment	2	1	0	3	16	9
Totaal brandstof	10	6	2	18	100	
Waargenomen	56	33	11	100		
Verwacht	56	31	13			

Hoewel de aantallen klein zijn lijkt het alsof de kleine middenklasse en het luxe segment iets hogere aantallen heeft dan verwacht en de grote middenklasse wat minder. Een relatief groot aantal (28) heeft de acceleratie met een 7 gewaardeerd. Voor deze groep geldt dezelfde verdeling als die welke is gevonden bij de hogere waarderingen. Naast de acceleratie is ook de waardering voor de topsnelheid van de dieselmotor nader beschouwd. Overigens zijn er hierbij maar twee deelnemers die een waardering lager dan 7 hebben gegeven terwijl ook maar 14 deelnemers dit aspect met een 7 hebben gewaardeerd. In de Tabel C.8 zijn de resultaten vermeld.

Tabel C.8 *Deelnemers die de topsnelheid van de dieselmotor met meer dan een 7 hebben gewaardeerd, verdeeld naar type auto en brandstof*

	benzine	diesel	LPG	totaal type auto	waargenomen [%]	verwacht [%]
stadsauto	2	0	0	2	3	2
kleine middenklasse	10	0	1	11	16	16
middenklasse	10	7	2	19	28	26
grote middenklasse	14	11	7	32	47	47
luxé segment	1	2	1	4	7	9
totaal brandstof	37	20	11	68	100	
waargenomen	54%	29%	16%	100%		
verwacht	56%	31%	13%			



Figuur C.7 *Waardering voor de verschillende aspecten van de elektromotor*

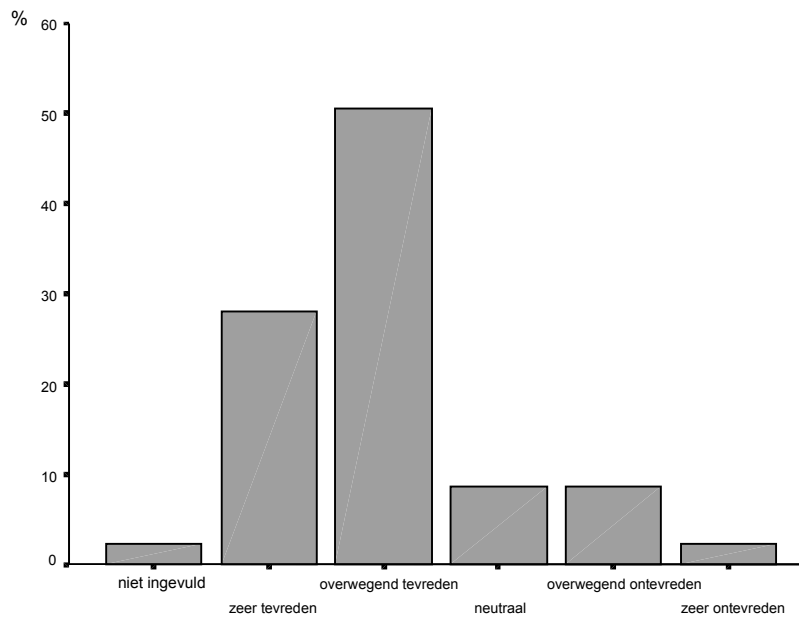
Voor de elektromotor is hetzelfde gedaan. Het geringe geluid in de auto wordt zeer positief beoordeeld met daarnaast het rijplezier. De actieradius en de acceleratie worden het slechtst gewaardeerd.

C.2.3. Technische problemen

Er zijn geen technische problemen gesignaleerd.

C.2.4. Keuzeschakelaars

Met de keuzeschakelaar kan de chauffeur bepalen welke krachtbron gebruikt wordt. De schakelaar kan ook in de ‘duo-stand’ worden gezet zodat de auto automatisch de geschikte krachtbron kiest. Het blijkt dat ca 80% van de deelnemers het systeem met de keuzeschakelaar als (overwegend) tevreden waarden.



Mate van tevredenheid over keuzeschakelaar (QB9_1)

Figuur C.8 *Beoordeling van het gebruik van de keuzeschakelaar*

Het gebruik van de schakelaar is van belang bij de overgang tussen de twee krachtbronnen. In onderstaande tabellen is weergegeven hoe de deelnemers de verschillende mogelijkheden waarderen. Hierbij is steeds een zelfde overgang met elkaar in relatie gebracht maar in het ene geval is de duo-knop gebruikt en in het andere geval de schakelaar. Duidelijk is dat het gebruik van de schakelaar hoger gewaardeerd wordt.

Tabel C.9 *Waardering handschakelaar vs automatische schakelaar voor omzetten diesel - elektro*

QB10_1 Overgang van diesel naar elektro door omzetten schakelaar												
QB10_3 Overgang diesel naar elektro in de duostand												Totaal
	1	2	3	4	<5	5	6	7	8	9	10	
QB10_1 <5					0							0
5				1	1	0		1				2
6		1			1		1					2
7				1	1		1	9	2		1	14
8	1		1		2	1	7	8	11	4		33
9				1	1	4		4	1	8		18
10				2	2		1	2	4		5	14
Totaal	1	1	1	5	8	5	10	24	18	12	6	83

Tabel C.10 *Waardering handschakelaar vs automatische schakelaar voor omzetten elektro - diesel*

QB10_2 Overgang van elektro naar diesel via de schakelaar											
QB10_4 Overgang van diesel naar elektro via duo-stand											Totaal
	1	2	3	4	<5	5	6	7	8	9	10
QB10_2 3			1		1						1
4									1		1
<5			1		1				1		3
5						1	1	1			3
6		1			1		3		1		5
7				2	2	2		6	1		11
8	2		1	2	5	2	6	9	9	3	35
9				3	3	1		3		6	13
10		1		2	3			3	2		12
Totaal	2	2	2	9	15	6	10	22	14	9	81

Voor de overgang van elektro naar diesel geldt hetzelfde, ook hierbij scoort het gebruik van de schakelaar duidelijk hoger dan de duo-stand. Ruim 90% zegt gewend geraakt te zijn aan de keuzeschakelaar, 7% zegt niet gewend te zijn of hebben niets ingevuld. Er is gevraagd aan te geven hoe vaak de schakelaar in een bepaalde stand wordt gesteld. In onderstaande tabel is dit vermeld voor alle drie de mogelijkheden. Van de deelnemers zegt 52 % dat ze altijd of meestal wel de schakelaar in de duo-stand zetten. De elektro-stand en de diesel-stand komen dus minder vaak voor, de keuze ‘soms wel/soms niet’ heeft hier de voorkeur.

Tabel C.11 *Mate van gebruik van de verschillende schakelaars*

	Duo-stand	Elektro-stand	Diesel-stand
altijd	9	3	4
meestal wel	43	16	24
soms wel/soms niet	25	40	51
meestal niet	19	24	14
nooit	2	14	5
niet ingevuld	2	3	2

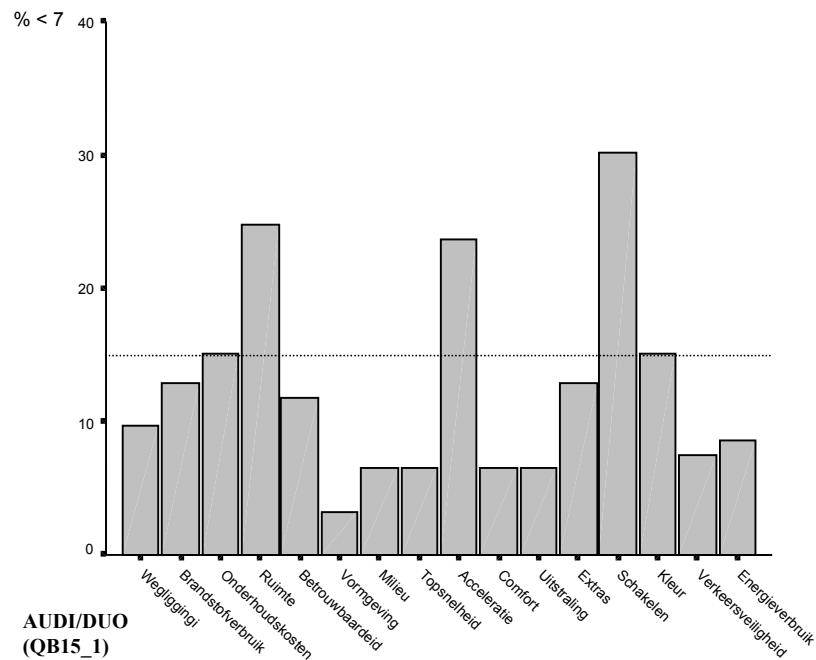
De deelnemers is gevraagd om aan te geven in welke situatie zij een stand het meest geschikt achten. In onderstaande tabel is het resultaat van deze vraag gegeven (er zijn meerdere antwoorden mogelijk). De dieselstand wordt vooral geschikt geacht voor gewone omstandigheden op de buitenweg, terwijl de elektro-stand met name binnen de bebouwde kom bruikbaar wordt geacht. Ook in langzaam rijdend verkeer op de buitenweg is de elektro-stand bruikbaar. Bij de duo-stand zijn de meningen wat meer verdeeld.

Tabel C.12 *In welke situatie is een schakelaar naar mening van de deelnemers vooral geschikt*

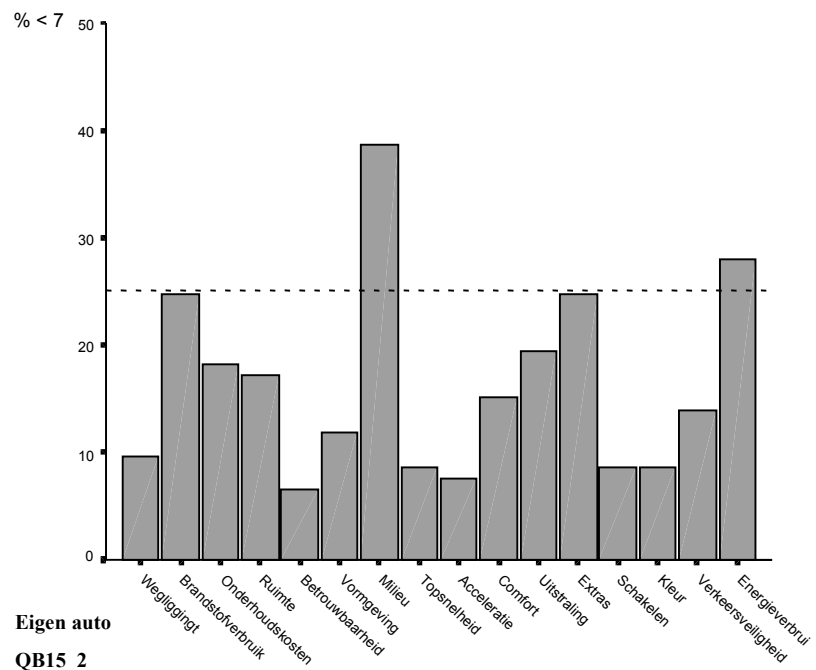
	Duo-stand	Elektro-stand	Diesel-stand
gewone omstandigheden op de buitenweg	22	5	94
langzaam rijdend verkeer op de buitenweg	51	48	9
in de bebouwde kom	65	91	2
overig	15	9	20
niet ingevuld	5	2	2

C.2.5. Beoordeling aspecten

Via het geven van rapportcijfers voor de Audi duo en de auto die doorgaans gebruikt wordt zijn de auto's met elkaar vergeleken t.a.v. een aantal aspecten. Er zijn een aantal figuren gemaakt waarin deze aspecten worden genoemd terwijl is aangegeven in hoeveel procent van de gevallen een cijfer is gegeven lager dan 7. Bij de Audi duo blijkt dit vooral het geval t.a.v. schakelen, acceleratie en ruimte. Bij de eigen auto zijn het vooral milieu, energie(brandstof)verbruik en de extra's.

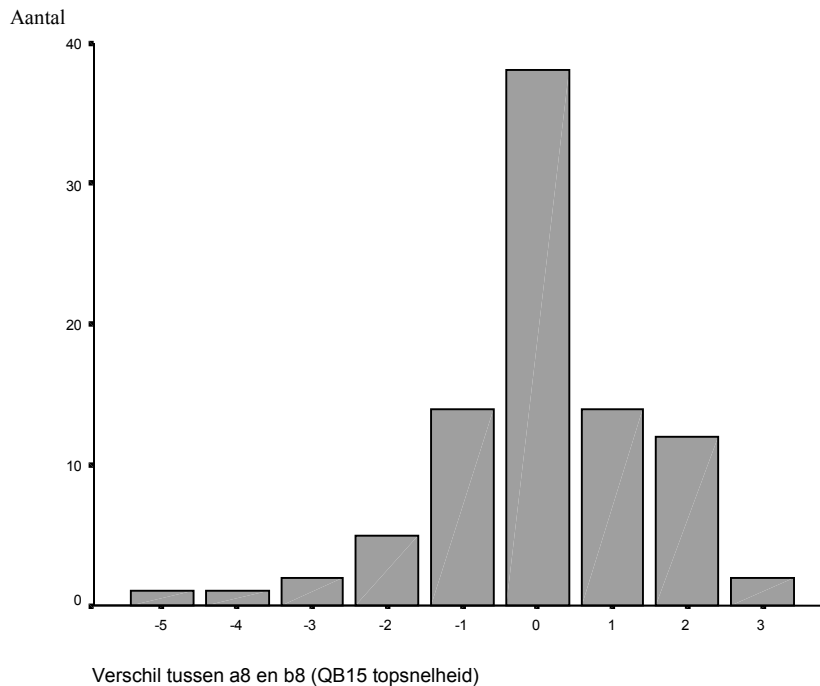


Figuur C.9 Rapportcijfers voor de verschillende aspecten van de Audi Duo

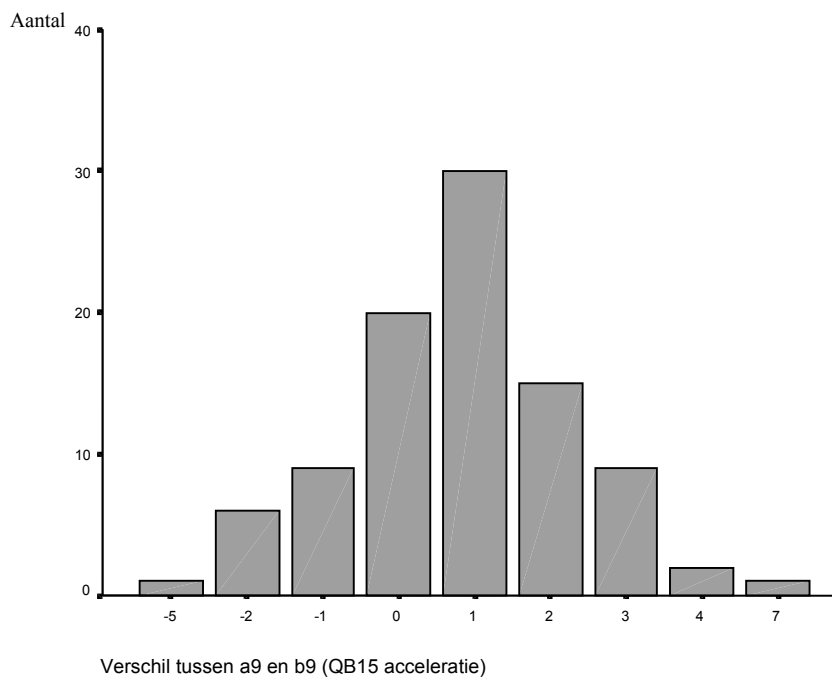


Figuur C.10 Rapportcijfers voor de verschillende aspecten van de eigen auto

Voor twee aspecten zijn de verschillen bepaald tussen de waarde voor de Audi en de eigen auto. Het betreft 'topsnelheid' en de 'acceleratie'. Zoals uit de figuren blijkt ziet bijna 45% (n=40) van de deelnemers geen verschil tussen beide auto's ten aanzien van de 'topsnelheid'. Wel zijn er een aantal die het verschil erg groot achten in het voordeel van de Audi. Wat de acceleratie betreft zijn de meningen verdeeld en komen er zowel 'extreem positieve' als 'extreem negatieve' waarden voor. De modale waarde ligt hier bij een verschil van 1 punt in het voordeel van de eigen auto, terwijl 22% geen verschil aangeeft tussen Audi en eigen auto.



Figuur C.11 *Verschillen in waardering tussen eigen auto en Audi duo t.a.v. de topsnelheid*



Figuur C.12 *Verschillen in waardering tussen eigen auto en Audi duo t.a.v. de acceleratie*

De vraag is of de deelnemers gedurende de test hun rijstijl hebben aangepast aan de Audi duo. Daarbij zijn de volgende antwoorden verkregen. Bijna de helft van de deelnemers zegt dat hun rijstijl iets rustiger is geworden., 6% vindt zelfs dat het veel rustiger is geworden.

Tabel C.13 *Aanpassen van de rijstijl door de deelnemers, gegeven naar groep [%]*

	alle deelnemers	bemeterde auto's	overige deelnemers
nee	34	38	32
veel pittiger	2	0	3
iets pittiger	8	9	7
iets rustiger	46	44	47
veel rustiger	6	9	5
niet ingevuld	3	0	5
totaal	100	100	100

C.2.6. Opladen

Gevraagd is of de deelnemers tevreden zijn over het opladen aan het elektriciteitsnet en of ze tevreden zijn over de capaciteit van de batterijen. Het is duidelijk dat men meer tevreden is over 'het opladen' dan over 'de capaciteit van de batterijen'. Toch is maar net iets meer dan 50% (overwegend) tevreden over het opladen.

Tabel C.14 *Mate van tevredenheid over opladen en de capaciteit van de batterijen*

tevreden	opladen aan het net	capaciteit van de batterijen
zeer tevreden	19	2
overwegend tevreden	34	16
niet tevreden/niet ontevreden	25	29
overwegend ontevreden	17	34
zeer ontevreden	2	15
niet ingevuld	2	3

C.2.7. Kansen voor de Audi Duo

Stelling: *De hybride auto is de auto van de toekomst.*

In onderstaande tabel is vermeld hoeveel van de deelnemers in een bepaalde antwoordcategorie hebben geantwoord. De antwoorden uit de enquête na de rijperiode zijn uitgezet tegen de antwoorden die vooraf zijn verkregen.

Tabel C.15 *Relatie tussen antwoorden over toekomst van hybride, voor/na rijden in de Audi duo*

QA16 = De hybride auto is de auto van de toekomst (eerste enquête)

	QB25_1: De hybride auto is de auto van de toekomst (2e enquête)					totaal
	volledig mee eens	overwegend mee eens	neutraal	overwegend mee oneens	geheel mee oneens	
QA16 geheel mee eens	7	5	1			13 14,8%
overwegend mee eens	3	21	8	2		34 38,6%
neutraal	1	10	15	3	3	32 36,4%
overwegend mee oneens		3		3		6 6,8%
geheel mee oneens					3	3 3,4%
totaal	11	39	24	8	6	88
verdeling	12,5%	44,3%	27,3%	9,1%	6,8%	100%

Hierbij wordt een verschuiving geconstateerd. In de eerste enquête waren 13 respondenten het 'geheel eens' met de stelling. Na het rijden blijkt de mening minder uitgesproken. Bijvoorbeeld

blijken er van de groep (34) die in de eerste enquête ‘overwegend mee eens’ hebben aangegeven 21 dezelfde keuze te hebben gemaakt, van de overige zijn er 3 meer positief, terwijl er 10 een meer negatieve mening hebben vermeld. Voor de groepen ‘neutraal’ en ‘overwegend mee oneens’ kan een zelfde verandering worden geconstateerd. Er zijn 3 rijders die een uitgesproken negatieve mening zijn toegedaan. Getest is of de mening over de stelling wordt bepaald door het type auto waar men in rijdt. De gegevens hiervoor zijn in onderstaande tabel vastgelegd. Geconcludeerd kan worden dat het huidige type het antwoord op de stelling niet bepaald.

Tabel C.16 *Antwoorden op de vraag over de toekomst van de hybride auto in relatie tot het type auto waarin thans wordt gereden*

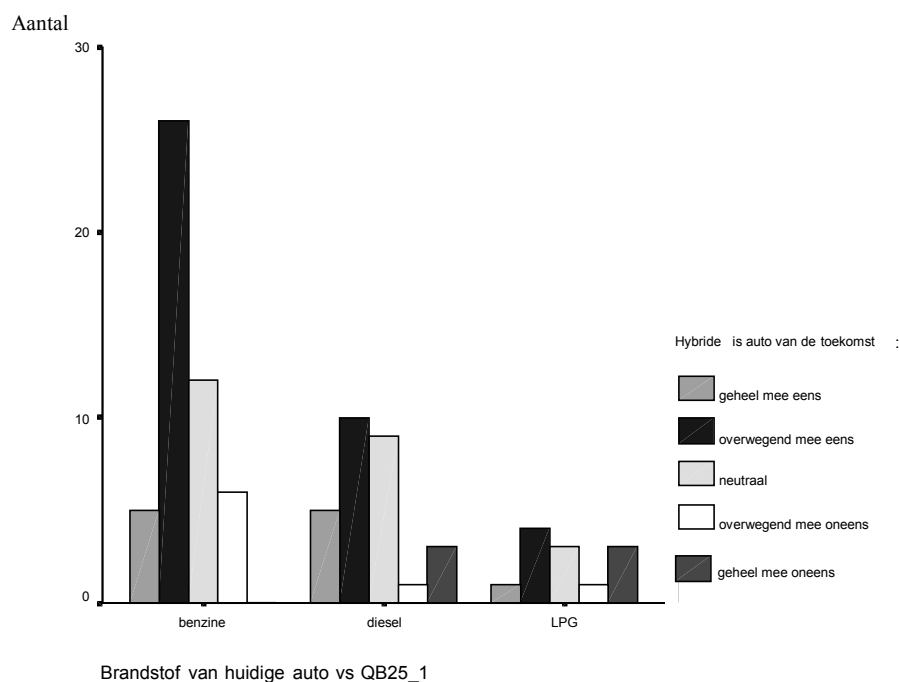
QB25_1 = De hybride auto is de auto van de toekomst (2e enquête)		QA3 = Omschrijving van de huidige auto						
		stadsauto	kleine midden- klasser	midden- klasser	grote midden- klasser	luke segment	totaal	
QB25_1	geheel mee eens	0	1	4	5	1	11	12,4%
	overwegend mee eens	1	11	7	17	4	40	44,9%
	neutraal	1	2	7	11	3	24	27,0%
	overwegend mee oneens		1	3	4		8	9,0%
	geheel mee oneens			1	5		6	6,7%
	totaal	2	15	22	42	8	89	
	verdeling	2,3%	16,9%	24,7%	47,2%	9,0%		100%

Eveneens is nagegaan of het antwoord op de stelling wordt beïnvloed door de brandstof van de huidige auto. In onderstaande tabel zijn de uitkomsten vermeld.

Tabel C.17 *Antwoorden op de vraag over de toekomst van de hybride auto in relatie tot de brandstof van de auto waarin thans wordt gereden*

QB25_1 Hybride auto is de auto van de toekomst		QA8 = Brandstof van de huidige auto				
		benzine	diesel	LPG	totaal	
QB25_1	geheel mee eens	5	5	1	11	12,4%
	overwegend mee eens	26	10	4	40	44,9%
	neutraal	12	9	3	24	27,0%
	overwegend mee oneens	6	1	1	8	9,0%
	geheel mee oneens	0	3	3	6	6,7%
	totaal	49	28	12	89	
	verdeling	55,1%	31,5%	13,5%		100%

Er blijkt een significante invloed van het type brandstof op de mening over de stelling. Dit blijkt beter uit de onderstaande Figuur. De Figuur laat zien dat bestuurders van benzineauto's de stelling vaker positief beantwoorden dan de andere bestuurders. Bovendien behoren diegenen die het de stelling niet eens zijn tot de diesel en LPG-rijders.



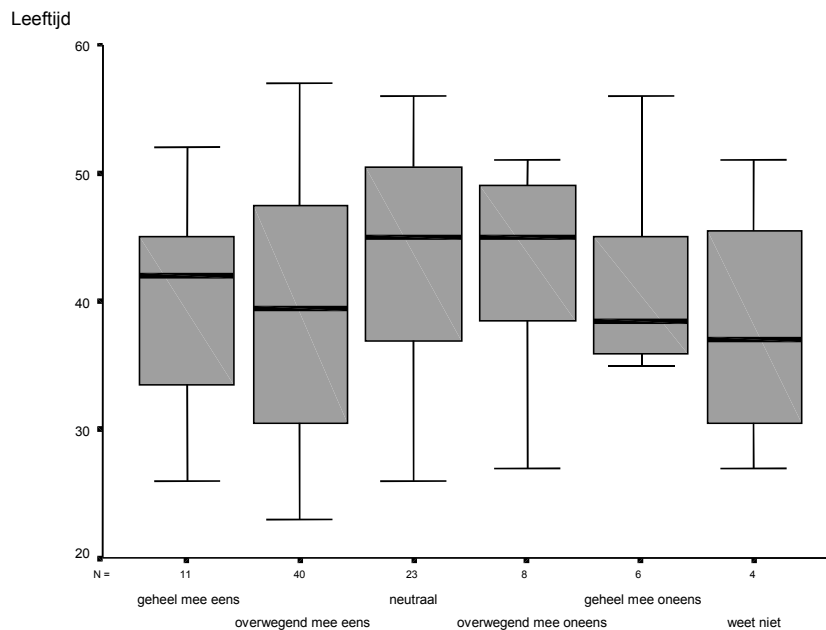
Figuur C.13 *Mening over toekomst van de hybride auto versus het type brandstof van de huidige auto*

Nagegaan is in hoeverre de mening over de toekomst van de hybride na het rijden in de Audi duo veranderd is t.o.v. de mening die men vooraf had. In Tabel 15 is dit weergegeven. Zoals blijkt is de mening van de benzinerijders wel wat veranderd, enerzijds is het aandeel antwoorden met 'geheel mee eens' verminderd maar een deel van de deelnemers met vooraf een 'neutrale' mening is na het rijden duidelijk positiever. De mening van de deelnemers waarvan de eigen auto een dieselauto is na het rijden wat negatiever geworden, ditzelfde geldt voor de LPG-rijders.

Tabel C.18 *Mening over de toekomst van de hybride auto in relatie tot de brandstof voor en na het rijden in de Audi duo [%]*

		geheel mee eens	overwegend mee eens	neutraal	overwegend mee oneens	geheel mee oneens	
Benzine	voor	16	35	37	12	0	100
	na	10	53	25	12	0	100
Diesel	voor	21	45	28	0	7	100
	na	18	36	32	4	11	100
LPG	voor	8	42	42	0	8	100
	na	8	33	25	8	25	100

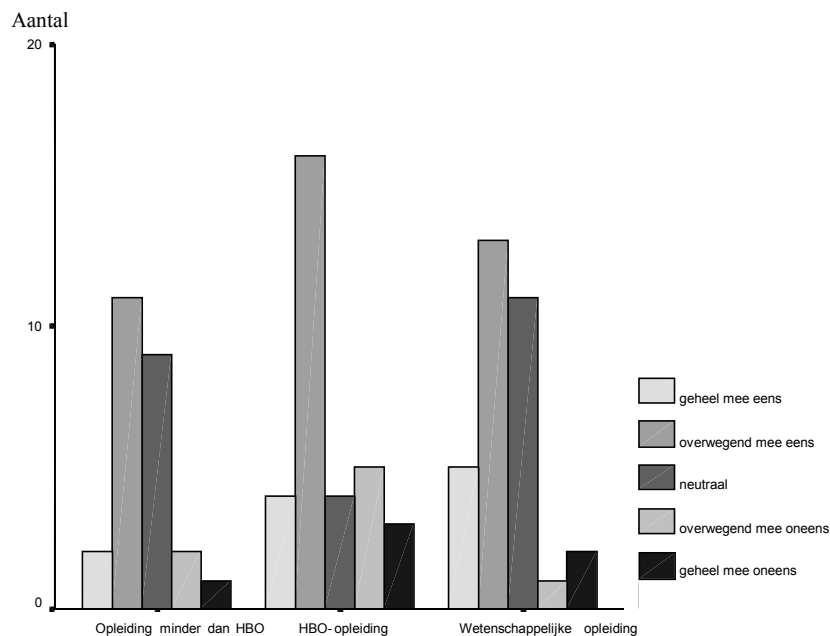
Om na te gaan of de leeftijd van de bestuurder een rol speelt bij het beantwoorden van de stelling nadat de rijperiode voorbij is dezelfde Figuur gemaakt als voor de uitkomsten van de 1e enquête. Hoewel de Figuur een afwijkend beeld tont t.o.v. die uit de eerste enquête kan geen significant verschil worden aangetoond omdat de spreiding naar verhouding hoog is.



Hybride auto is auto van de toekomst (qb25_1) vs leeftijd

Figuur C.14 *Mening over toekomst van de hybride auto versus de leeftijd van de deelnemers*

Verder is er van de deelnemers bekend welk opleidingsniveau men heeft. In onstaande Figuur is voor drie categorieën aangegeven wat de antwoorden waren op de bovengenoemde stelling. De beelden voor diegenen die een opleiding hebben minder dan HBO is nagenoeg gelijk aan die met een wetenschappelijke opleiding. In de groep deelnemers met een HBO-opleiding valt het antwoord 'verwegend mee eens' relatief hoger uit dan in beide andere groepen.



Hybride auto is auto van de toekomst (QB25_1)

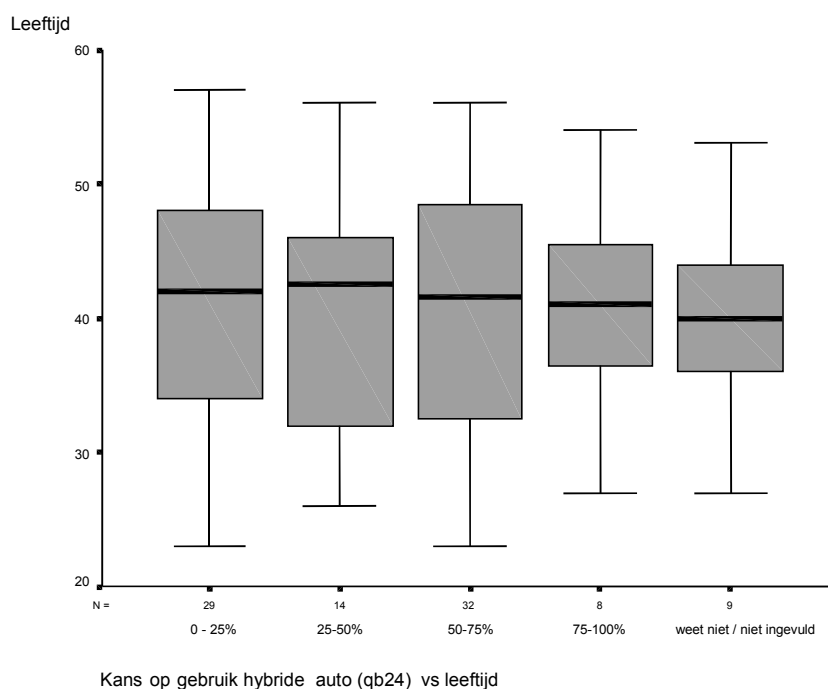
Figuur C.15 *Mening over de toekomst van de hybride auto versus de opleiding van de deelnemers*

Vraag: *Hoe groot acht u de kans dat u in de toekomst zelf een hybride auto gaat gebruiken?*
 In onderstaande Tabel C.19 is vermeld hoeveel van de deelnemers in een bepaalde antwoordcategorie hebben geantwoord. De antwoorden uit de enquête na de rijperiode zijn uitgezet tegen de antwoorden die vooraf zijn verkregen.

Tabel C.19 *Mening over kans op toekomstig gebruik van een hybride voor/na rijden in Audi duo*

QA20 = Hoe groot is de kans dat de hybride auto in de toekomst door u zal worden gebruikt		QB24 = Hoe groot is de kans dat de hybride auto in de toekomst door u zal worden gebruikt (2e enquête)						
		0 - 25%	26 - 50%	51 - 75%	76 - 100%		totaal	
QA20	0 - 25%	14	3	5			22	32,4%
	26 - 50%	7	1	6			14	20,6%
	51 - 75%	1	4	12	2		19	27,9%
	76 - 100%	1	1	5	6		13	18,8%
	totaal	23	9	28	8		68	
verdeling		33,8%	13,2%	41,2%	11,8%			100%

Ook in deze tabel is duidelijk te zien dat de meningen wat verschoven zijn. Na de tweede enquête blijkt dat meer dan 50% van de ondervraagden, die een percentage hebben genoemd, de kans op gebruik van een hybride auto groter acht dan 0,5. Ook voor deze vraag is naar de leeftijd van de deelnemer gekeken die behoort bij een bepaalde categorie. De resultaten zijn in onderstaande figuur vastgelegd. Er kan niet worden gesproken van een leeftijdseffect.



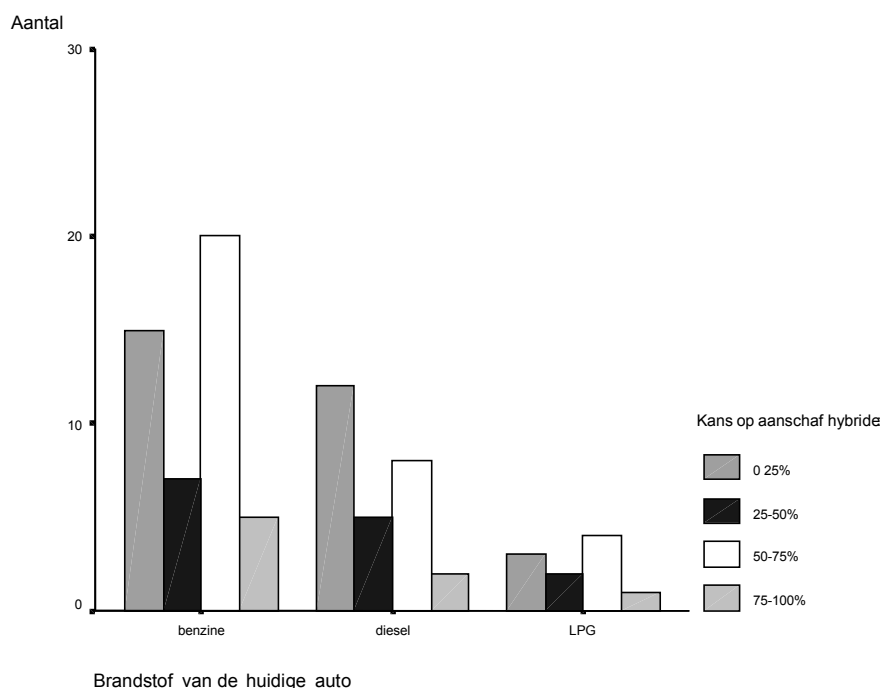
Figuur C.16 *Kans op gebruik van een hybride auto versus de leeftijd van de deelnemer*

Het type brandstof blijkt geen rol te spelen op de verwachting t.a.v. gebruik in de toekomst. De tabel bevat de aantallen per categorie terwijl in de figuur het resultaat is samengevat. Hoewel niet significant wordt door deelnemers met een dieselauto de kans dat zij in de toekomst een hybride zullen rijden kleiner geacht dan door de overige deelnemers.

Tabel C.20 *Mening over de kans op gebruik van een hybride auto in relatie tot de brandstof van de huidige auto, voor en na het rijden in de Audi*

QB24 De kans dat in de toekomst door u een hybride auto wordt gebruikt

		QA8 Brandstof van de huidige auto			totaal	
		benzine	diesel	lpg		
QB24	0 - 25%	15	12	3	30	35,7%
	26 - 50%	7	5	2	14	16,7%
	51 - 75%	20	8	4	32	38,1%
	76 - 100%	5	2	1	8	9,5%
	totaal	47	27	10	84	
verdeling		56,0%	32,1%	11,9%		100%



Figuur C.17 *Kans op gebruik van een hybride auto versus het type brandstof van de huidige auto*

Stelling: *Met een hybride auto kun je je positief onderscheiden van anderen*

Ruim 70% van de deelnemers is het eens met deze stelling. Voor diegenen die een bemeterde auto hebben was dit 76% en voor de overigen 68%.

Stelling: *Een elektrisch aangedreven auto is zo stil, dat er gevaar ontstaat voor andere weggebruikers*

De meningen hierover zijn nogal verdeeld 5% is het hier geheel mee eens terwijl 8% het geheel oneens is met deze uitspraak. Opvallen is het verschil tussen diegenen die een bemeterde auto hebben gereden (groep A) en de overigen (groep B). Van groep A is 53% het eens met bovengenoemde uitspraak en van groep B was dit percentage 27%.

Ruim 35% van de deelnemers vindt dat de hybride niet meer mag kosten, 37% vindt dat de prijs slechts 10% hoger mag zijn, 21% van de deelnemers vindt dat het maximaal 30% meer mag zijn. De overigen (6%) hebben niets ingevuld.

C.3. verschillen tussen A- en B-groep

In de enquête is onderscheid gemaakt tussen deelnemers die in een bemeterde auto hebben gereden (groep A) en de overige deelnemers (groep B). Aangezien voor de A-groep getracht is deelnemers te selecteren waarvan verondersteld is dat juist zij de potentiële gebruikers van een hybride auto zouden zijn is het nodig na te gaan of er verschillen zijn te vinden tussen de antwoorden van beide groepen.

Op de stelling: De hybride auto is de auto van de toekomst werd enigszins verschillend gereageerd door de A- en de B-rijders. In de B-groep was men iets positiever (62% gaf een antwoord positiever dan neutraal, bij de A-groep was dit 48%). Bij het inschatten van de kans dat in de toekomst een hybride auto zal worden gebruikt waren de B-rijders ook positiever, 24% schatte de kans groter dan 50% terwijl het aandeel bij de A-rijders 15% bedroeg. In beide gevallen zijn de verschillen statistisch significant.

Voor de tevredenheid over de krachtbronnen is gevonden dat voor alle gevallen een verschil is gevonden dat significant is op 10% niveau maar wat richting betreft verschillend is. De A-rijders zijn minder tevreden over de dieselmotor (QB4.1), maar meer tevreden over de elektromotor (QB5.1). Op de vraag of de Audi duo een geslaagde hybride is (QB6.1) hebben A-rijders wat positiever geantwoord dan de B-groep.

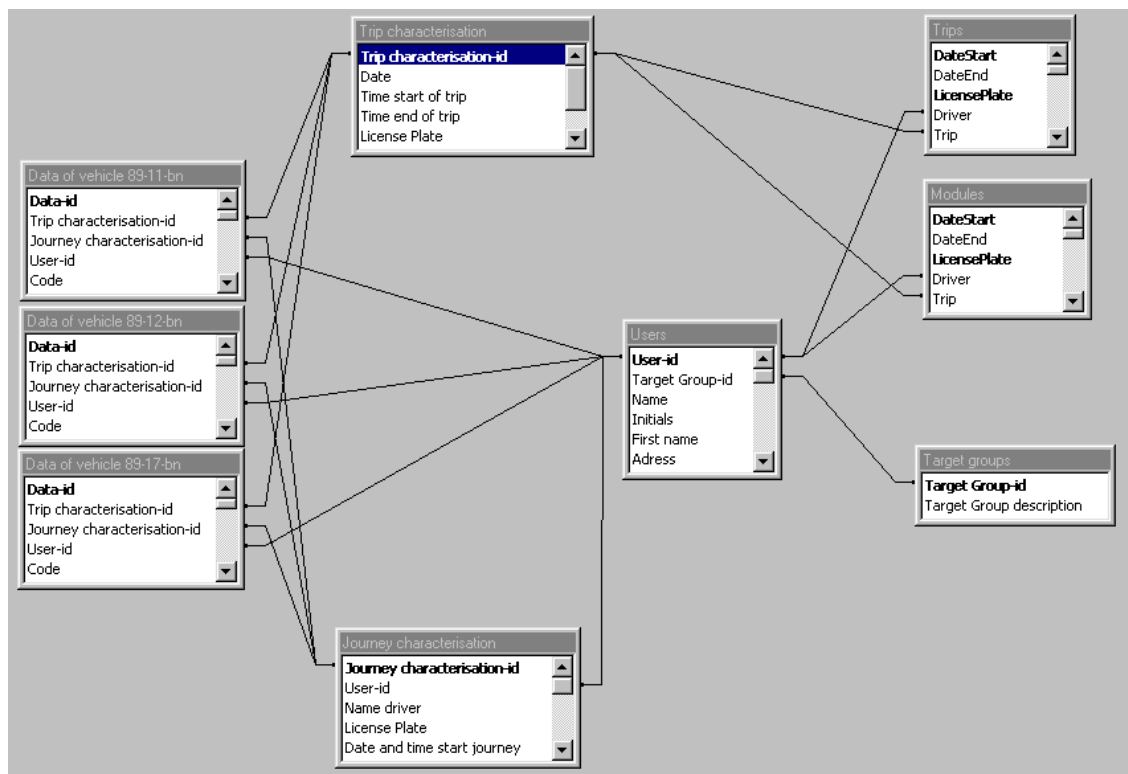
Wat betreft de tevredenheid over de keuzeschakelaar (QB9.1) was het verschil gering. Op de vraag of men aan de keuzeschakelaar gewend is geraakt (QB11) is door de A-groep minder positief gereageerd dan door de B-groep. Het verschil is significant op het niveau van 8%. De vragen over hoe vaak de duo-stand, de elektro-stand en de dieselstand (QB12.1, QB13.1 en QB14.1) zijn ingesteld, zijn door beide groepen zodanig beantwoord dat niet tot verschillen kan worden besloten.

Voor Topsnelheid, Acceleratie en Schakelgemak is nagegaan wat de verschillen in waardering zijn tussen de eigen auto en de Audi duo (vraag QB15). Voor de eerste twee is geen verschil te constateren. Bij het schakelgemak gaf de waardering van de A-groep een waarde die voor de eigen auto 1, 2 hoger lag en in de B-groep bedroeg dit 0,5. Dit verschil is significant op het 10% niveau.

D. OPZET DATABASE

D.1. Structuur van de database

De database bestaat uit verschillende tabellen die elk gegevens bevatten met betrekking tot het praktijkexperiment. De verschillende in de database aanwezige tabellen zijn aan elkaar gekoppeld door zogenaamde unieke identifiers. Figuur D.1 verklaart de onderlinge verbanden.



Figuur D.1 *Opbouw database met relaties tussen afzonderlijke tabellen*

Tabellen 'Data of vehicle ...' bevatten de gegevens zoals deze zijn gemeten door het meet- en registratiesysteem. De volgorde van de gemeten data kan worden behouden door te sorteren op datum en tijd. Bovendien is een Data identifier toegevoegd die gebruikt wordt om de volgorde van de ingelezen data te bewaren en het mogelijk te maken eenvoudig naar een vast record te zoeken. De tabel bevat ook de identifiers uit de andere tabellen, zodat elk meetpunt kan worden toegewezen aan een gebruiker, een rit van 'contact aan' tot 'contact uit' en een in werkelijkheid verreden rit van locatie A naar locatie B. Naast de gemeten signalen beschikt de tabel over kolommen voor de uit de gemeten signalen berekende parameters.

Tabel 'Trip characterisation' bevat een opsomming van de parameters per gemaakte rit, zoals bijvoorbeeld gemiddelde gaspedaalstand, gemiddelde energie-inhoud van de tractiebatterij tijdens de rit of het percentage van de tijd van de rit waarin diesel is gereden. Een rit is in deze tabel gedefinieerd van 'contact aan' tot 'contact uit'.

In tabel 'Users' staan alle gebruikers die in de drie voertuigen hebben gereden. Gegevens als doelgroep waartoe rijder behoort, persoonsgegevens en andere relevante informatie van de gebruiker zijn in de tabel ingevuld. De 'Target group' tabel geeft een verklaring voor de target group identifier waartoe de gebruiker in 'Users' behoort. Gegevens vanuit de logboeken die

door de gebruikers van het voertuig daarin zijn ingevuld, worden verzameld in de tabel ‘Journey characterisation’. Via de user identifier is een link gemaakt met de berijder en zijn gegevens.

De tabellen ‘trips’ en ‘modules’ verwerken de data in de database tot ritten en modules. Dit wordt verder uitgewerkt in Paragraaf D.6.

D.2. Inlezen data in database

Om de geregistreerde data in te lezen in de database moeten een aantal stappen worden uitgevoerd. De bestanden worden vanuit het geheugenkaartje gekopieerd naar een vaste schijf en omgezet van het hexadecimaal formaat naar ASCII tekst.

Een aantal slagen die gemaakt moeten worden om de data correct te importeren zijn:

- Verwijderen van een aantal vaste tekstregels uit het bestand.
- Scheidingsteken voor duizendtallen verwijderen (1,000 maar 1000).
- Toevoegen van een data identifier om de tijdsvolgorde te bewaren.

D.3. Conversie gemeten signalen

De geïmporteerde meetdata zijn in de meeste gevallen niet in de juiste eenheid beschikbaar. De meeste signalen zijn gemeten als spanning of puls en behoeven nog een conversie naar de werkelijke waarde. In Tabel D.1 staat voor elk signaal afzonderlijk de te converteren eenheid gegeven. Daarnaast is ook het meetbereik aangegeven.

Tabel D.1 *Overzicht conversie meetsignalen*

Parameter	Conversie eenheid	Meetbereik
kWh pulse	puls→kWh	0 .. 65535
n ICE	puls→rpm	0 .. 200
Vehicle speed	puls→km/u	0 .. 1300
Coolant EM	mV→°C	0 .. 2500
Coolant ICE	mV→°C	0 .. 5000
Coolant Battery	mV→°C	1000 .. 2000
U bat HV	mV→V	0 .. 3000
I bat HV	mV→A	0 .. 7250
I dynamo	mV→A	0 .. 5600
I DC/DC	mV→A	0 .. 2500
T ambient	°C	-25 .. 50
FC ICE	puls→ml	0 .. 7813
FC Heater	puls→ml	0 .. 10
n EM	puls→rpm	0 .. 150
Selected mode pin22 en pin 68	status→elec-duo-diesel	0 .. 1
SOC	mV→%	0 .. 3000
Gear	mV→gear (-1, vrij, 1, 2, 3, 4, 5)	0 .. 6000
U bat 12 V	mV→V	0 .. 7000
Gas pedal	mV→%	0 .. 5000
Energy source used	mV→none-elec-diesel	0 .. 7000
License Plate	‘8911’→‘89-11-BN’	‘8911’ .. ‘8917’
energy source used	mV→none-elec-diesel	0 .. 7000

Een voorbeeld voor conversie van signalen is het signaal van de stand van de duo keuzeschakelaar en de gebruikte energiebron. In Tabel D.2 en Tabel D.3 wordt voor beide signalen de conversie aangegeven.

Tabel D.2 *Conversie stand duo keuzeschakelaar*

Stand keuzeschakelaar	Selected mode pin 22	Selected mode pin 68
Elektrisch	1	0
Duo	0	1
Diesel	1	1

Tabel D.3 *Conversie gebruikte energiebron*

Gebruikte aandrijfbron	Waarde gemeten signaal [mV]
Elektrisch	0 .. 2000
Diesel	> 5500
Niets (bijvoorbeeld tijdens contact aanzetten)	2000 .. 5500

Voor het converteren naar de werkelijke waarde van de signalen is een Visual Basic programma ontwikkeld. Dit programma berekent voor elke regel in de tabel de geconverteerde waarde.

D.4. Berekenen afgeleide parameters

Het meet- en registratiesysteem heeft een aantal signalen gemeten en opgeslagen. Een aantal van deze signalen zijn onderdeel van een andere parameter. Een voorbeeld hiervoor is het vermogen dat uit de batterij wordt gehaald of waarmee de batterij wordt geladen. Dit vermogen wordt berekend door de gemeten signalen $I_{bat\ HV}$ (stroom vanaf tractiebatterij) en $U_{bat\ HV}$ (spanning tractiebatterij) met elkaar te vermenigvuldigen. Een ander voorbeeld is de acceleratie. Deze parameter is afgeleid uit de voertuigsnelheid.

In de tabellen ‘Data of vehicle ...’ in de database zijn kolommen toegevoegd waarin de waarden van de berekende parameters worden geplaatst. Ook dit gebeurt met behulp van een Visual Basic programma. In Tabel D.4 volgt een overzicht van de afgeleide parameters en de manier waarop ze berekend worden.

Tabel D.4 *Overzicht berekende parameters*

Parameter	Omschrijving	Formule
Acceleratie	Voertuig acceleratie	$(V_{(t+1)} - V_{(t-1)})/2$
I Inverter	Stroom naar Inverter	$I_{Bat\ HV} - I_{DC/DC}$
P Inverter	Vermogen naar Inverter	$I_{Inverter} \times U_{Bat\ HV}$
P Battery	Vermogen van/naar tractiebatterij	$I_{Battery} \times U_{Bat\ HV}$
P DC/DC	Vermogen naar DC/DC converter	$I_{DC/DC} \times U_{Bat\ HV}$
P dynamo	Vermogen van dynamo	$I_{dynamo} \times U_{Bat\ HV}$
P regenerative braking	Vermogen uit regeneratief remmen	$I_{Inverter} \times U_{Bat\ HV}$ indien Brake = 0 en I_{Inv} = negatief

D.5. Extra functionaliteiten database

Naast de tabellen, formuleren en programma’s zoals hierboven beschreven, is de database voorzien van een aantal extra functionaliteiten:

- Visual Basic macro die de tabel ‘Trip characterisation’ vult, door de datatabellen ‘Data of vehicle ...’ te analyseren. Ook krijgt elk record in de datatabel door deze macro de ‘Trip characterisation identifier’.
- Uit de logboeken is bekend wie er wanneer in welke auto heeft gereden. Met deze informatie wordt door een Visual Basic macro aan elk record van de datatabellen de user identifier toegevoegd.

- De tabel 'Remarks' bevat een aantal opmerkingen met betrekking tot het gebruik van de voertuigen (uitval, defecten, regulier onderhoud, enz.)
- In een later stadium is aan de database nog een extra tabel toegevoegd. Deze bevat de fouten/problemen die zijn opgetreden tijdens het meten en registreren van de data. Om de tabel te vullen is een programma geschreven dat de data analyseert op mogelijke fouten. Daarvan wordt melding gemaakt in de tabel 'Occurred errors in data tables', waarbij tevens de data identificeren en de datum/tijd wordt weergegeven waarop zich het desbetreffende probleem voordeed.
- Het formulier 'Journey characterisation'. Dit formulier wordt gebruikt om de ingevulde gegevens vanuit de logboeken in te vullen in de tabel 'Journey characterisation'.

D.6. Dataverwerking

De gegevens die vanuit het meet- en registratiesysteem per seconde zijn opgeslagen in een database, worden met behulp van een programma dat gekoppeld is aan de database geaggregeerd tot ritten en modules. In verband met pieken tijdens de start en stop van een rit worden de eerste en laatste seconde van een rit niet meegenomen in de berekeningen. Vanuit de meetgegevens worden een groot aantal parameters berekend. In Tabel 1 staan de velden die berekend worden. Als in de laatste kolom E en/of D staat wordt deze parameter ook apart berekend over dat gedeelte van de rit dat resp. elektrisch en/of op diesel worden afgelegd.

Tabel D.7 *Beschrijving parameters*

Parameter	Beschrijving	
DateStart	Starttijdstip van een rit of module	
DateEnd	Eindtijdstip van een rit of module	
LicensePlate	Kenteken van voertuig	
Driver	Bestuurder	
Trip	Ritnummer	
ModuleNr	Modulenummer	
Journey	Reisnummer volgens logboek	
SpeedOperationalAverage	Gemiddelde snelheid (incl. stilstand) [km/h]	E + D
SpeedDrivingAverage	Gemiddelde snelheid (excl. stilstand) [km/h]	E + D
SpeedMax	Maximale snelheid [km/h]	E + D
TripLength	Totale lengte [km]	E + D
Time	Totale tijdsduur [sec.]	E + D
NrStopsKM	Aantal keer gestopt per km	E + D
PKE	Positieve Kinetische Energie [m/s ²]	E + D
RPA	Relatieve Positieve Acceleratie [m/s ²]	E + D
AccelerationAverage	Gemiddelde acceleratie [m/s ²]	E + D
DecelerationAverage	Gemiddelde deceleratie [m/s ²]	E + D
%Standstill	Percentage van de tijd waarbij niet wordt gereden	E + D
%1-20	Percentage van de tijd met de snelheid tussen 0 km/h en 20 km/h	E + D
%21-50	Percentage van de tijd met de snelheid tussen 20 km/h en 50 km/h	E + D
%51-80	Percentage van de tijd met de snelheid tussen 50 km/h en 80 km/h	E + D
%81-120	Percentage van de tijd met de snelheid tussen 80 km/h en 120 km/h	E + D
%120+	Percentage van de tijd met de snelheid hoger dan 120 km/h	E + D
%60-	Percentage van de tijd met de snelheid tussen 0 en 60 km/h (incl. stilstand)	E + D
%60-90	Percentage van de tijd met de snelheid tussen 60 km/h en 90 km/h	E + D
%90+	Percentage van de tijd met de snelheid hoger dan 90 km/h	E + D
%NoGear	Percentage van de tijd waarbij geen versnelling is ingeschakeld	E + D
%1Gear	Percentage van de tijd in de eerste versnelling	E + D
%2Gear	Percentage van de tijd in de tweede versnelling	E + D
%3Gear	Percentage van de tijd in de derde versnelling	E + D
%4Gear	Percentage van de tijd in de vierde versnelling	E + D
%5Gear	Percentage van de tijd in de vijfde versnelling	E + D
%ReverseGear	Percentage van de tijd in de achteruit versnelling	E + D
%SelectedDiesel	Percentage van de tijd waarbij de schakelaar in dieselstand staat	E + D
%SelectedDuo	Percentage van de tijd waarbij de schakelaar in duostand staat	E + D
%SelectedElectric	Percentage van de tijd waarbij de schakelaar in elektrische stand staat	E + D
%SelectedNone	Percentage van de tijd waarbij onbekend is in welke stand de schakelaar staat	E + D
%EnSourceDiesel	Percentage van de tijd waarbij op de dieselmotor wordt gereden	E + D

Parameter	Beschrijving	
%EnSourceElectric	Percentage van de tijd waarbij op de elektromotor wordt gereden	E + D
%EnSourceNone	Percentage van de tijd waarbij onbekend is op welke motor gereden wordt	E + D
%Brake	Percentage van de tijd waarbij geremd wordt	E + D
GasPedalAverage	Gemiddelde stand van het gaspedaal	E + D
SOCStart	Percentage dat de accu's zijn geladen bij het begin van een rit	
SOCEnd	Percentage dat de accu's zijn geladen bij het einde van een rit	
SOCAverage	Gemiddelde percentage dat de accu's zijn geladen gedurende de rit	
EngineSpeedICEAverage	Gemiddeld toerental van de dieselmotor	
EngineSpeedEMAverage	Gemiddeld toerental van de elektromotor	
FuelConsumptionICE	Diesilverbruik van de dieselmotor [l/km]	
FuelConsumptionHeater	Diesilverbruik van de verwarming [l/km]	
FuelConsumptionTotal	Totale diesilverbruik [l/km]	
CurrentFromBattery	Stroom in Ah die uit de accu's komt	
CurrentToBattery	Stroom in Ah die naar de accu's toe gaat	
EnergyUseEM	Elektriciteitsverbruik van de elektromotor [kWh/km]	E
EnergyUseDC/DC	Elektriciteitsverbruik van de DC/DC converter [kWh/km]	
EnergyUseElectrTotal	Totaal elektriciteitsverbruik van de elektromotor en DC/DC converter [kWh/km]	
EnergyUseICE Dynamo	Elektriciteitsverbruik van de dynamo [kWh/km]	
EnergyRegenBraking	Elektriciteit opgewekt bij het remmen in kWh/km	
EnergyICEBatteryIN	Elektriciteit opgewekt door de dieselmotor in kWh/km	
EnergyNetBatteryOut	Netto elektriciteit door de accu's geleverd in kWh/km	E
EnergyUseTotal	Totaal energieverbruik [MJ/km]	
ICECoolantTempStart	Temperatuur van de koelvloeistof voor de dieselmotor bij de start	
ICECoolantTempAverage	Gemiddelde temperatuur van de koelvloeistof voor de dieselmotor gedurende de rit	
ICECoolantTempMax	Maximale temperatuur van de koelvloeistof voor de dieselmotor gedurende de rit	
ICEOilTempStart	Temperatuur van de olie bij de start	
ICEOilTempAverage	Gemiddelde temperatuur van de olie gedurende de rit	
ICEOilTempMax	Maximale temperatuur van de olie gedurende de rit	
BatCoolantTempStart	Temperatuur van de koelvloeistof voor de accu's bij de start	
BatCoolantTempAverage	Gemiddelde temperatuur van de koelvloeistof voor de accu's gedurende de rit	
BatCoolantTempMax	Maximale temperatuur van de koelvloeistof voor de accu's gedurende de rit	
EMCoolantTempStart	Temperatuur van de koelvloeistof voor de elektromotor bij de start	
EMCoolantTempAverage	Gemiddelde temperatuur van de koelvloeistof voor de elektromotor gedurende de rit	
EMCoolantTempMax	Maximale temperatuur van de koelvloeistof voor de elektromotor gedurende de rit	
TempAmbientAverage	Gemiddelde buitentemperatuur	
ChargedFromGrid	kWh geladen uit het elektriciteitsnet	
#SourceChangeDuo	Aantal keer per km dat van energiebron is gewisseld als de schakelaar in duostand stond	
#SourceChange	Aantal keer per km dat van energiebron is gewisseld	
#ModeChange	Aantal keer per km dat de schakelaar is omgezet	
#KickDown	Aantal keer per km dat het gaspedaal volledig is ingedrukt (kickstart van de dieselmotor)	
StartModeSource	Stand van de schakelaar en soort energiebron als het voertuig wordt gestart	
Rittype	Karakterisering van de module (Stad1 t/m 6, Buitenweg1 t/m 6, Snelweg1 en 2, Overig)	

Om aan een rit emissies te kunnen koppelen is er ook een tabel met per rittype de emissies van CO, HC, NO_x, CO₂, en Stofdeeltjes.

Vanuit deze tabellen zijn er een groot aantal overzichten gemaakt waarmee de inventarisatie en analyse van de praktijkproef is gedaan.

E. AFHANKELIJKHEDEN

De hier beschreven methode is afgeleid uit een algemene methode die wordt toegepast in SPSS. Het betreft een regressieanalyse waarbij een bepaalde parameter de verklaarde variabele is en andere grootheden de variatie in deze variabele kunnen verklaren. Binnen dit onderzoek is deze methode toegepast voor een tweetal analyses.

Analyse 1

De invloed van de parameters beschreven in Paragraaf D.6 (Dataverwerking) op het energieverbruik. De verklaarde variabele is hierbij het energieverbruik. De verklarende parameters zijn de parameters uit Tabel D.7 per wegtype (stad, buitenweg, snelweg). Deze analyse is gebruikt om de gedrags- en gebruiksparameters te analyseren op basis waarvan de ritcycli zijn ontwikkeld. Dit wordt besproken in Hoofdstuk 4.

Tussen de genoemde verklarende variabelen bestaat eveneens een zekere mate van afhankelijkheid, hetgeen inhoudt dat de variatie in de emissie waarschijnlijk door een beperkt aantal verklarende grootheden zal worden bepaald. Voor de eerste analyse is hieraan voorbijgegaan omdat alleen die parameters gekozen worden voor verder onderzoek die het belangrijkste zijn. De onderlinge afhankelijkheid is dan minder van belang.

Het resultaat van analyse 1 is te uitgebreid om geheel in een tabel weer te kunnen geven. De belangrijkste resultaten zijn in Tabel E.1 weergegeven. De tabel geeft aan voor hoeveel procent de verklaarde variabele wordt verklaard door de verklarende parameters.

Tabel E.1 Verklaarde variabele energieverbruik stad [%]

	Stad user	Stad Module
RPAElec	68	38
AvgGasElec	2	1
AvgEngineSpeedEM	5	14
RPADies	43	10
AvgGasDiesel	0	0
AvgEngineSpeedICE	21	17
%Diesel	74	
RPATot	20	3
NrStopsKM	33	
EnergyBatteryIN	3	1

Tabel E.2 Verklaarde variabele energieverbruik buitenweg [%]

	Buitenweg user	Buitenweg Module
RPAElec	48	87
AvgGasElec	3	15
AvgEngineSpeedEM	1	4
RPADies	43	54
AvgGasDiesel	12	10
AvgEngineSpeedICE	41	32
%Diesel	66	
RPATot	38	
NrStopsKM	42	
EnergyBatteryIN	16	4

Tabel E.3 *Verklaarde variabele energiegebruik snelweg [%]*

	Snelweg user	Snelweg Module
RPAElec	80	83
AvgGasElec	22	7
AvgEngineSpeedEM	33	1
RPADies	7	
AvgGasDiesel	68	66
AvgEngineSpeedICE	70	
%Diesel	13	
RPATot	7	
NrStopsKM	1	
EnergyBatteryIN	21	18

Analyse 2

Invloed van de volgende parameters op de onderzochte emissies:

- het percentage kilometers verreden op de buitenweg (BUITEN),
- het percentage kilometers verreden op de snelweg (SNEL),
- het percentage kilometers verreden in de stad (STAD),
- het percentage kilometers elektrisch gereden (ELEC),
- de relatieve acceleratie (RPA),
- de mate waarin het gaspedaal is ingedrukt (GASPED).

Verklaarde variabelen zijn de verschillende emissies. De verklarende parameters zijn de parameters hierboven beschreven. Deze tweede analyse vormt de basis voor Hoofdstuk 5 waar de emissies worden verklaard door het gebruik van het voertuig en het gedrag van de bestuurder.

Tussen de genoemde verklarende variabelen bestaat eveneens een zekere mate van afhankelijkheid, hetgeen inhoudt dat de variatie in de emissie waarschijnlijk door een beperkt aantal verklarende grootheden zal worden bepaald. Welke deze grootheden zijn kan worden nagegaan door het toepassen van een zogenaamde multiple regressieanalyse volgens de zogenaamde stepwise methode.

Daarbij wordt de variabele die (absoluut) de grootste correlatie vertoont met de emissiewaarden als eerste in het verklarende (lineaire) model gebracht. Het model is opgebouwd uit de volgende functie:

$$y = b_0 + b_1 X x_1 + b_2 X x_2 + b_3 X x_3 + \dots$$

Daarna wordt getest of een tweede variabele kan worden toegevoegd waardoor de variatie in de emissiewaarden beter kan worden verklaard. Toevoeging van de andere variabelen wordt steeds getest op statistische significantie waarbij het mogelijk is dat een variabele die in een eerdere stap in het model is opgenomen weer uit het model wordt gelaten. Dit alles gebaseerd op tests met significantieniveaus die zelf kunnen worden ingesteld. Uiteindelijk convergeert het systeem naar een lineaire relatie die is opgebouwd uit een aantal (significante) termen. Bij het uitvoeren van de berekeningen wordt een output gegenereerd waarmee kan worden nagegaan wat er onderweg gebeurt, i.c. welke variabele in het model komt en welke er (weer) uitgaat. Het is niet zo dat deze methode per definitie de beste oplossing geeft. Via ‘forward selection of ‘backward elimination’ kunnen wel eens andere combinaties worden gevonden maar deze stepwisemethode wordt het meest gebruikt omdat het in de meeste gevallen tot goede resultaten leidt.

De resultaten van de analyse zijn weergegeven in Hoofdstuk 5.

F. ONTWIKKELING RITCYCLI

In deze bijlage wordt de methode uitgelegd om te komen tot representatieve ritcycli die met de Audi duo's zijn nagereden op de rollenbank.

Om tot een representatieve ritcyclus die te komen, moeten een aantal stappen worden ondernomen:

- Aanmaken en analyseren van een representatieve referentiecycclus.
- Bepalen van de lengte van stops en modules in de ritcyclus.
- Aanmaken snelheid-acceleratie matrices van de referentiecycclus.
- Statistische vergelijking van de kandidaat ritcycli met de referentiecycclus.
- Afronden van de ritcyclus.
- Grafische weergave van de 14 ontwikkelde ritcycli.

Bovenstaande stappen worden ieder afzonderlijk in een paragraaf beschreven.

Binnen deze bijlage worden de termen referentiecycclus en ritcycclus veelvuldig gebruikt. De *referentiecycclus* bestaat uit een groot aantal ritpatronen (snelheid-tijd) met hetzelfde karakter en is representatief voor een specifiek gebruik van het voertuig. Deze ritpatronen waarbij het specifiek gebruik optreedt, worden uit de geregistreerde gegevens genomen en allemaal achter elkaar geplakt. Dit levert een grote hoeveelheid data op. Alhoewel een referentiecycclus representatief is voor het werkelijk gebruik van de Audi duo, is deze veel te lang om te worden nagereden op de rollenbank. Daarom moet een *ritcycclus* van ongeveer 30 minuten worden afgeleid die dezelfde karakteristieken heeft als de representatieve referentiecycclus. Deze ritcycclus wordt op de rollenbank nagereden en levert in (g/km) dezelfde emissies op als de lange referentiecycclus.

F.1. Aanmaken en analyseren van een representatieve referentiecycclus

Met de verzamelde ritgegevens is een schat aan gegevens beschikbaar over het praktijk gebruik van de Audi duo. In Hoofdstuk 3 (Uitvoering) is beschreven hoe de data is geanalyseerd en hoe tot de indeling van 14 gebieden is gekomen. Elk gebied wordt beschouwd als een referentiecycclus.

Van de referentiecycclus worden een aantal belangrijke parameters berekend die in de ritcycclus dezelfde waarde moeten hebben.

- Aantal stops per kilometer
- Gemiddelde stoptijd
- Gemiddelde moduletijd
- Gemiddelde snelheid
- RPA (Relative Positive Acceleration) is een maat voor de dynamiek van een rit en wordt berekend door de totale energie die nodig is om het voertuig in de ritcycclus te accelereren te delen door de verreden afstand:

$$RPA = \frac{\int_0^T (v_i * a_i^+) dt}{x} \quad \text{Formule 2}$$

met: v_i = snelheid op tijdstip i
 a_i^+ = acceleratie op tijdstip i
 x = afgelegde afstand

- Percentage van de tijd dat diesel is gereden (%Diesel).
- Gemiddelde ladingstoestand van de tractiebatterij.
- Gemiddelde gaspedaalstand.

De eerste vijf parameters worden over het algemeen bij de ontwikkeling van representatieve ritcycli gebruikt, de andere zijn specifiek voor dit project geïntroduceerd. Een module is gedefinieerd als een snelheidspatroon tussen twee stops. Een stop is een periode waarbinnen het voertuig stilstaat.

Ook belangrijk is hoe er met de keuzeschakelaar is omgegaan. Hiervoor zijn onderstaande parameters van belang:

- Aantal malen omschakelen van Diesel naar Elektrisch per uur over de gehele referentiecycclus (DIE-EL/h)
- Aantal malen omschakelen van Elektrisch naar Diesel per uur over de gehele referentiecycclus (EL-DIE/h)
- Aantal malen omschakelen van Diesel naar Elektrisch per uur als er wordt gereden (DIE-EL/h $v > 0$)
- Aantal malen omschakelen van Elektrisch naar Diesel per uur als er wordt gereden (EL-DIE/h $v > 0$)

Deze parameters zijn voor alle referentiecycli berekend en weergegeven in Tabel F.1 tot en met Tabel F.3. De ritcycli moeten dezelfde karakteristieken vertonen als de corresponderende referentiecycclus.

Tabel F.1 *Parameters referentie cycli stad*

Parameter		Stad 1	Stad 2	Stad 3	Stad 4	Stad 5	Stad 6
Lengte referentie cycli	[uur]	15.5	21.3	26.9	32.8	29.9	27.3
Afgelegde afstand	[km]	311	473	611	685	721	593
Aantal stops per kilometer		1.51	1.61	1.40	1.84	1.03	1.59
Gemiddelde stoplengte	[s]	24.0	19.8	21.0	20.3	19.0	19.4
Gemiddelde modulelengte	[s]	94.4	80.8	91.6	73.5	125.1	84.3
Gemiddelde snelheid	[km/u]	25.2	27.6	27.9	26.6	27.8	26.7
RPA	[m/s ²]	0.17	0.27	0.17	0.26	0.17	0.25
% Diesel		94.0	95.8	39.5	36.4	1.6	2.2
Gemiddelde ladingstoestand traktiebatterij	[%]	33	31	33	36	40	45
Gemiddelde gaspedaalstand	[%]	16.3	17.1	16.2	17.1	16.4	17.1
Aantal malen omschakelen diesel-elektrisch per uur		2.7	4.3	9.9	15.6	3.8	5.6
Aantal malen omschakelen elektrisch-diesel per uur		2.7	4.3	9.8	15.6	3.8	5.6
Aantal malen omschakelen diesel-elektrisch, snelheid > 0 per uur		2.4	3.8	8.8	14.9	3.8	5.8
Aantal malen omschakelen elektrisch-diesel, snelheid > 0 per uur		2.0	3.2	5.7	10.9	1.4	3.0

Tabel F.2 *Parameters referentie cycli buitenweg*

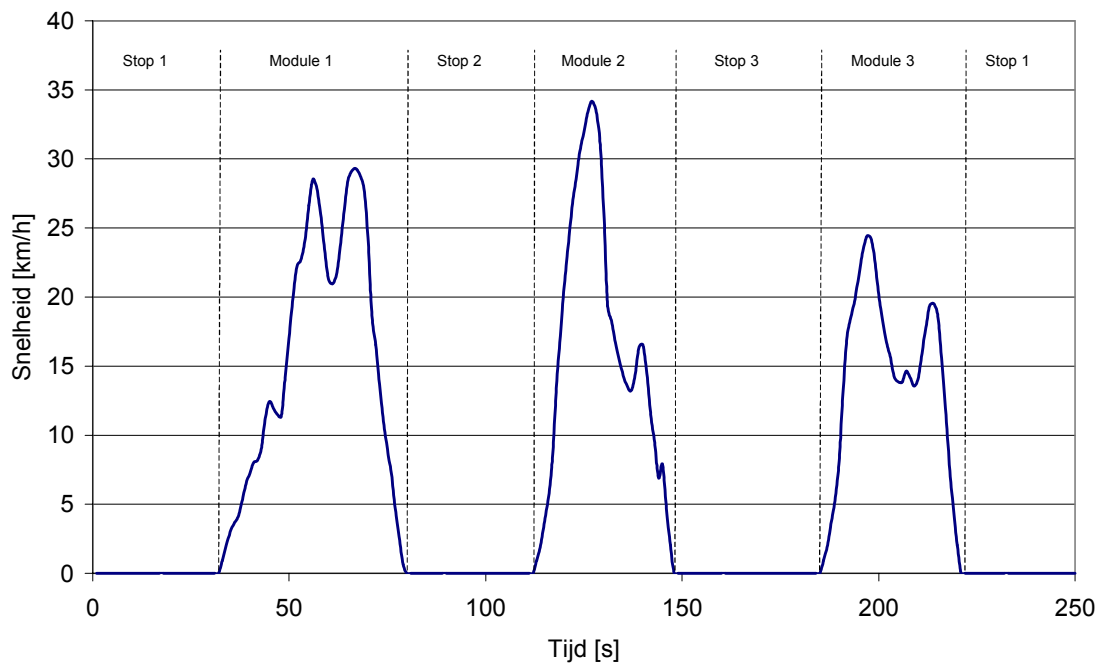
Parameter	Buitenweg 1	Buitenweg 2	Buitenweg 3	Buitenweg 4	Buitenweg 5	Buitenweg 6
Lengte referentie cycli [uur]	12.6	17.2	22.8	22.0	10.8	11.1
Afgelegde afstand [km]	803	958	1393	1240	626	616
Aantal stops per kilometer	0.09	0.21	0.10	0.15	0.11	0.20
Gemiddelde stoplengte [s]	21.1	15.4	19.3	14.6	21.3	17.0
Gemiddelde modulelengte [s]	575	286	585	393	555	310
Gemiddelde snelheid [km/u]	66.2	58.7	63.0	58.6	60.3	58.7
RPA [m/s^2]	0.10	0.18	0.11	0.17	0.10	0.17
% Diesel	98.3	98.9	64.2	58.8	7.6	10.7
Gemiddelde ladingstoestand tractiebatterij [%]	35	34	44	41	50	47
Gemiddelde gaspedaalstand [%]	30.5	28.2	30.6	30.1	28.9	29.3
Aantal malen omschakelen diesel-elektrisch per uur	1.1	2.1	9.5	19.1	2.9	8.6
Aantal malen omschakelen elektrisch-diesel per uur	1.1	2.6	9.5	19.0	2.8	8.6
Aantal malen omschakelen diesel-elektrisch, snelheid > 0 per uur	0.9	1.7	9.0	18.4	2.7	8.8
Aantal malen omschakelen elektrisch-diesel, snelheid > 0 per uur	0.8	1.7	8.0	17.0	1.4	6.8

Tabel F.3 *Parameters referentie cycli snelweg*

Parameter	Snelweg 1	Snelweg 2
Lengte referentie cycli [uur]	42.5	51.2
Afgelegde afstand [km]	4105	5468
Aantal stops per kilometer	0.02	0.02
Gemiddelde stoplengte [s]	14.8	15.1
Gemiddelde modulelengte [s]	1745	2081
Gemiddelde snelheid [km/u]	97.3	107.5
RPA [m/s^2]	0.09	0.08
% Diesel	95.7	84.5
Gemiddelde ladingstoestand tractiebatterij [%]	42	35
Gemiddelde gaspedaalstand [%]	37.0	45.7
Aantal malen omschakelen diesel-elektrisch per uur	2.1	9.4
Aantal malen omschakelen elektrisch-diesel per uur	2.2	9.5
Aantal malen omschakelen diesel-elektrisch, snelheid > 0 per uur	1.8	9.2
Aantal malen omschakelen elektrisch-diesel, snelheid > 0 per uur	1.8	9.0

F.2. Bepalen van de lengte van stops en modules in de ritcyclus

Belangrijk element in het ontwikkelen van ritcycli is de verdeling van stop- en modulelengtes. Een module is gedefinieerd als een snelheidspatroon tussen twee stops, een stop is een periode waarbinnen het voertuig stilstaat. Een ritcyclus bestaat over het algemeen uit evenveel stops als modules. Figuur F.1 geeft een voorbeeld van 3 stops en 3 modules.



Figuur F.1 *Cyclus bestaande uit 3 stops en 3 modules*

Met behulp van de berekende gemiddelde stop- en modulelengte (zie Tabel F.1 tot en met Tabel F.3) en de gewenste ritcyclustijd wordt het aantal stops en modules dat in de ritcyclus moet voorkomen bepaald:

$$n_{stops} = n_{modules} = \frac{t_{cyclus, gewenst}}{(t_{gemiddeld, module} + t_{gemiddeld, stop})} \quad \text{Formule 3}$$

Met:

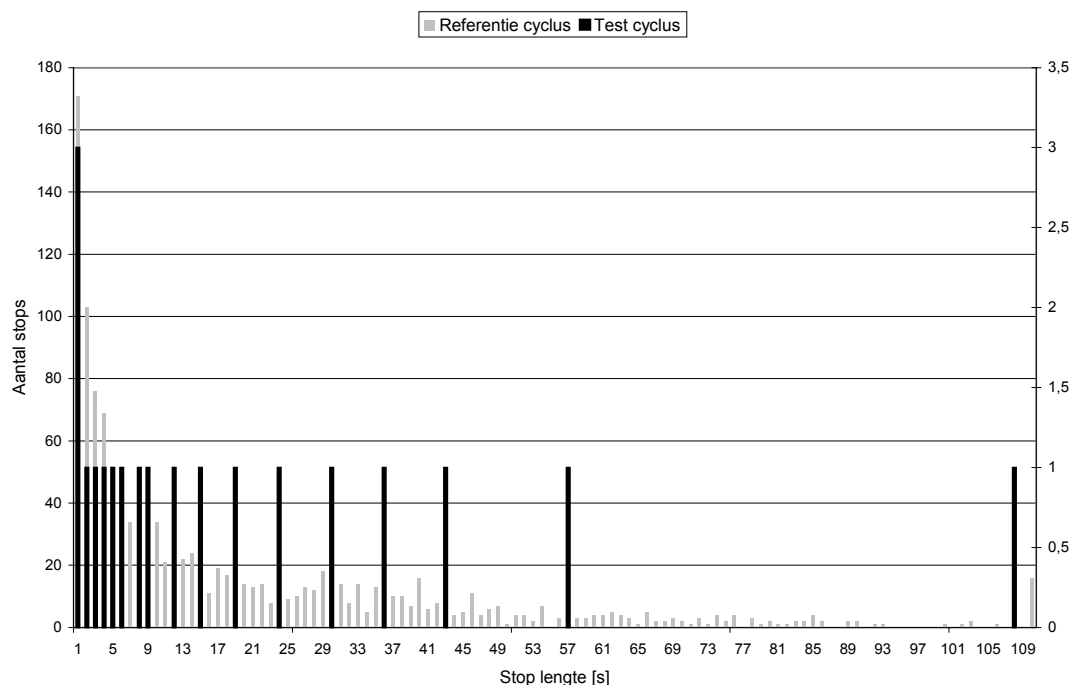
n_{stops}	=	aantal stops ritcyclus
$n_{modules}$	=	aantal modules ritcyclus
$t_{cyclus, gewenst}$	=	gewenste ritcyclustijd
$t_{gemiddeld, module}$	=	gemiddelde modulelengte referentiecycclus
$t_{gemiddeld, stop}$	=	gemiddelde stoplengte referentiecycclus

De gewenste ritcyclustijd wordt in het algemeen bij ritcycli gesteld op 1800 seconden (=30 minuten), om de karakteristieken van de referentiecycclus voldoende representatief in de ritcyclus te kunnen brengen. Om deze reden is ook in dit project gekozen voor een gewenste ritcyclustijd van 1800 seconden.

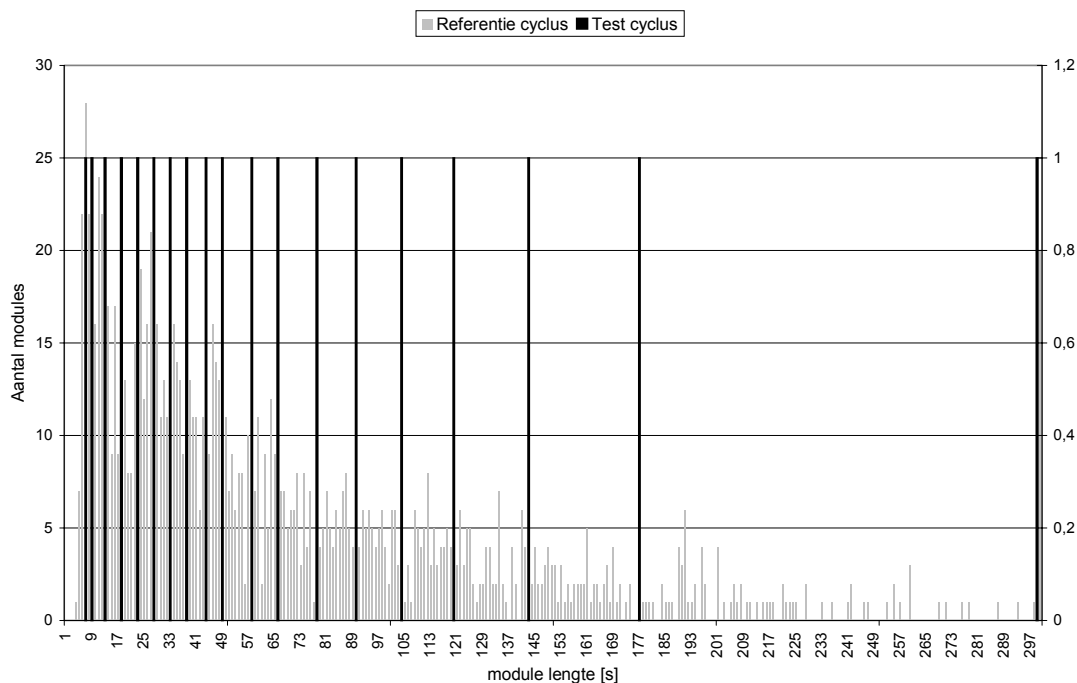
Naast het aantal moet ook de verdeling van de stop- en modulelengten in de ritcyclus zoveel mogelijk representatief zijn voor de referentiecycclus. De verdeling van de lengten in de referentiecycclus laat een transversaal golfvorm zien. Deze golfvorm moet zo goed mogelijk worden omgezet naar een longitudinale golf. Hiervoor wordt de kleinste kwadratenmethode gebruikt. Deze omzetting wordt hieronder verder uitgelegd aan de hand van een voorbeeldcyclus ('Stad 4').

In Figuur F.3 en Figuur F.4 wordt een voorbeeld gegeven voor de stop- en moduleverdeling van de referentiecycclus van 'Stad 4', die bestaat uit 1260 stops en evenzoveel modules. De gewenste cyclustijd is gesteld op 1800 seconden. Resultaat van Formule 3 is dat er in 'Stad 4' 19 stops en modules moeten voorkomen.

De transversale golf (lichte kleur) in Figuur F.2 en F.3 staat voor het aantal stops/modules (linker y-as) van de desbetreffende lengte in de referentiecycclus. De longitudinale golf die gevormd wordt door de donkere kolommen staat voor het aantal van de stop/module lengten (rechter y-as) voor de gewenste ritcycclus. De longitudinale golf is het resultaat van de kleinste kwadratenmethode.



Figuur F.2 *Verdeling stoplengte referentie- en ritcycclus*



Figuur F.3 *Verdeling modulelengte referentie- en ritcycclus*

Tabel F.4 laat als resultaat zien welke stop- en modulelengten er in ritcycclus ‘Stad 4’ voorkomen.

Tabel F.4 *Stop- en modulelengte ritcyclus 'Stad 4'*

<i>Nummer</i>	<i>Module lengte</i>	<i>Stop lengte</i>
1	7	1
2	9	1
3	13	1
4	18	2
5	23	3
6	28	4
7	33	5
8	38	6
9	44	8
10	49	9
11	58	12
12	66	15
13	78	19
14	90	24
15	104	30
16	120	36
17	143	43
18	177	57
19	299	108

De ritcyclus wordt samengesteld uit modules met de berekende lengte uit de referentiecycclus. Dit betekent dat uit de referentiecycclus van 'Stad 4' alle modules met de berekende lengten worden geselecteerd. Om een representatieve ritcyclus te kunnen maken, worden er van elke modulelengte meerdere modules gekozen. Deze modules met dezelfde lengte moeten, ten opzichte van elkaar, zoveel mogelijk variatie laten zien in hun karakteristieken om daarmee zoveel mogelijk verschillende ritcycli te maken. De ritcyclus die het meest lijkt op de referentiecycclus wordt uiteindelijk gekozen. De stops worden later aan de ritcyclus toegevoegd.

In het voorbeeld van de ritcyclus van 'Stad 4' zijn voor elke berekende modulelengte in de referentiecycclus minimaal tien opties gezocht. Door voor elke modulelengte een optie te selecteren en de geselecteerde modules van verschillende lengte met elkaar te combineren, worden minimaal 10¹⁹ verschillende ritcycli afgeleid. De ritcyclus die het meest lijkt op de referentiecycclus wordt uiteindelijk als ritcyclus gekozen. De methode en criteria die hiervoor worden gebruikt, komen later in deze bijlage aan de orde.

F.3. Aanmaken snelheid-acceleratie matrices van de referentiecycclus

In een snelheid-acceleratie matrix (VA-matrix) wordt op een eenvoudige en compacte wijze een werkelijk gereden ritpatroon gevisualiseerd. Uit de matrix kunnen alle specifieke ritparameters worden afgeleid, zoals bijvoorbeeld RPA, en is daarmee een goed uitgangspunt om de karakteristieken van de referentiecycclus weer te geven. De VA-matrix heeft een sterke correlatie met de emissies die geproduceerd worden tijdens de bijbehorende ritcyclus. De uiteindelijke ritcyclus moet daarom een zoveel mogelijk gelijke VA-matrix hebben om representatief te zijn voor de referentiecycclus.

Omdat het in dit project een hybride voertuig betreft, dat zowel elektrisch als diesel wordt gereden, wordt er per aandrijfmode een VA-matrix aangemaakt. Elke seconde van de referentiecycclus wordt geanalyseerd en komt, afhankelijk van gekozen aandrijfmode, snelheid en acceleratie terecht in een cel van de matrix.

Het aantal seconden dat in de referentiecycclus elektrisch en diesel is gereden, is bekend. Dezelfde verhouding moet ook in de uiteindelijke ritcyclus terechtkomen. Door deze verhouding te

gebruiken, wordt het aantal seconden berekend dat er in ritcyclus elektrisch danwel diesel moet worden gereden.

Dit resultaat wordt gebruikt om het totale aantal secondes van beide VA-matrices te relateren aan de lengte van de uiteindelijke ritcyclus. Daarmee ontstaat als resultaat een VA-matrix waarvan de cellen zijn gevuld met de tijd dat een combinatie van snelheid en acceleratie in een aandrijfmodes moet voorkomen in de ritcyclus. Figuur F.4 en F.5 laten de beide VA-matrices voor de ‘Stad 4’ ritcyclus zien.

Voertuig acceleratie [m/s ²]	Voertuig snelheid [km/h]									
	0..2.7	2.7..8.3	8.3..14.3	14.3..20	20..25.5	25.5..31.2	31.2..36.7	36.7..42.7	42.7..49.9	49.9..74.6
1.09..2.72	1.06	9.01	10.85	9.47	7.45	4.49	1.88	0.45	0.05	0.03
0.83..1.09	2.34	3.75	4.39	5.65	6.44	7.34	5.59	3.81	1.97	0.20
0.66..0.83	2.31	3.01	3.57	4.43	6.04	6.62	6.48	4.76	3.80	2.08
0.53..0.66	2.95	2.79	2.85	3.90	5.28	6.44	6.44	6.23	5.02	3.11
0.42..0.53	3.47	2.71	2.67	3.38	4.58	5.56	5.86	6.42	5.03	4.60
0.33..0.42	4.02	2.56	2.28	2.95	3.30	5.00	5.40	4.70	5.49	5.25
0.24..0.33	5.00	2.83	3.09	3.14	3.83	4.13	4.84	5.91	6.10	6.56
0.15..0.24	6.41	3.29	3.41	3.12	3.80	3.89	4.96	5.38	7.57	8.86
0.09..0.15	5.62	3.26	2.97	3.14	2.58	3.24	3.30	4.91	5.41	6.77
0.02..0.09	6.30	4.12	3.23	2.82	2.86	3.32	2.82	4.63	5.09	6.84
-0.04..0.02	5.68	4.63	3.71	3.26	2.67	2.94	2.89	4.39	5.82	6.29
-0.11..-0.04	6.29	5.94	4.61	3.32	3.20	3.09	3.68	4.52	5.47	5.41
-0.15..-0.11	3.44	3.90	3.06	2.89	2.32	2.49	2.79	3.26	4.27	4.61
-0.22..-0.15	5.80	3.93	3.59	3.41	3.21	2.83	3.72	4.99	6.27	7.70
-0.33..-0.22	7.72	5.16	3.96	3.78	3.35	2.95	3.12	3.44	4.55	5.98
-0.48..-0.33	6.24	5.88	4.69	4.25	3.20	3.12	2.95	2.88	2.97	3.35
-0.72..-0.48	4.21	7.58	5.53	5.28	4.40	4.24	3.89	3.38	3.38	3.26
-1.03..-0.72	2.73	6.12	5.46	5.34	4.87	4.08	3.81	3.63	3.12	2.88
-1.44..-1.03	1.09	4.75	6.09	5.28	5.22	5.86	4.67	4.02	3.09	1.70
-4.55..-1.44	0.23	2.98	5.74	6.47	6.99	6.66	5.74	3.74	2.55	1.24
										Totaal
										860

Figuur F.4 VA-matrix ritcyclus ‘Stad 4’ elektrisch (tijd in seconden, zonder stops)

Voertuig acceleratie [m/s ²]	Voertuig snelheid [km/h]									
	0..2.21	2.21..7.41	7.41..13.86	13.86..20.33	20.33..26.31	26.31..32.61	32.61..39.39	39.39..46	46..53.25	53.25..76.16
1.34..3.35	0.08	2.55	4.75	4.97	3.62	3.33	3.87	2.77	1.58	0.59
0.98..1.34	0.62	2.73	2.70	2.83	3.38	3.80	4.25	2.83	1.90	1.25
0.77..0.98	0.84	2.56	2.29	2.59	3.54	4.15	3.74	3.08	2.07	1.79
0.59..0.77	1.58	3.12	2.26	2.89	3.45	3.99	2.95	2.70	2.62	2.47
0.46..0.59	2.47	3.30	2.35	2.52	2.83	3.01	2.95	2.64	2.83	3.03
0.35..0.46	3.36	2.94	2.49	2.67	2.65	3.39	3.24	2.92	2.94	3.26
0.26..0.35	4.57	2.53	2.17	2.13	2.14	2.61	2.46	2.44	2.73	3.48
0.2..0.26	4.45	1.85	2.07	1.57	1.61	2.08	1.81	2.32	2.44	2.94
0.11..0.2	5.52	3.42	2.68	2.58	2.37	2.10	2.52	3.59	4.46	3.96
0.04..0.11	3.86	2.46	2.38	1.87	1.93	1.70	1.73	2.88	3.57	3.18
-0.02..0.04	3.57	2.49	3.45	1.94	1.90	1.63	1.60	2.22	3.38	3.38
-0.09..-0.02	3.29	2.68	2.59	1.79	1.57	1.63	1.82	2.46	2.88	3.59
-0.15..-0.09	2.86	2.80	2.26	2.49	1.55	1.58	1.78	2.65	2.67	3.33
-0.24..-0.15	3.90	2.68	2.40	2.37	2.65	2.07	2.08	2.76	3.68	4.61
-0.33..-0.24	3.26	2.49	1.90	2.14	2.14	2.07	1.85	2.52	3.08	3.42
-0.46..-0.33	2.91	3.04	2.25	2.38	2.70	2.55	2.50	3.20	3.04	3.35
-0.63..-0.46	2.41	3.17	2.31	2.79	2.20	2.47	2.71	2.67	2.64	2.53
-0.92..-0.63	1.64	3.38	3.12	3.56	3.24	2.89	3.08	2.41	1.99	1.36
-1.38..-0.92	0.71	3.21	3.51	3.57	3.39	3.41	3.23	2.32	1.61	1.43
-5.04..-1.38	0.08	1.72	3.65	4.01	4.01	3.99	3.56	2.59	1.75	0.81
										Totaal
										537

Figuur F.5 VA-matrix ritcyclus ‘Stad 4’ diesel (tijd in seconden, zonder stops)

F.4. Statistische vergelijking van de kandidaat ritcycli met de referentieritcyclus

Zoals in Paragraaf 0 uitgelegd, worden er door geselecteerde modules met elkaar te combineren, zeer veel ritcycli afgeleid. De ritcyclus die het meest lijkt op de referentieritcyclus, wordt uiteindelijk als ritcyclus gekozen. De keuze van de beste ritcyclus is gebaseerd op een statistische vergelijkingmethode van de twee VA-matrices van de referentieritcyclus en de gecreëerde ritcycli. De methode is gebaseerd op de chi-kwadrat statistiek (Beckley Smith Jr. et al. 1969). De chi-kwadrat methode vergelijkt waargenomen frequenties met verwachte frequenties. Hoe

meer de frequenties overeenkomen, hoe lager het resultaat van de chi-kwadraat methode en hoe beter de waargenomen verdeling overeenkomt met de verwachte verdeling. De chi-kwadraat wordt berekend met :

$$\chi^2 = \sum \frac{(w_k - z_k)^2}{z_k} \quad \text{Formule 4}$$

waarin:

χ^2	=	Chi-kwadraat
w_k	=	Waargenomen aantal frequenties (ritcyclus)
z_k	=	Verwachte aantal frequenties (referentiecycclus)

In de formule wordt het waargenomen aantal frequenties van een cel van de VA-matrix uit de aangemaakte ritcyclus ingevuld voor w_k . Voor het aantal verwachte frequenties (z_k) wordt de waarde van de overeenkomstige cel uit de referentiecycclus VA-matrix met de gewenste ritcyluslengte genomen.

De chi-kwadraat methode bevat twee voorwaarden waaraan zij moet voldoen:

1. De gebeurtenissen moeten onafhankelijk van elkaar plaatsvinden. Omdat op elk punt in een rit, waarbij snelheid en acceleratie bekend zijn, altijd een inschatting kan worden gemaakt voor de snelheid en acceleratie in het volgende punt, wordt niet geheel aan deze voorwaarde voldaan. Toch kan de methode gebruikt worden al moet aan het resultaat van de chi-kwadraat geen absolute waarde worden gehecht. De kleinste chi-kwadraat staat voor de waargenomen verdeling die het best overeenkomt met de verwachte verdeling.
2. Het aantal verwachte waarnemingen (z_k) mag niet te klein zijn omdat een dergelijk punt een te zware weging kan hebben op het totaalresultaat. Een minimale waarde van 5 is voorgeschreven. Hierdoor moeten een aantal cellen in de matrices worden samengevoegd. Door punten met ongeveer hetzelfde aandrijfvermogen ($V \cdot A$) samen te nemen, kan een goede nauwkeurigheid worden gehouden. Figuur F.6 laat de wijze zien waarop cellen voor de elektrische VA-matrix van 'Stad 4' zijn samengevoegd. Ook de matrix van de aangemaakte ritcyclus bevat dezelfde samengevoegde cellen. De inhoud van de samengevoegde cellen wordt gebruikt in de chi-kwadraat toets.

De vergelijkingsmethode wordt als volgt uitgevoerd: er wordt uit de geselecteerde modules uit de referentiecycclus een ritcyclus aangemaakt. Van deze ritcyclus worden de VA-matrices (diesel en elektrisch) aangemaakt en de cellen worden samengevoegd om minimaal 5 waarnemingen te krijgen per gegroepeerde cel (zie Figuur F.6). Met de chi-kwadraat toets worden de matrices van de referentie- en ritcyclus met elkaar vergeleken. Omdat er gekozen is om VA-matrices voor diesel- en elektrische mode aan te maken, heeft elke vergelijking tussen test- en referentiecycclus, twee chi-kwadraat resultaten. Het is mogelijk dat het resultaat van de elektrische chi-kwadraat test beter is dan dat van de diesel chi-kwadraat test. Deze beide resultaten zijn daarom bij elkaar opgeteld en vormen tezamen het totaalresultaat. De ritcyclus die de kleinste totaal chi-kwadraat waarde als resultaat heeft, voldoet het beste aan de referentiecycclus. De extra parameters worden gebruikt om te controleren of de gevonden ritcyclus ook op dit niveau hetzelfde is als de referentiecycclus.

Voertuig acceleratie [m/s ²]	Voertuig snelheid [km/h]									
	0..2.7	2.7..8.3	8.3..14.3	14.3..20	20..25.5	25.5..31.2	31.2..36.7	36.7..42.7	42.7..49.9	49.9..74.6
1.09..2.72	1.06	9.01	10.85	9.47	7.45	4.49	1.88	0.45	0.05	0.03
0.83..1.09	2.34	3.75	4.39	5.65	6.44	7.34	5.59	3.81	1.97	0.20
0.66..0.83	2.31	3.01	3.57	4.43	6.04	6.62	6.48	4.76	3.80	2.08
0.53..0.66	2.95	2.79	2.85	3.90	5.28	6.44	6.44	6.23	5.02	3.11
0.42..0.53	3.47	2.71	2.67	3.38	4.58	5.56	5.86	6.42	5.03	4.60
0.33..0.42	4.02	2.56	2.28	2.95	3.30	5.00	5.40	4.70	5.49	5.25
0.24..0.33	5.00	2.83	3.09	3.14	3.83	4.13	4.84	5.91	6.10	6.56
0.15..0.24	6.41	3.29	3.41	3.12	3.80	3.89	4.96	5.38	7.57	8.86
0.09..0.15	5.62	3.26	2.97	3.14	2.58	3.24	3.30	4.91	5.41	6.77
0.02..0.09	6.30	4.12	3.23	2.82	2.86	3.32	2.82	4.63	5.09	6.84
-0.04..0.02	5.68	4.63	3.71	3.26	2.67	2.94	2.89	4.39	5.82	6.29
-0.11..-0.04	6.29	5.94	4.61	3.32	3.20	3.09	3.68	4.52	5.47	5.41
-0.15..-0.11	3.44	3.90	3.06	2.89	2.32	2.49	2.79	3.26	4.27	4.61
-0.22..-0.15	5.80	3.93	3.59	3.41	3.21	2.83	3.72	4.99	6.27	7.70
-0.33..-0.22	7.72	5.16	3.96	3.78	3.35	2.95	3.12	3.44	4.55	5.98
-0.48..-0.33	6.24	5.88	4.69	4.25	3.20	3.12	2.95	2.88	2.97	3.35
-0.72..-0.48	4.21	7.58	5.53	5.28	4.40	4.24	3.89	3.38	3.38	3.26
-1.03..-0.72	2.73	6.12	5.46	5.34	4.87	4.08	3.81	3.63	3.12	2.88
-1.44..-1.03	1.09	4.75	6.09	5.28	5.22	5.86	4.67	4.02	3.09	1.70
-4.55..-1.44	0.23	2.98	5.74	6.47	6.99	6.66	5.74	3.74	2.55	1.24

Figuur F.6 VA-matrix ritcyclus 'Stad 4' elektrisch (met samengevoegde cellen)

F.5. Afronden van de ritcyclus

Nadat de definitieve modules zijn geselecteerd die de ritcyclus moeten vormen, moeten deze tezamen met de stops op een representatieve wijze achter elkaar worden geplaatst. Het achter elkaar plaatsen van de stops en modules is alleen van toepassing op de Stad en Buitenweg ritcyclus, omdat deze meer dan 1 stop en module bevatten. Daarbij zijn volgende criteria gebruikt:

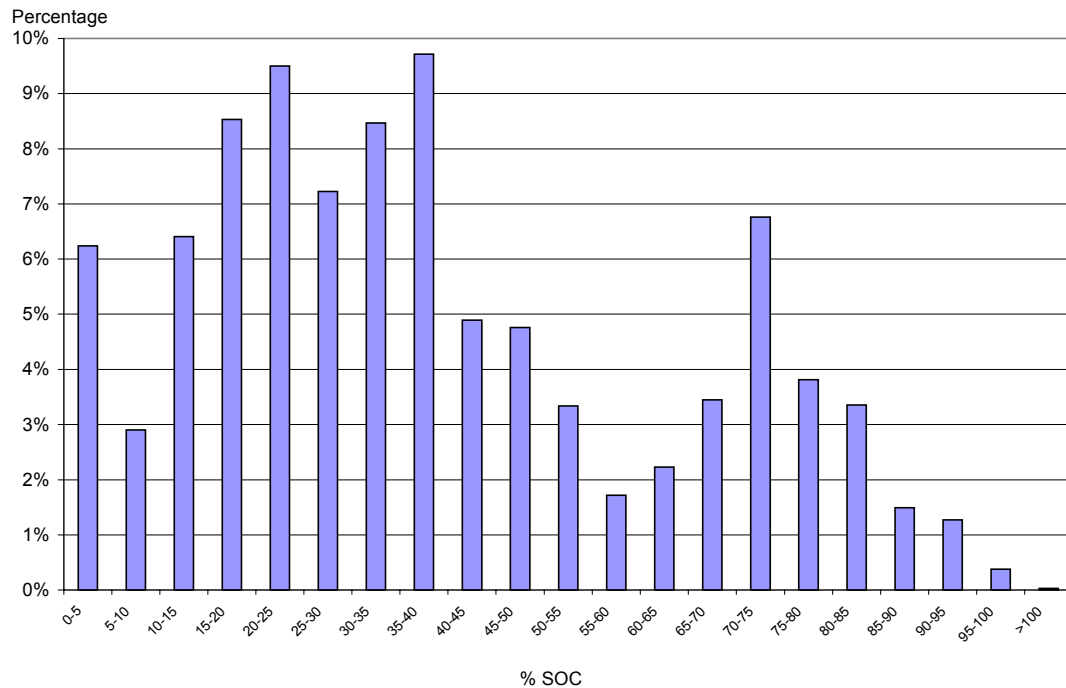
- In de stadsritten zijn korte modules veelal geplaatst aan het begin van de ritcyclus, zoals ook bij wegrijden uit de stad gebeurt.
- Lange modules worden in de stadscyclus veelal aan het eind van de ritcyclus geplaatst, waarbij het rijden naar een buitenweg of snelweg wordt nagebootst.
- Aan korte modules met lage gemiddelde snelheid worden korte stops toegevoegd, als zijnde rijden in een file.
- Aan een lange module wordt een lange stop toegevoegd omdat dit kan worden gezien als wachten voor een stoplicht dat zorgt voor de verbinding met de buitenweg.
- Bij het plaatsen van de modules is eveneens rekening gehouden met de verdeling van de ladingstoestand van de tractiebatterij. Er is per referentiecycclus gekeken naar het verloop van de ladingstoestand van de tractiebatterij. Resultaat van de analyse zijn verdelingen zoals weergegeven in Figuur F.7. Met behulp van de gemiddelde ladingstoestand van de tractiebatterij tijdens de referentiecycclus en de verdeling daarvan, is gekozen voor een begintoestand van de tractiebatterij. Omdat per gekozen module van de ritcyclus de ladingstoestand van de tractiebatterij bekend is, worden de modules in een volgorde geplaatst zo dat de verdeling zo goed mogelijk wordt gevolgd.

Ook zijn een aantal andere karakteristieke gegevens van de referentiecycli toegepast in de ritcyclus:

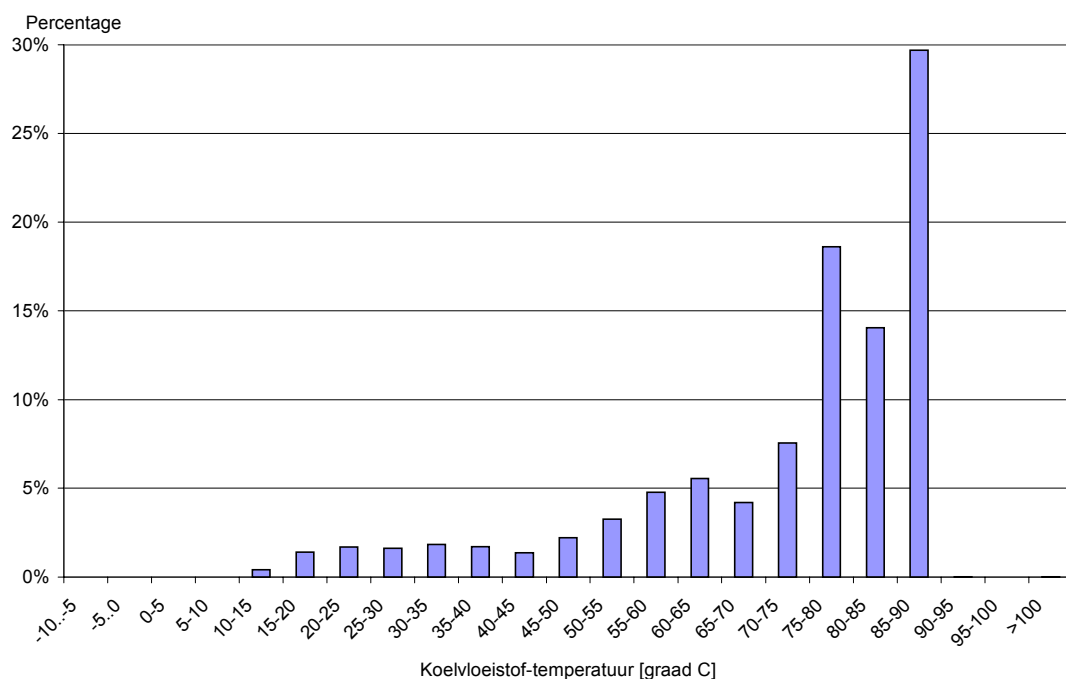
- **Temperatuur van de dieselmotor:** Voor elke referentiecycclus is een analyse uitgevoerd naar de verdeling van de temperatuur van de dieselmotor. Het resultaat voor de referentiecycclus 'Stad 4' is in Figuur F.8 gegeven. Deze verdeling van de referentiecycclus moet zo goed mogelijk overeenkomen met de verdeling in de ritcyclus. Uit deze analyses zijn onderstaande conclusies getrokken:
 - Alle stadscyclus worden gereden met koud geconditioneerde dieselmotor, (olie- en koelvloeistoftemperatuur 20-25 °C).
 - Buitenweg en snelwegcycli worden altijd met dieselmotor op bedrijfstemperatuur gereden (olie- en koelvloeistoftemperatuur 90 °C), zie Figuur F.9.
- **Schakelpunten in elektrisch en dieselbedrijf:** Voor elke referentiecycclus is nagegaan bij welke snelheid er van versnelling is overgeschakeld, voor zowel op- als terugschakelen en

voor zowel elektrisch als dieselbedrijf. Per referentiecyclus is bij elk schakelpunt de snelheid bepaald waarbij wordt overgeschakeld. Vanuit alle voorgekomen snelheden per schakelpunt is een gemiddelde snelheid voor elk schakelpunt bepaald dat wordt gebruikt in de ritcyclus. Figuur F.10 is het resultaat voor referentiecyclus 'Stad 4'. De ritten die met het referentievoertuig (alleen op diesel rijden) worden verreden, krijgen de schakelpunten tijdens dieselbedrijf.

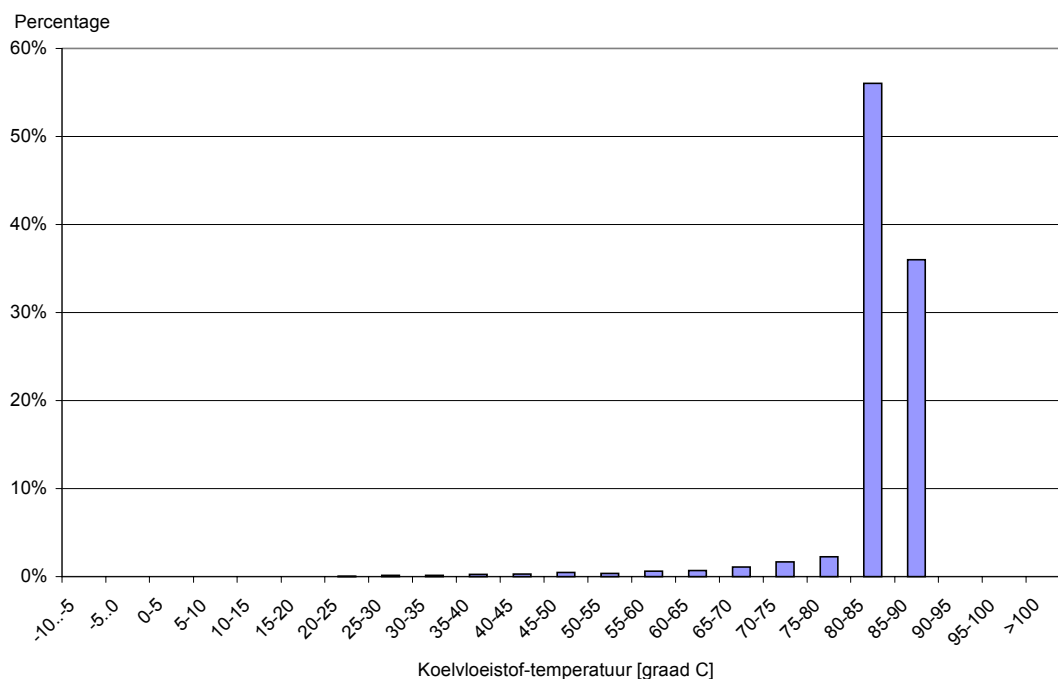
Figuur F.14 geeft de uiteindelijke ritcyclus van 'Stad 4' weer.



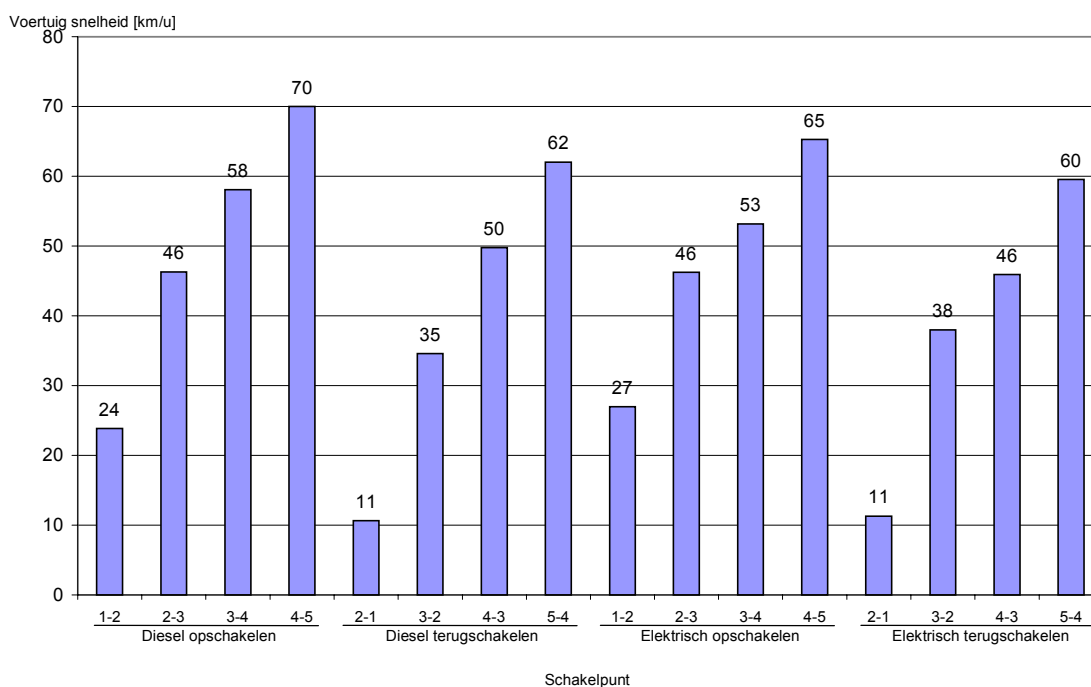
Figuur F.7 Verdeling ladingstoestand tractiebatterij (SOC) referentiecyclus 'Stad 4'



Figuur F.8 Verdeling dieselmotor temperatuur referentiecyclus 'Stad 4'



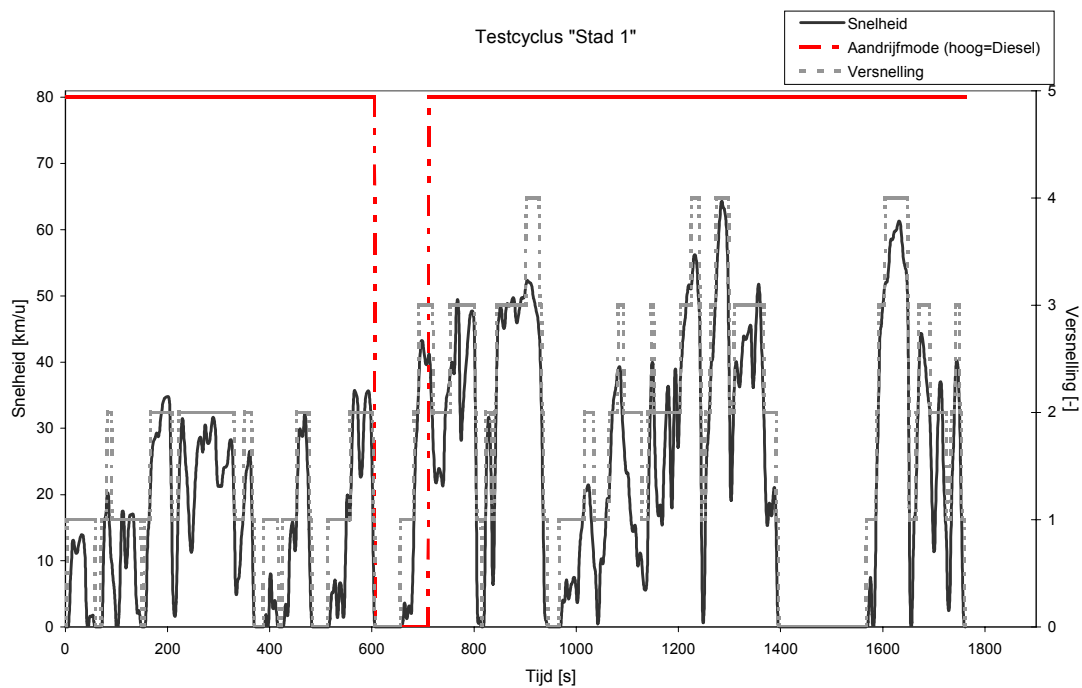
Figuur F.9 *Verdeling dieselmotor temperatuur referentiecycclus 'Buitenweg 1'*



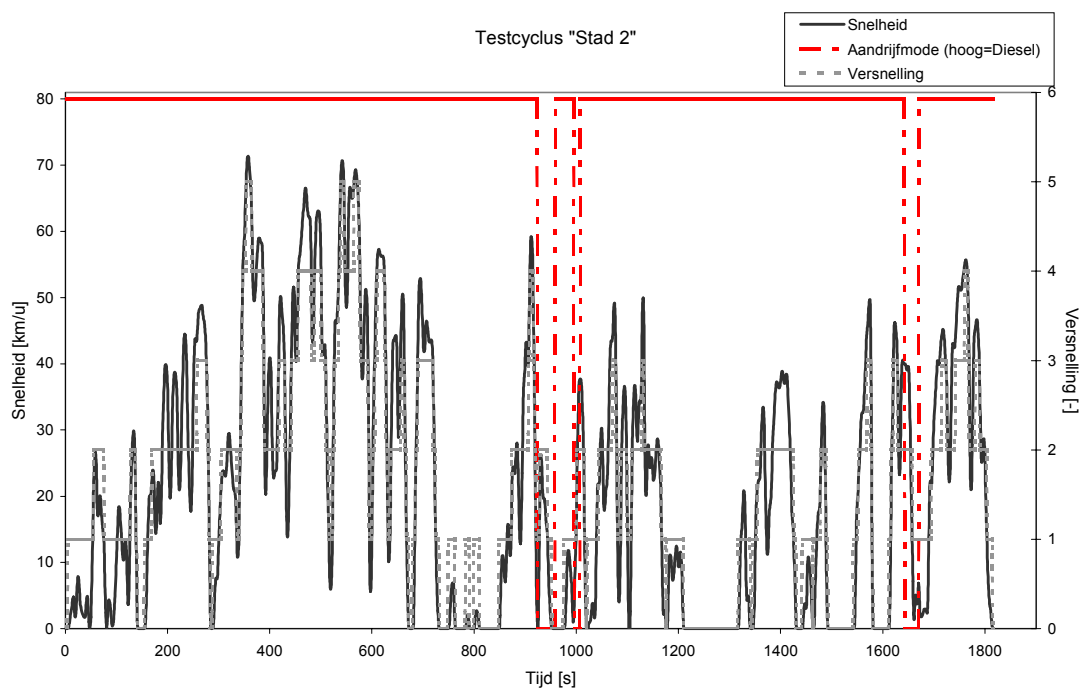
Figuur F.10 *Schakelpunten referentiecycclus 'Stad 4' voor elektrisch en dieselbedrijf, op- en terugschakelen*

F.6. Grafische weergave van de 14 ontwikkelde ritcycli

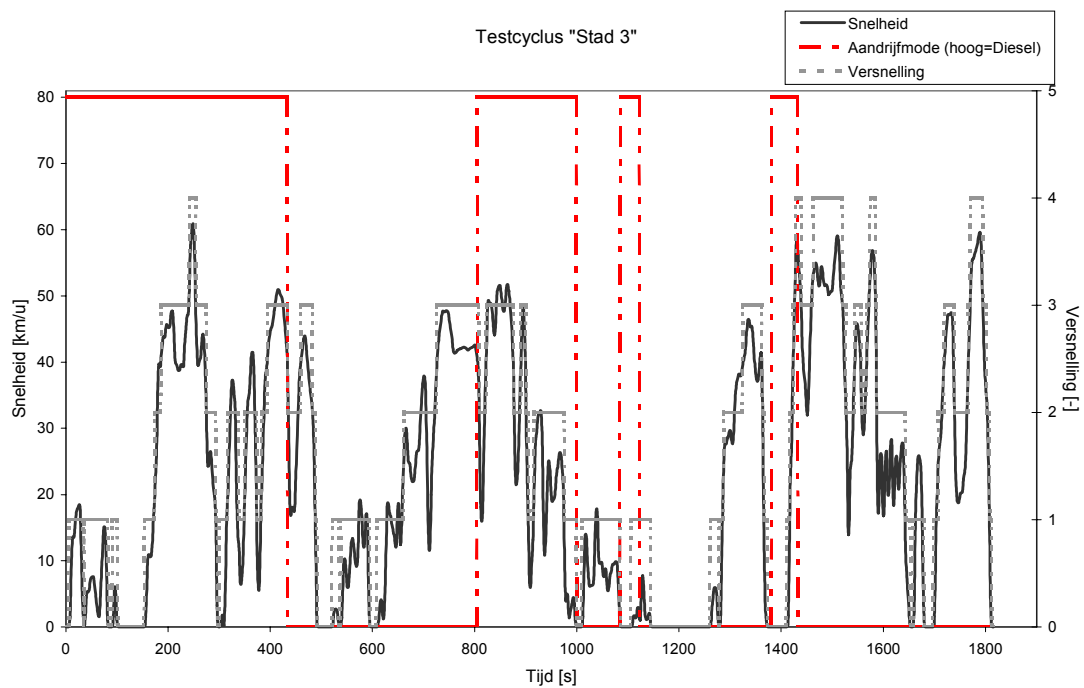
In Figuur F.11 tot en met Figuur F.24 zijn de 14 ontwikkelde ritcycli voor de Audi duo en het referentievoertuig weergegeven. Hierin komen het snelheids-tijd patroon naar voren, zijn de schakelpunten zichtbaar gemaakt en is aangegeven op welk punt er diesel of elektrisch moet worden gereden.



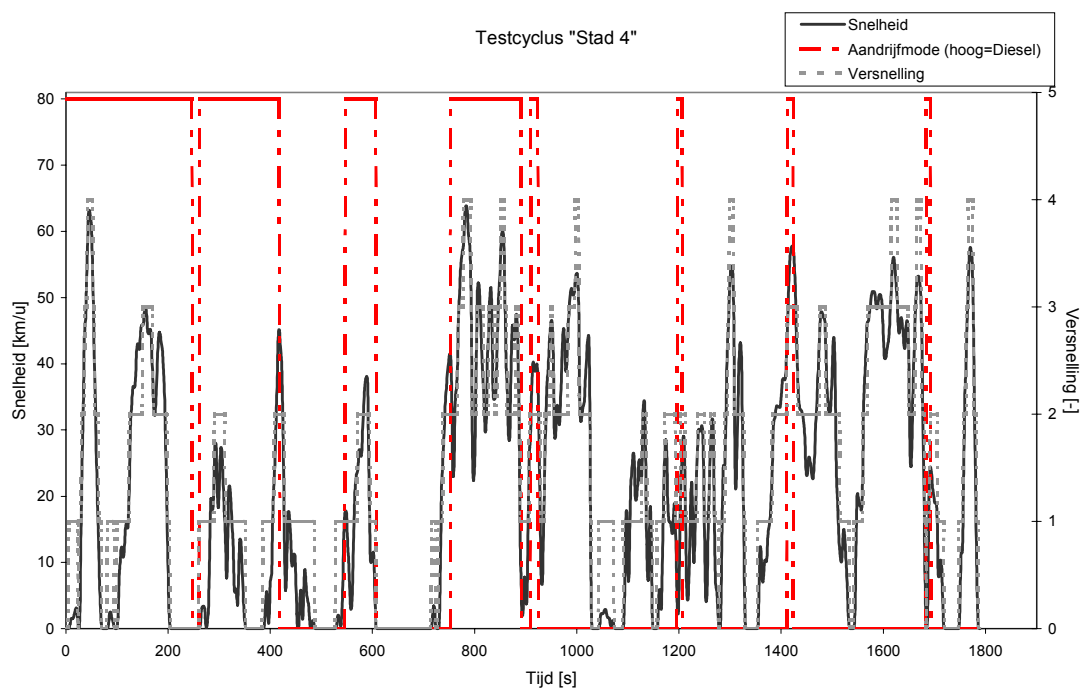
Figuur F.11 Ritcyclus 'Stad 1'



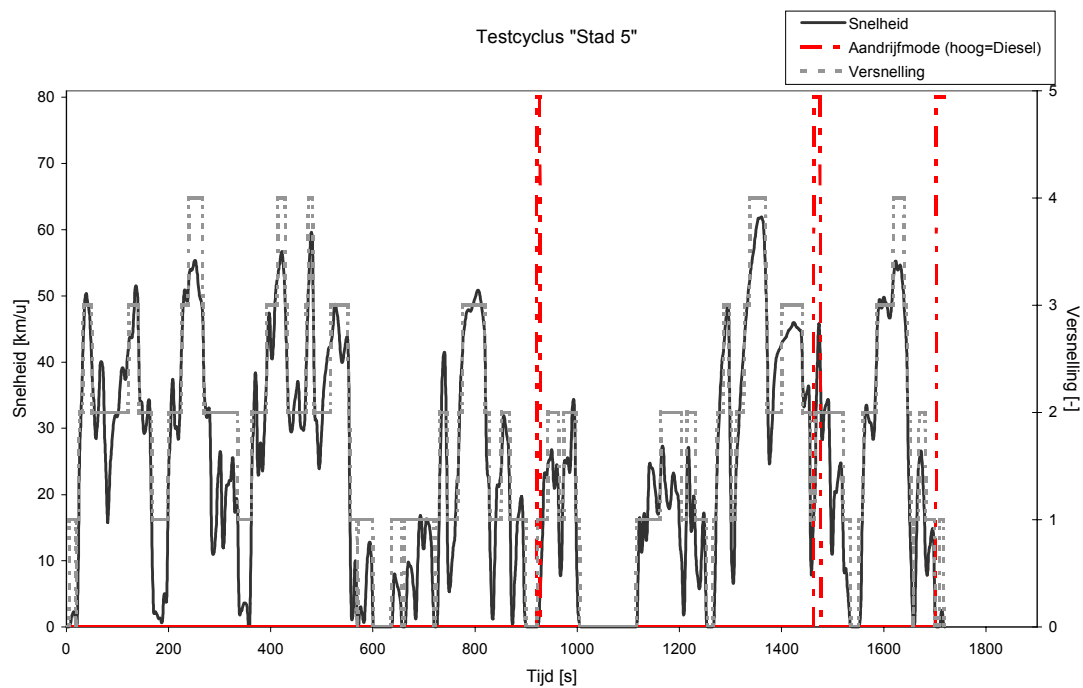
Figuur F.12 Ritcyclus 'Stad 2'



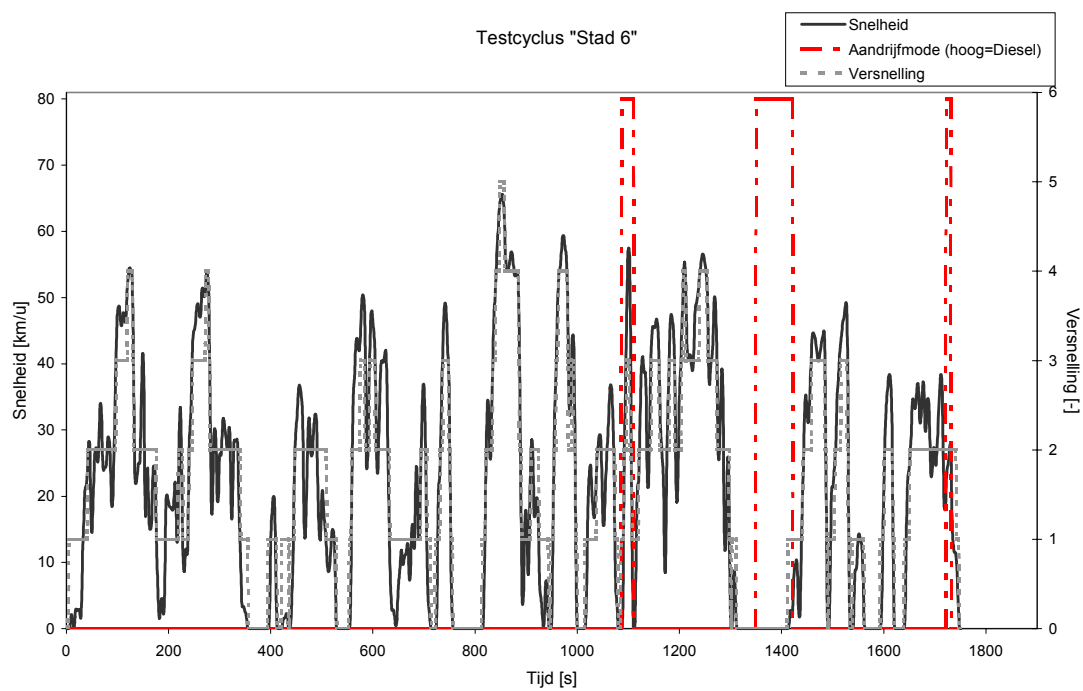
Figuur F.13 Ritcyclus 'Stad 3'



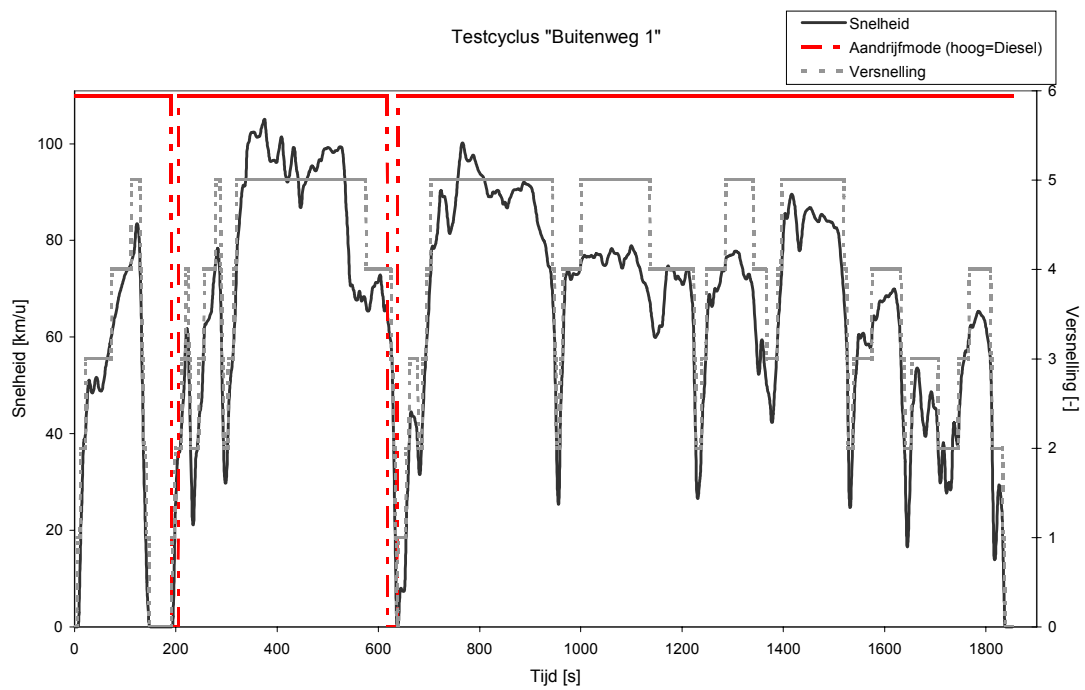
Figuur F.14 Ritcyclus 'Stad 4'



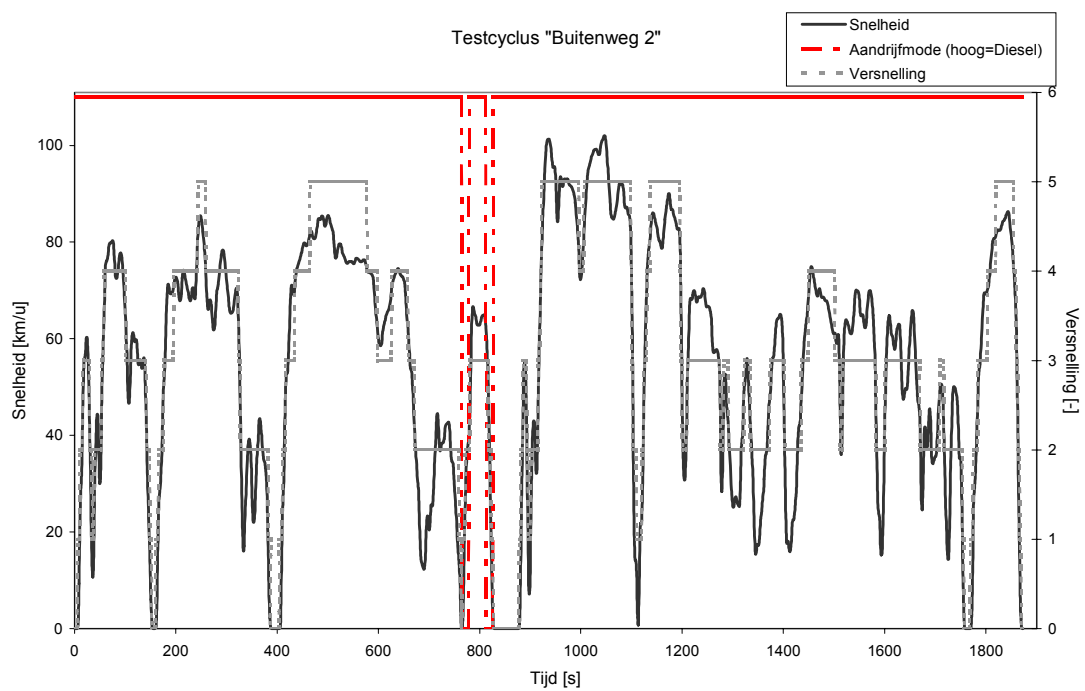
Figuur F.15 Ritecyclus 'Stad 5'



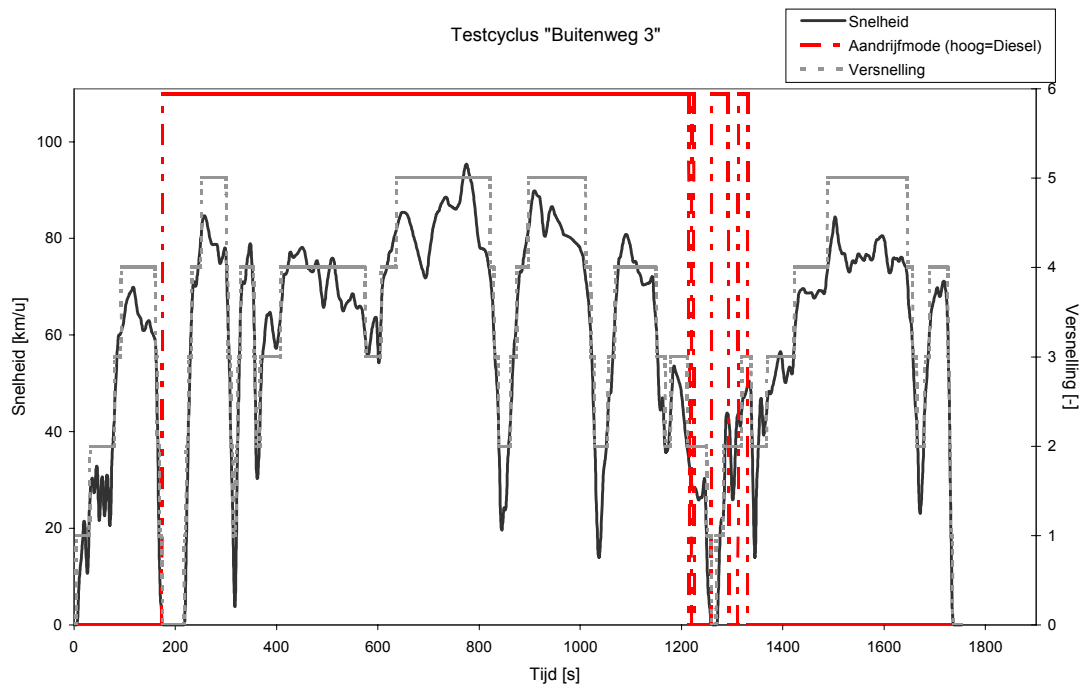
Figuur F.16 Ritecyclus 'Stad 6'



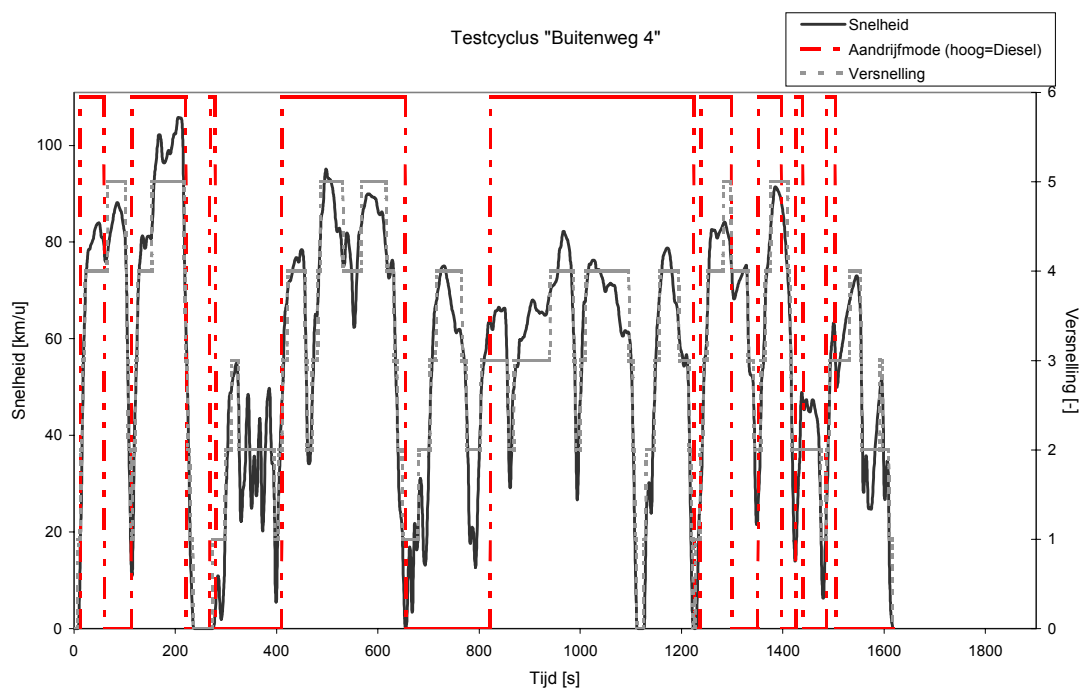
Figuur F.17 Ritcyclus 'Buitenweg 1'



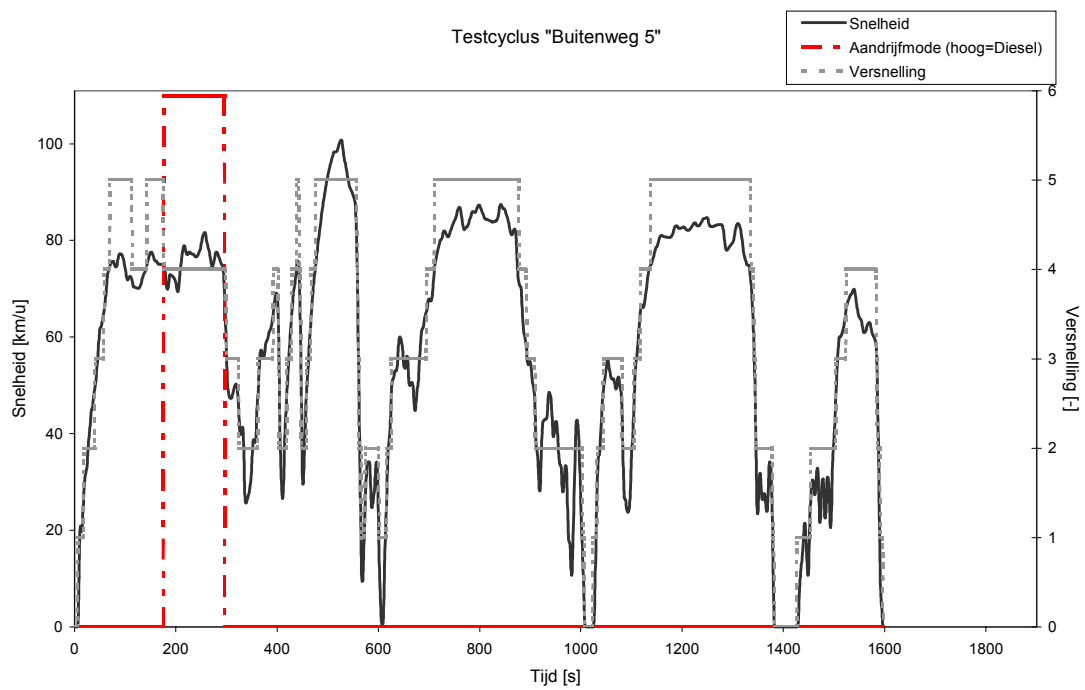
Figuur F.18 Ritcyclus 'Buitenweg 2'



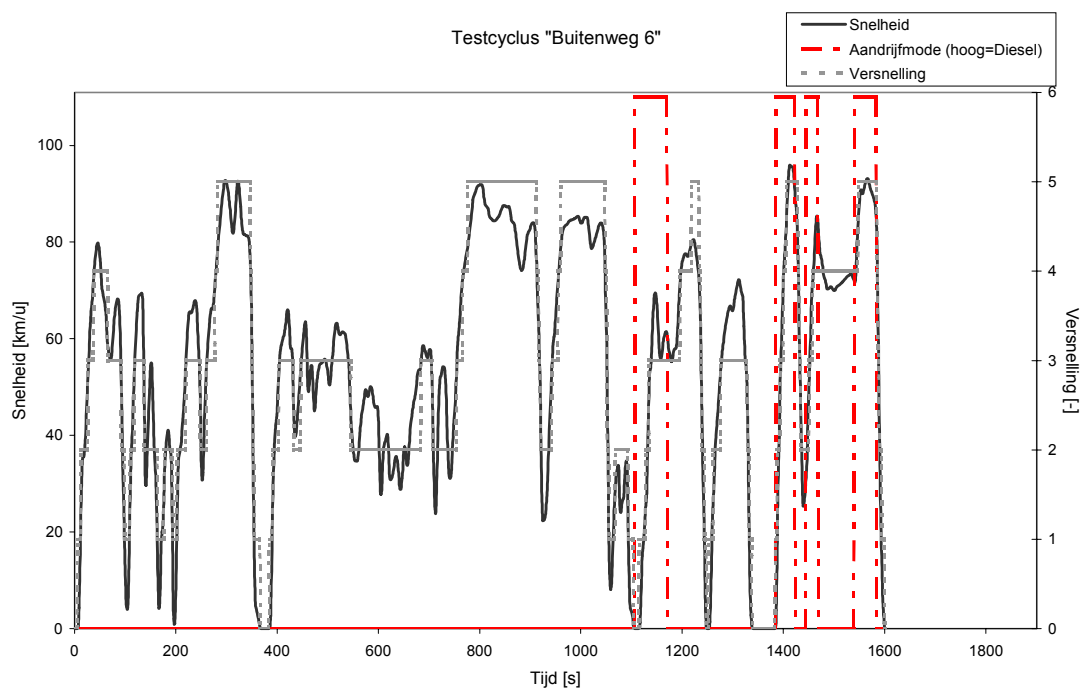
Figuur F.19 Ritcyclus 'Buitenweg 3'



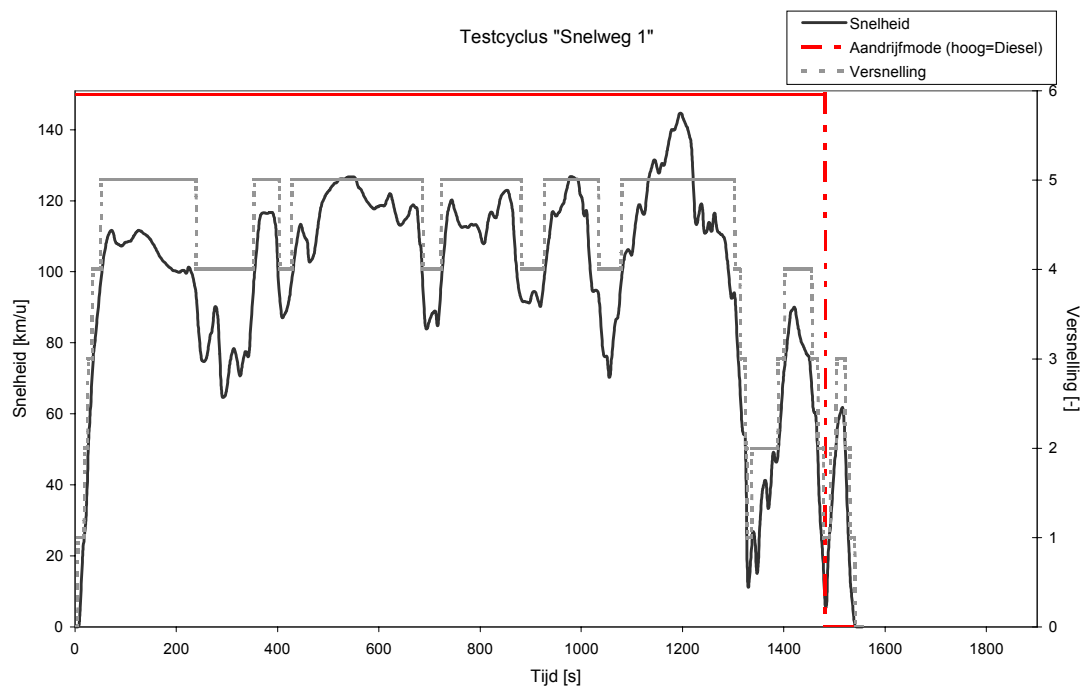
Figuur F.20 Ritcyclus 'Buitenweg 4'



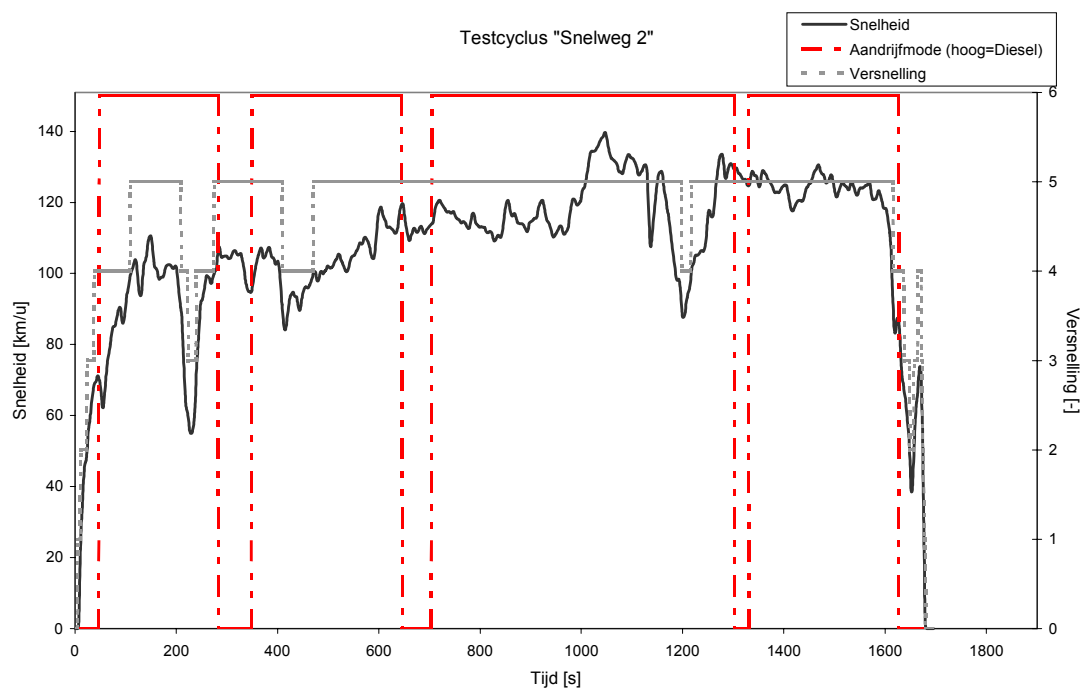
Figuur F.21 Ritcyclus 'Buitenweg 5'



Figuur F.22 Ritcyclus 'Buitenweg 6'



Figuur F.23 Ritcyclus 'Snelweg 1'



Figuur F.24 Ritcyclus 'Snelweg 2'

G. ACHTERGROND ROLLENBANKMETINGEN

In deze bijlage wordt informatie gegeven over de uitgevoerde rollenbankmetingen. Tijdens de rollenbankmeting moeten de rijweerstanden van het voertuig op de weg zo goed mogelijk worden gesimuleerd. Om dit voor elkaar te krijgen zijn een aantal gegevens nodig:

- Opgave instellingen fabrikant.
- Reeds aanwezige verliezen in rollenbank.

Ook is tijdens het uitvoeren van de rollenbankmetingen rekening gehouden met:

- Speciale aandachtspunten (bijvoorbeeld gebruik duo schakelaar).
- Conditionering voertuig vóór rijden ritcycli.

Deze vier punten worden ieder afzonderlijk in deze bijlage behandeld.

G.1. Opgave instellingen fabrikant

Om een voertuig op correcte wijze op een rollenbank te meten zijn twee gegevens belangrijk:

- Gewicht van het voertuig (massatraagheid). Dit is bepaald door het voertuig voorafgaand aan de metingen te wegen en de inhoud van de tank en het gewicht van de bestuurder daarbij op te tellen op dezelfde manier zoals ook voorgeschreven is in de typegoedkeuringstest.
- Rijweerstand parameters van het voertuig, dit is een opgave van de fabrikant die deze heeft bepaald met uitloopprouwen op de weg. Deze parameters zijn de constanten A, B en C in Formule 5. Hiermee wordt afhankelijk van de snelheid de rijweerstand (in Newton) van het voertuig bepaald:

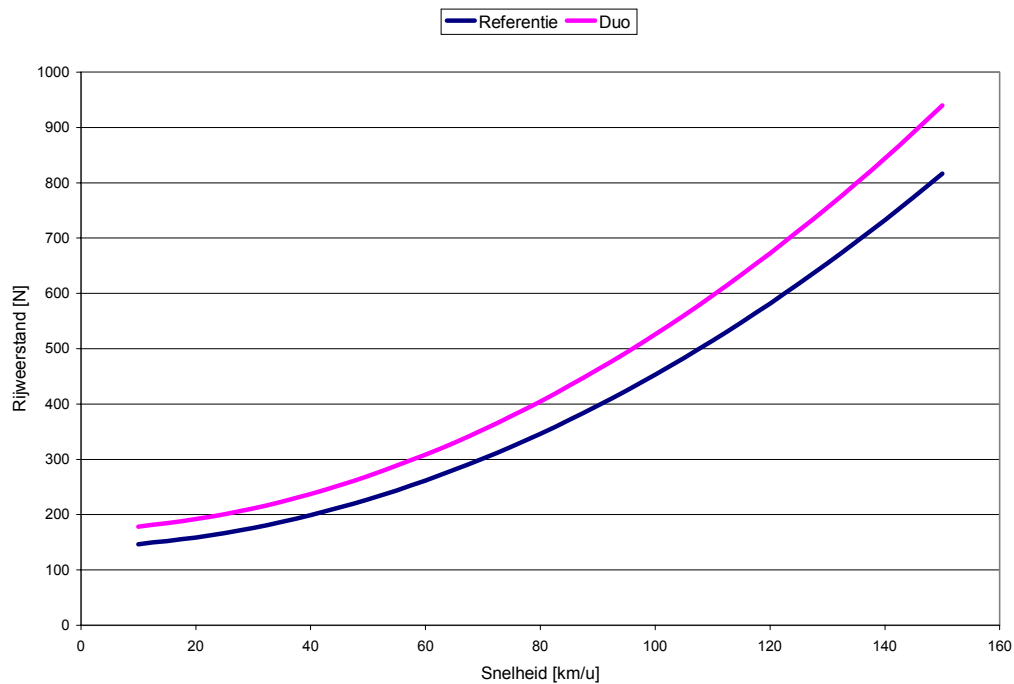
$$F_{\text{rijweers tan d}} = A \times v^2 + B \times v + C \quad \text{Formule 6}$$

Van de importeur zijn de gegevens met betrekking tot het referentievoertuig verkregen. De opgaven van de Audi duo zijn door de fabrikant verstrekt (zie Tabel G.1):

Tabel G.1 Rijweerstandsverliezen op de weg volgens opgave fabrikant

Voertuig	Gewicht [kg]	A	B	C
Referentie voertuig	1470	0.0276	0.37	140
Audi duo	1810	0.0315	0.40	171

In Figuur G.1 zijn met behulp van de parameters A, B en C de rijweerstandcurven voor het referentie voertuig en de Audi duo weergegeven.



Figuur G.1 *Rijweerstand op de weg van Audi duo en referentievoertuig*

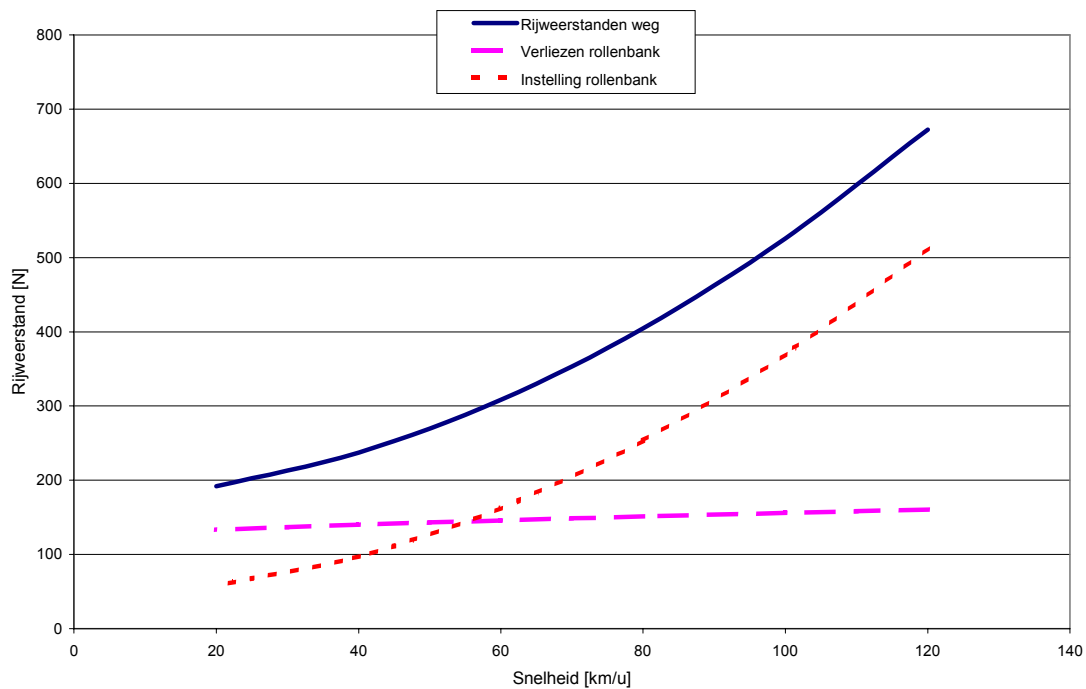
G.2. Instellingen rollenbank

Het gewicht van het voertuig wordt op de rollenbank met behulp van vliegwielen ingesteld. Op de rollenbank wordt de wegsituatie gesimuleerd. De rijweerstanden die in werkelijkheid op de weg optreden moeten op een correcte manier worden ingesteld. Bij het plaatsen van een voertuig op rollenbank zijn reeds rijweerstanden aanwezig, bijvoorbeeld energie die verloren gaat door het rol-band contact. Om dit verlies te compenseren moet de instelling van de rollenbank worden aangepast, zodat de totale rijweerstanden hetzelfde zijn als de situatie op de weg. Hiervoor wordt een zogenaamde nulmeting uitgevoerd. Deze is een aantal malen uitgevoerd en gecontroleerd. De rollenbank is ingesteld met de waarden uit Tabel G.2. Deze instellingen gelden alleen voor de rollenbank waarop de voertuigen zijn getest en kunnen niet op andere rollenbanken worden gebruikt!

Tabel G.2 *Instellingen rollenbank na bepalen verliezen rollenbank*

Voertuig	Gewicht [kg]	A	B	C
Referentie	1470	396	1	12
Audi duo	1810	465	3	45

Figuur G.2 geeft voor de Audi duo de verklaring van de nulmeting (bepalen verliezen doordat voertuig op de rollenbank is geplaatst), de instelling van de rollenbank en de rijweerstandverliezen op de weg.



Figuur G.2 *Rijkweerstand instelling rollenbank met verliezen rollenbank en rijkweerstand op de weg*

G.3. Speciale aandachtspunten rollenbankmetingen

Tijdens de ritcycli die zijn gereden op de rollenbank is rekening gehouden met het gedrag en de extra componenten van de Audi duo:

- De duo schakelaar wordt door de bestuurder bediend, zodat deze beslist of er diesel of elektrisch wordt gereden. De duo stand wordt nooit gekozen.
- De externe standkachel verwarmt het koelsysteem van de dieselmotor. Door de kachel aan te zetten, wordt de motor daardoor sneller warm. Alle ritten zijn verreden met uitgeschakelde kachel.
- Als het ABS systeem een foutmelding geeft, wordt de tractiebatterij niet geladen vanuit dieselbedrijf. Dit verschijnsel treedt op bij de rollenbankmetingen. Doordat de voorwielen draaien maar de achterwielen stilstaan, treedt er een foutmelding in het ABS-systeem op. Dit probleem is opgelost door het signaal van de voorwielen te verbinden met het signaal van de achterwielen. Het ABS systeem meet op deze manier voor elk wiel dezelfde snelheid. Het laden van de tractiebatterij op dieselbedrijf is afhankelijk van het snelheidssignaal van de achterwielen. Bijkomend voordeel is dat het meet- en registratiesysteem dan ook de voertuigsnelheid tijdens het rijden van de ritcycli op de rollenbank logt. Hierdoor kunnen de meetgegevens direct worden gebruikt.
- Tijdens een van de eerste metingen is het voorgekomen dat de motor afsloeg. Tijdens de rollenbankmetingen staat de motorkap altijd open om ervoor te zorgen dat de motor genoeg gekoeld wordt. Een schakelaar wordt gebruikt om te controleren of de motorkap open of dicht is. Deze schakelaar bleek de oorzaak te zijn van het afslaan van de motor. Tijdens de metingen is ervoor gezorgd dat deze schakelaar dezelfde status had als ware de motorkap gesloten.

G.4. Conditionering voertuig voor rijden ritcycli

Uit de analyses die zijn uitgevoerd, zijn per ritcyclus een aantal conditioneringsparameters opgesteld waarmee de rit op de rollenbank moet worden begonnen (zie Bijlage) In Tabel G.3 zijn deze opgesomd.

Tabel G.3 Conditionering SOC en motortemperatuur tijdens ritcycli

Ritcyclus	SOC [%]	Motortemperatuur [°C]
Stad 1	30	20
Stad 2	30	20
Stad 3	45	20
Stad 4	45	20
Stad 5	60	20
Stad 6	70	20
Buitenweg 1	25	90
Buitenweg 2	25	90
Buitenweg 3	50	90
Buitenweg 4	50	90
Buitenweg 5	95	90
Buitenweg 6	90	90
Snelweg 1	20	90
Snelweg 2	35	90

Met behulp van de aanwezige meetapparatuur zijn deze parameters gecontroleerd en is met de ritcyclus begonnen op het moment dat de parameter de voorgeschreven waarde had.

Onderstaande regels zijn eveneens in acht genomen voor conditionering van het voertuig:

- Voor de te rijden stadsritten wordt de dieselmotor van het voertuig minimaal 12 uur niet gestart. Het voertuig wordt in een ruimte geplaatst waarvan de temperatuur tussen 20°C en 25°C wordt gehouden. Voordat het voertuig 12 uur niet wordt gebruikt, wordt ervoor gezorgd dat de motor voldoende lang op bedrijfstemperatuur is geweest.
- Voor het rijden van de buitenweg- en snelwegritten wordt het voertuig op bedrijfstemperatuur gebracht. Vervolgens wordt er 10 minuten lang met een constante snelheid tussen 80 en 100 (km/u) gereden om de beginsituatie van elke te rijden buitenweg- of snelwegrit dezelfde te laten zijn.
- De energie-inhoud van de tractiebatterij wordt, afhankelijk van de gewenste waarde, verkregen door de tractiebatterij te ontladen door elektrisch rijden of op te laden via stopcontact of door laden in dieselbedrijf.

H. EMISSIERESULTATEN

Tabel H.1 *Emissies elektriciteitsopwekking (bron: Kroon)*

Component	Emissies [g/kWh]
CO	0,214
VOS (HC)	0,0139
NO _x	0,5
CO ₂	532
Deeltjes (PM)	0,0083

Tabel H.2 *Emissies productie dieselbrandstof*

	CO	HC (incl. CH ₄)	NO _x	PM	SO ₂	CO ₂	Energie- gebruik
Eenheid	[g/l]	[g/l]	[g/l]	[g/l]	[g/l]	[g/l]	[MJ/l]
Totaal	1,49	2,18	0,94	0,09	3,02	327	4,53

Tabel H.2 *Emissies referentievoertuig voor stad ritcycli*

Emissiecomponent	Stad 1	Stad 2	Stad 3	Stad 4	Stad 5	Stad 6	Eenheid
CO referentie	0,44	0,24	0,30	0,31	0,20	0,28	[g/km]
HC referentie	0,11	0,06	0,08	0,08	0,08	0,10	[g/km]
NO _x referentie	0,71	0,95	0,61	0,78	0,60	0,78	[g/km]
PM referentie	0,037	0,030	0,031	0,042	0,038	0,054	[g/km]
SO ₂ referentie	0,039	0,043	0,036	0,043	0,038	0,044	[g/km]
CO ₂ referentie	202	223	187	224	198	230	[g/km]
Brandstofverbruik referentie	7,59	8,35	7,03	8,42	7,41	8,63	[l/100 km]
Energiegebruik referentie	2,72	2,99	2,52	3,02	2,66	3,10	[MJ/km]

Compensatie voor optredende indirecte emissies bij dieselproductie

CO indirect (dieselproductie)	0,11	0,12	0,10	0,13	0,11	0,13	[g/km]
HC indirect (dieselproductie)	0,17	0,18	0,15	0,18	0,16	0,19	[g/km]
NO _x indirect (dieselproductie)	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	[g/km]
PM indirect (dieselproductie)	0,007	0,008	0,006	0,008	0,007	0,008	[g/km]
SO ₂ indirect (dieselproductie)	0,23	0,25	0,21	0,25	0,22	0,26	[g/km]
CO ₂ indirect (dieselproductie)	25	27	23	28	24	28	[g/km]
Energiegebruik indirect (dieselproductie)	0,34	0,38	0,32	0,38	0,34	0,39	[MJ/km]

Tabel H.3 *Emissies referentievoertuig voor buitenweg ritcycli*

Emissiecomponent	Buitenweg 1	Buitenweg 2	Buitenweg 3	Buitenweg 4	Buitenweg 5	Buitenweg 6	Eenheid
CO referentie	0,014	0,023	0,013	0,022	0,019	0,026	[g/km]
HC referentie	0,014	0,023	0,015	0,019	0,020	0,027	[g/km]
NO _x referentie	0,45	0,75	0,46	0,57	0,49	0,70	[g/km]
PM referentie	0,027	0,046	0,018	0,042	0,033	0,051	[g/km]
SO ₂ referentie	0,022	0,027	0,023	0,026	0,025	0,029	[g/km]
CO ₂ referentie	114	140	123	138	130	151	[g/km]
Brandstofverbruik referentie	4,27	5,24	4,6	5,17	4,88	5,64	[l/100 km]
Energiegebruik referentie	1,53	1,88	1,65	1,85	1,75	2,02	[MJ/km]

Compensatie voor optredende indirecte emissies bij dieselproductie

CO indirect (dieselproductie)	0,06	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	[g/km]
HC indirect (dieselproductie)	0,09	0,11	0,10	0,11	0,11	0,12	[g/km]
NO _x indirect (dieselproductie)	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	[g/km]
PM indirect (dieselproductie)	0,004	0,005	0,004	0,005	0,005	0,005	[g/km]
SO ₂ indirect (dieselproductie)	0,13	0,16	0,14	0,16	0,15	0,17	[g/km]
CO ₂ indirect (dieselproductie)	14	17	15	17	16	18	[g/km]
Energiegebruik indirect (dieselproductie)	0,19	0,24	0,21	0,23	0,22	0,26	[MJ/km]

Tabel H.4 *Emissies referentievoertuig voor snelweg ritcycli*

Emissiecomponent	Snelweg1	Snelweg2	Eenheid
CO referentie	0,015	0,016	[g/km]
HC referentie	0,013	0,011	[g/km]
NO _x referentie	0,64	0,78	[g/km]
PM referentie	0,086	0,052	[g/km]
SO ₂ referentie	0,025	0,026	[g/km]
CO ₂ referentie	133	137	[g/km]
Brandstofverbruik referentie	4,96	5,11	[l/100 km]
Energiegebruik referentie	1,78	1,83	[MJ/km]

Compensatie voor optredende indirecte emissies bij dieselproductie

CO indirect (dieselproductie)	0,07	0,08	[g/km]
HC indirect (dieselproductie)	0,11	0,11	[g/km]
NO _x indirect (dieselproductie)	0,05	0,05	[g/km]
PM indirect (dieselproductie)	0,005	0,005	[g/km]
SO ₂ indirect (dieselproductie)	0,15	0,15	[g/km]
CO ₂ indirect (dieselproductie)	16	17	[g/km]
Energiegebruik indirect (dieselproductie)	0,22	0,23	[MJ/km]

Tabel H.5 Resultaten rollenbankmetingen ritcycli Stad Audi duo in duo bedrijf

Emissiecomponent/parameter	Stad1	Stad2	Stad3	Stad4	Stad5	Stad6	Eenheid
CO duo	0,21	0,15	0,16	0,10	0,04	0,05	[g/km]
HC duo	0,04	0,04	0,03	0,011	0,005	0,008	[g/km]
NO _x duo	1,06	1,79	0,47	0,56	0,02	0,08	[g/km]
PM duo	0,039	0,064	0,030	0,031	0,004	0,006	[g/km]
SO ₂ duo	0,051	0,060	0,025	0,026	0,001	0,003	[g/km]
CO ₂ duo	264,6	314,5	128,7	136,3	5,8	15,7	[g/km]
Brandstofverbruik duo	9,91	11,78	4,83	5,11	0,22	0,59	[l/100 km]
Energiegebruik duo	3,55	4,23	1,73	1,83	0,08	0,21	[MJ/km]
<i>Compensatie voor ladingstoestand batterij</i>							
Delta Ah tractiebatterij	-4,44	-5,93	1,95	3,24	8,28	9,74	[Ah]
kWh for Delta Ah compensation	-2,58	-3,45	1,13	1,88	4,82	5,67	[kWh]
Verreden afstand	9,93	10,9	11,23	10,29	11,34	10,49	[km]
CO E-Centrale	-0,06	-0,07	0,02	0,04	0,09	0,12	[g/km]
VOS E-Centrale	-0,004	-0,004	0,001	0,003	0,006	0,008	[g/km]
NO _x E-Centrale	-0,13	-0,16	0,05	0,09	0,21	0,27	[g/km]
PM E-Centrale	-0,002	-0,003	0,001	0,002	0,004	0,005	[g/km]
SO ₂ E-Centrale	-0,034	-0,041	0,013	0,024	0,055	0,070	[g/km]
CO ₂ E-Centrale	-138	-168	54	97	226	287	[g/km]
Energiegebruik E-Centrale	-2,3	-2,7	0,9	1,6	3,7	4,7	[MJ/km]
<i>Compensatie voor optredende indirecte emissies bij dieselproductie</i>							
CO indirect (dieselproductie)	0,15	0,18	0,07	0,08	0,00	0,01	[g/km]
HC indirect (dieselproductie)	0,22	0,26	0,11	0,11	0,00	0,01	[g/km]
NO _x indirect (dieselproductie)	0,09	0,11	0,05	0,05	0,00	0,01	[g/km]
PM indirect (dieselproductie)	0,009	0,011	0,004	0,005	0,000	0,001	[g/km]
SO ₂ indirect (dieselproductie)	0,30	0,36	0,15	0,15	0,01	0,02	[g/km]
CO ₂ indirect (dieselproductie)	32	39	16	17	0,7	2	[g/km]
Energiegebruik indirect (dieselproductie)	0,45	0,53	0,22	0,23	0,01	0,03	[MJ/km]

Tabel H.6 Resultaten rollenbankmetingen ritcycli Buitenweg Audi duo in duo bedrijf

Emissiecomponent/parameter	Buiten- weg 1	Buiten- weg 2	Buiten- weg 3	Buiten- weg 4	Buiten- weg 5	Buiten- weg 6	Eenheid
CO duo	0,018	0,019	0,010	0,014	0,010	0,022	[g/km]
HC duo	0,001	0,008	0,007	0,008	0,000	0,002	[g/km]
NO _x duo	1,18	1,15	0,51	1,04	0,05	0,23	[g/km]
PM duo	0,051	0,058	0,024	0,044	0,002	0,009	[g/km]
SO ₂ duo	0,037	0,038	0,021	0,030	0,003	0,007	[g/km]
CO ₂ duo	191,8	198,8	111,3	159,8	15,1	35,7	[g/km]
Brandstofverbruik duo	7,17	7,44	4,16	5,98	0,57	1,34	[l/100 km]
Energiegebruik duo	2,57	2,67	1,49	2,14	0,20	0,48	[MJ/km]
<i>Compensatie voor ladingstoestand batterij</i>							
Delta Ah tractiebatterij	-12,33	-8,53	1,43	-1,77	15,32	13,84	[Ah]
kWh for Delta Ah compensation	-7,18	-4,96	0,83	-1,03	8,91	8,05	[kWh]
Verreden afstand	33,59	28,53	28,69	25,13	25,62	24,17	[km]
CO E-Centrale	-0,05	-0,04	0,01	-0,01	0,07	0,07	[g/km]
VOS E-Centrale	-0,003	-0,002	0,000	-0,001	0,005	0,005	[g/km]
NO _x E-Centrale	-0,11	-0,09	0,01	-0,02	0,17	0,17	[g/km]
PM E-Centrale	-0,002	-0,001	0,0002	-0,0003	0,003	0,003	[g/km]
SO ₂ E-Centrale	-0,028	-0,023	0,004	-0,005	0,045	0,043	[g/km]
CO ₂ E-Centrale	-114	-93	15	-22	185	177	[g/km]
Energiegebruik E-Centrale	-1,86	-1,51	0,25	-0,36	3,02	2,89	[g/km]
<i>Compensatie voor optredende indirecte emissies bij dieselproductie</i>							
CO indirect (dieselproductie)	0,11	0,11	0,06	0,09	0,01	0,02	[g/km]
HC indirect (dieselproductie)	0,16	0,16	0,09	0,13	0,01	0,03	[g/km]
NO _x indirect (dieselproductie)	0,07	0,07	0,04	0,06	0,01	0,01	[g/km]
PM indirect (dieselproductie)	0,007	0,007	0,004	0,006	0,001	0,001	[g/km]
SO ₂ indirect (dieselproductie)	0,22	0,22	0,13	0,18	0,02	0,04	[g/km]
CO ₂ indirect (dieselproductie)	23	24	14	20	2	4	[g/km]
Energiegebruik indirect (dieselproductie)	0,32	0,34	0,19	0,27	0,03	0,06	[MJ/km]

Tabel H.7 Resultaten rollenbankmetingen ritcycli Snelweg Audi duo in duo bedrijf

Emissiecomponent/parameter	Snelweg1	Snelweg2	Eenheid
CO duo	0,023	0,029	[g/km]
HC duo	0,005	0,005	[g/km]
NO _x duo	1,54	1,49	[g/km]
PM duo	0,144	0,105	[g/km]
SO ₂ duo	0,036	0,034	[g/km]
CO ₂ duo	189,8	179,6	[g/km]
Brandstofverbruik duo	7,10	6,72	[l/100 km]
Energiegebruik duo	2,55	2,41	[MJ/km]
<i>Compensatie voor ladingstoestand batterij</i>			
Delta Ah tractiebatterij	-9,48	-7,41	[Ah]
kWh for Delta Ah compensation	-5,52	-4,31	[kWh]
Verreden afstand	41,24	49,99	[km]
CO E-Centrale	-0,03	-0,02	[g/km]
VOS E-Centrale	-0,002	-0,001	[g/km]
NO _x E-Centrale	-0,07	-0,04	[g/km]
PM E-Centrale	-0,0011	-0,0007	[g/km]
SO ₂ E-Centrale	-0,017	-0,011	[g/km]
CO ₂ E-Centrale	-71	-46	[g/km]
Energiegebruik E-centrale	-1,16	-0,75	[MJ/km]
<i>Compensatie voor optredende indirecte emissies bij dieselproductie</i>			
CO indirect (dieselproductie)	0,11	0,10	[g/km]
HC indirect (dieselproductie)	0,16	0,15	[g/km]
NO _x indirect (dieselproductie)	0,07	0,06	[g/km]
PM indirect (dieselproductie)	0,007	0,006	[g/km]
SO ₂ indirect (dieselproductie)	0,21	0,20	[g/km]
CO ₂ indirect (dieselproductie)	23	22	[g/km]
Energiegebruik indirect (dieselproductie)	0,32	0,30	[MJ/km]