

*Diplomarbeit*

# **Messung und Simulation von Hybridfahrzeugen im realen Stadtverkehr**

Franz Glauninger



Technische Universität Graz  
Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik

**Begutachter**

Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Stefan Hausberger

Graz, 14.02.2011

Deutsche Fassung:  
Beschluss der Curricula-Kommission für Bachelor-, Master- und Diplomstudien vom 10.11.2008  
Genehmigung des Senates am 1.12.2008

## EIDESSTÄTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am .....

.....  
(Unterschrift)

Englische Fassung:

## STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

.....  
date

.....  
(signature)

## Vorwort

Meine Diplomarbeit mit dem Titel „Messung und Simulation von Hybridfahrzeugen“ wurde am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der Technischen Universität Graz abgewickelt. Die ersten Zeilen dieser Arbeit möchte ich dazu nützen, mich bei all jenen Personen zu bedanken, die Anteil am Gelingen dieser Diplomarbeit hatten.

Hier gilt mein besonderer Dank Herrn Univ.-Prof. Dr. Helmut Eichelseder, der mir als Institutsvorstand die Möglichkeit geboten hat, diese Arbeit auf seinem Institut durchzuführen. Weiters möchte ich mich bei Herrn A.o. Univ.-Prof. Dr. Stefan Hausberger für die interessante Aufgabenstellung und in weiterer Folge für die angenehme Gesprächsatmosphäre und seine tatkräftige Unterstützung während der gesamten Arbeitszeit bedanken.

Bei jeder Arbeit gibt es Leute, die einen sehr wesentlichen Beitrag zum Erfolg einer Arbeit leisten, weil sie in schwierigen Situationen eine große Stütze darstellen. Dazu gehören Herr Dr. Michael Zallinger und Herr DI Raphael Luz, bei denen ich mich daher besonders bedanken möchte. Denn nicht nur ihre Hilfsbereitschaft, sondern auch ihr Beitrag zu einem entspannten Arbeitsklima ist vorbildlich.

Bedanken möchte ich mich auch bei Herrn DI Thomas Vuckovic, Herrn Gerald Nöhner und Herrn Mario Deutsch, die mich beim praktischen Teil meiner Diplomarbeit unterstützt haben.

Ein herzliches Dankeschön an meine Freunde und Bekannten, die meine Studienzeit zu einer meiner bisher schönsten Zeit meines Lebens machten.

Von ganzem Herzen möchte ich mich bei meiner Familie für den so starken Rückhalt während meiner gesamten Ausbildungszeit bedanken.

Graz, Februar 2011

Glauninger Franz

## **Kurzfassung**

Aufgrund strenger Limitierung der Emissionen von Personenkraftfahrzeugen durch die Europäische Union gewinnen Hybridfahrzeuge immer mehr an Bedeutung. Da neben der Technologie des Kraftfahrzeugs auch das Fahrverhalten des Lenkers einen Einfluss auf den Verbrauch und die Emissionen hat, sollte untersucht werden, ob mit einem Hybrid- und Elektrofahrzeug ein gleiches Fahrverhalten zu erwarten ist, wie mit einem konventionellen Fahrzeug. Dafür wurden im Zuge dieser Diplomarbeit folgende Messungen und Analysen durchgeführt:

- Fahrverhaltensuntersuchungen mit einem konventionellen Fahrzeug, einem Hybridfahrzeug und einem Elektrofahrzeug im Stadtverkehr von Graz
- Ermittlung von repräsentativen Stadtzyklen aus den Messergebnissen
- Analyse der kinematischen Parameter des NEDC, der „real world“ Zyklen und der ermittelten Stadtzyklen
- Messung und Auswertung von Fahrzeugen mit verschiedenen Antriebstechnologien am PKW – Rollenprüfstand mit den ermittelten Stadtzyklen
- Analyse der Messungen auf dem PKW – Rollenprüfstand
- Erstellung eines Simulationsmodells für ein durchschnittliches Hybridfahrzeug

## **Abstract**

The European Union fixed strict emission limits for passenger cars and therefore hybrid electric vehicles become more and more important.

Given that not only the car technology, but also the driving behaviour have influence on the fuel consumption and the emissionlevel, it should be proved if a hybrid electric vehicle and an electric vehicle lead to the same driving behaviour than a conventional car. For this task the following measurements and analysis were performed in this diploma thesis:

- Driving behaviour analysis with a conventional car, a hybrid electric vehicle and an electric vehicle in the urban traffic of Graz.
- Ascertainments of representative urban cycles based on the results of measurement.
- Analyse of the kinematic parameter of the NEDC, the “real world” cycles and the ascertained urban cycles.
- Measurements and evaluation of vehicles with different driving systems on the chassis dynamometer with the ascertained urban cycles.
- Analyse of the measurements on the chassis dynamometer.
- Generation of a simulation model for a normative hybrid electric vehicle.

# Inhaltsverzeichnis

1	Abkürzungen und Definitionen .....	1
2	Einleitung.....	4
3	Simulationsmodell PHEM .....	5
3.1	<b>Allgemeiner Aufbau</b> .....	5
3.2	<b>Hybridmodell</b> .....	9
3.2.1	<i>Batteriemodell</i> .....	10
3.2.2	<i>PHEM Hybridstrategie</i> .....	12
4	Fahrzyklen.....	15
4.1	<b>Gesetzlicher Fahrzyklus in Europa - NEDC</b> .....	15
4.2	<b>„Real World“ Zyklus CADC</b> .....	16
4.3	<b>Messung zur Erstellung von realen Fahrzyklen</b> .....	18
4.3.1	<i>Fahrtstrecke und Zeitpunkte der Messungen</i> .....	19
4.3.2	<i>Testfahrzeuge und Ausrüstung</i> .....	20
4.3.3	<i>Fahrstile und Fahrer</i> .....	21
5	Messungen auf dem PKW - Rollenprüfstand.....	22
5.1	<b>Allgemeine Prüfstandsbeschreibung</b> .....	22
5.2	<b>Emissions- und Partikelmessung</b> .....	23
5.3	<b>Messung von Hybridfahrzeugen</b> .....	24
5.3.1	<i>Normgerechte Auswertung</i> .....	25
5.3.2	<i>Korrektur unter Berücksichtigung der Batteriewirkungsgrade</i> .....	27
5.4	<b>Gemessene Fahrzeuge</b> .....	29
5.4.1	<i>Honda Insight</i> .....	29
5.4.2	<i>Honda Civic</i> .....	30
5.4.3	<i>Toyota Prius III</i> .....	31
5.5	<b>Berechnung der Schaltpunkte</b> .....	35
6	Analyse der Messungen .....	36
6.1	<b>Straßenfahrten</b> .....	36
6.1.1	<i>Auswertung der GPS - Messungen</i> .....	36
6.1.2	<i>Ermittlung repräsentativer Fahrzyklen aus den Messungen</i> .....	37
6.1.3	<i>Testzyklen</i> .....	40

---

6.1.4	<i>Vergleich der ermittelten Zyklen mit den einzelnen Messfahrten</i> .....	44
6.1.5	<i>Vergleich der Stadtzyklen mit den gesetzlichen und den „real world“ Fahrzyklen</i> .....	45
<b>6.2</b>	<b>Prüfstandsmessungen</b> .....	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>Erstellung eines durchschnittlichen Hybridfahrzeugs im Modell PHEM</b> .....	<b>56</b>
7.1	<b>Messung der Hybridbatterie</b> .....	<b>56</b>
7.2	<b>Simulationsmodell von Toyota Prius III</b> .....	<b>59</b>
7.3	<b>Simulationsmodell für ein durchschnittliches Hybridfahrzeug</b> .....	<b>61</b>
7.4	<b>Vergleich der Simulationsergebnisse mit den Messungen des Toyota Prius III</b> .....	<b>63</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>66</b>
<b>9</b>	<b>Verzeichnisse</b> .....	<b>67</b>
9.1	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>67</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>69</b>
9.2	<b>Formelverzeichnis</b> .....	<b>73</b>
9.3	<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>74</b>
<b>10</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>76</b>
10.1	<b>Fahrzyklen</b> .....	<b>76</b>
10.1.1	<i>FTP 75 - Federal Test Procedure</i> .....	76
10.1.2	<i>SFTP US06 – Supplemental Federal Test Procedure</i> .....	76
10.1.3	<i>SFTP SC03 – Supplemental Federal Test Procedure</i> .....	77
10.1.4	<i>JC08 – Japanese Cycle</i> .....	77
10.1.5	<i>IATS – Integrated Austrian Traffic Situations</i> .....	78
10.1.6	<i>Handbuch Emissionsfaktoren</i> .....	80
10.2	<b>Auswertung der Messfahrten im Grazer Stadtgebiet</b> .....	<b>82</b>
10.2.1	<i>Auswertung der Testfahrten mit dem konventionellen Fahrzeug</i> .....	82
10.2.2	<i>Auswertung der Testfahrten mit dem Hybridfahrzeug</i> .....	86
10.2.3	<i>Auswertung der Testfahrten mit dem Elektrofahrzeug</i> .....	90
10.3	<b>Vergleich bestehender Zyklen mit den ermittelten Grazer – Stadtzyklen</b> .....	<b>93</b>

# 1 Abkürzungen und Definitionen

## ***Abkürzungen***

$a_{\max}$	Maximale Beschleunigung
$a_{\min}$	Maximale negative Beschleunigung
$a_{\text{neg}}$	Durchschnittliche negative Beschleunigung
$a_{\text{neg}15}$	15 Perzentilwert der negativen Beschleunigung
$a_{\text{neg}50}$	50 Perzentilwert der negativen Beschleunigung
$a_{\text{neg}85}$	85 Perzentilwert der negativen Beschleunigung
$a_{\text{pos}}$	Durchschnittliche positive Beschleunigung
$a_{\text{pos}15}$	15 Perzentilwert der positiven Beschleunigung
$a_{\text{pos}50}$	50 Perzentilwert der positiven Beschleunigung
$a_{\text{pos}85}$	85 Perzentilwert der positiven Beschleunigung
BAB	Bundesautobahnzyklus
ARTEMIS	Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems Projekt im 5. EU-Rahmenprogramm
CADC	Common Artemis Driving Cycle
CPC	Condensation Particle Counter
CO	Kohlenstoffmonoxid
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CVS	Constant Volume Sample
CVT	Continuously Variable Transmission – stufenloses Getriebe
$c_w$	Luftwiderstandsbeiwert
EU	Europäische Union
EUDC	Extra Urban Driving Cycle
Euro	Europäische Abgaskategorie
FTP 75	Federal Test Procedure
GPS	Global Positioning System
HBEFA	Handbuch Emissionsfaktoren
HC	Kohlenwasserstoff
HEV	Hybrid Electric Vehicle

---

IATS	Integrated Austrian Traffic Situations
JC08	Japanese Cycle
MG	Motorgenerator
mw	Motorway
NEDC	New European Driving Cycle
n	Drehzahl
$n_{\text{norm}}$	Normierte Motordrehzahl
$\text{NO}_x$	Stickoxide (Summe aus NO und $\text{NO}_2$ )
P	Leistung
$P_e$	Motorleistung
$P_{\text{neg}}$	Durchschnittliche negative Motorleistung
$P_{\text{pos}}$	Durchschnittliche positive Motorleistung
PHEM	Passenger car and Heavy duty vehicle Emission Model
PKW	Personenkraftwagen
PM	Partikelmasse
Q	Ladebilanz
road	Freilandstraße
SFTP SC03	Supplemental Federal Test Procedure
SFTP US06	Supplemental Federal Test Procedure
SOC	State of Charge (Batterieladezustand)
$\text{SOC}_{\text{max}}$	Größter Batterieladezustand
$\text{SOC}_{\text{min}}$	Kleinster Batterieladezustand
St	Stillstand
TUG	Technische Universität Graz
UDC	Urban Driving Cycle
urban	Stadt
$v_{\text{max}}$	Maximale Geschwindigkeit
$v_{\text{mittel}}$	Mittlere Geschwindigkeit
$v_{\text{mittel o St}}$	Mittlere Geschwindigkeit ohne Stillstand
$v_{15 \text{ o St}}$	15 Perzentilwert der Geschwindigkeit ohne Stillstand
$v_{50 \text{ o St}}$	50 Perzentilwert der Geschwindigkeit ohne Stillstand



$V_{85 \text{ o St}}$	85 Perzentilwert der Geschwindigkeit ohne Stillstand
$V_{15 \text{ m St}}$	15 Perzentilwert der Geschwindigkeit mit Stillstand
$V_{50 \text{ m St}}$	50 Perzentilwert der Geschwindigkeit mit Stillstand
$V_{85 \text{ m St}}$	85 Perzentilwert der Geschwindigkeit mit Stillstand
VKM	Verbrennungskraftmaschine

### ***Definitionen***

Cruise	Prozentueller Anteil an konstanter Fahrgeschwindigkeit (Beschleunigung liegt zwischen - 0,125 m/s <sup>2</sup> und 0,125 m/s <sup>2</sup> )
Kapazität	in der Batterie gespeicherte elektrische Energie [Wh]
Perzentil	zB.: 50 Perzentil: unterhalb dieses Wertes liegen 50% aller Werte
Rekuperation	Rückgewinnung elektrischer Energie beim Bremsen

## 2 Einleitung

Noch vor einiger Zeit kannten die wenigsten Leute den Begriff Hybridfahrzeug oder wussten was sich hinter dem Begriff verbirgt. Diese Tatsache hat sich aber im Laufe der letzten Jahre sehr schnell geändert. Heute hat ein Großteil der Bevölkerung, die mit Kraftfahrzeugen zu tun hat, diese Bezeichnung zumindest gehört oder gelesen. Verantwortlich dafür, dass der Bekanntheitsgrad und die Stückzahlen der Hybridfahrzeuge sehr schnell wachsen, sind die gesetzlichen Bestimmungen der Europäischen Union zur Limitierung der CO<sub>2</sub> – Emissionen und auch der Luftschadstoffe. Diese Verordnungen veranlasste die Automobilhersteller verschiedenste neue Technologien zu entwickeln bzw. bestehende Systeme zu verbessern um den neuen Gesetzen gerecht zu werden.

Eine Möglichkeit die Abgase von Personenkraftfahrzeugen zu reduzieren, stellt die Hybridisierung dar. Unter Hybrid versteht man eine Kombination von zwei verschiedenen Technologien. Bei Kraftfahrzeugen handelt es sich um eine Kombination von Verbrennungskraftmaschine mit einem Elektromotor. Dadurch kann der Verbrauch gesenkt und in weiterer Folge können auch die Emissionen verringert werden.

Die Technik eines Fahrzeugs ist aber nur zu einem Teil für den tatsächlichen Treibstoffaufwand und die dadurch entstehenden Emissionen verantwortlich. Den zweiten beeinflussenden Faktor stellt der Fahrer selbst dar. Durch seine Fahrweise kann er den Energieaufwand erhöhen bzw. senken. Nun stellt sich aber die Frage, wie stark sich der Fahrstil auf den Verbrauch auswirkt und ob es einen Unterschied in der Fahrweise gibt, ob man mit einem konventionellen Fahrzeug oder mit einem Hybridfahrzeug unterwegs ist.

Diese Fragestellung sollte im Zuge dieser Diplomarbeit beantwortet werden. Dazu war die Erstellung eines durchschnittlichen Hybridfahrzeugs im Simulationswerkzeug PHEM erforderlich, um einerseits bereits bestehende Fahrzyklen und andererseits neu erstellte Zyklen vor der entsprechenden Messung am Prüfstand untersuchen zu können.

Um die Fahrweise analysieren zu können, war es notwendig, Messungen im realen Straßenverkehr im Stadtgebiet mit verschiedenen Fahrzeugen und Fahrern durchzuführen. Aus diesen Messungen konnten in weiterer Folge neue Stadtzyklen erstellt und untersucht werden. Diese Zyklen stellten die Grundlage für die anschließenden Messungen auf dem Rollenprüfstand dar.

Die daraus gewonnenen Erkenntnisse und Beobachtungen wurden in dieser Schriftfassung der Diplomarbeit mit dem Titel „Messung und Simulation von Hybridfahrzeugen im realen Stadtverkehr“ aufbereitet und zusammengefasst.

Für weitere Untersuchungen zu diesem Thema wurden sämtliche Geschwindigkeitsverläufe, Diagramme und Tabellen, die im Zuge dieser Diplomarbeit erstellt, aber in diese Schriftfassung nicht aufgenommen wurden, im Anhang als Nachschlagwerk zusammengefasst.

### 3 Simulationsmodell PHEM

#### 3.1 Allgemeiner Aufbau

Das Modell PHEM ist ein kennfeldbasierendes Emissionsmodell, das mit Hilfe eines Fahrzeuglängsdynamikmodells die aktuelle Motorleistung berechnet. Damit das Modell PHEM die Emissionen für verschiedene Fahrzyklen errechnen kann, müssen die Emissionen in dreidimensionale Kennfelder abgelegt werden. Aus diesen Kennfeldern werden bei der Simulation die Emissionen interpoliert. Die Interpolationspunkte sind über die Motordrehzahl und die Motorleistung definiert. Die Motordrehzahl wird entweder aus den vorgegebenen Gängen und den dazugehörigen Übersetzungen errechnet, oder das Schaltverhalten wird über ein sogenanntes Schaltmodell vorgegeben. Um auch Kaltstarts simulieren zu können, ist ein Kaltstartmodell im Simulationsprogramm PHEM integriert. Das dynamische Emissionsverhalten von Verbrennungskraftmaschinen wird mit sogenannten Dynamikparametern, die in jedem Kennfeldpunkt hinterlegt sind, erreicht. [20]  
 In Abbildung 1 ist der schematische Aufbau des Simulationsmodells PHEM dargestellt.

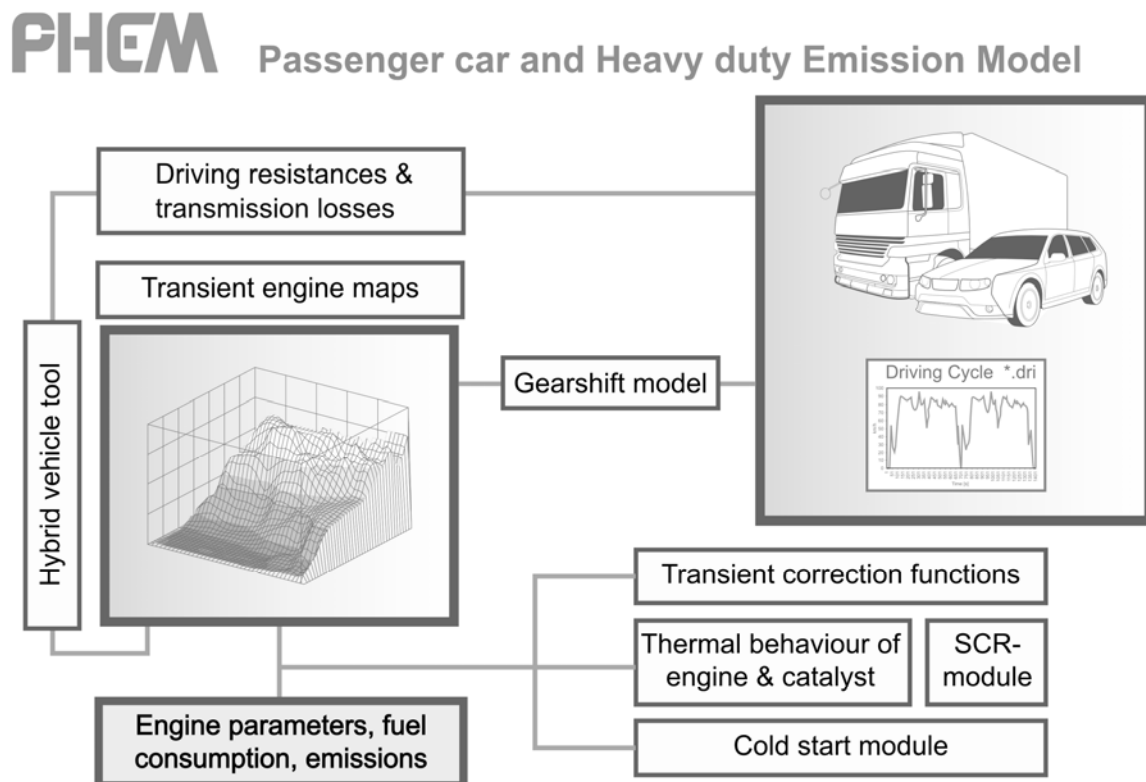


Abbildung 1: Emissionsmodell PHEM [12]

Für die Simulation von verschiedenen Fahrzeugen benötigt das Modell eine Reihe von Daten, die das zu simulierende Kraftfahrzeug beschreiben. Die wichtigsten Daten sind in Tabelle 1 aufgelistet.

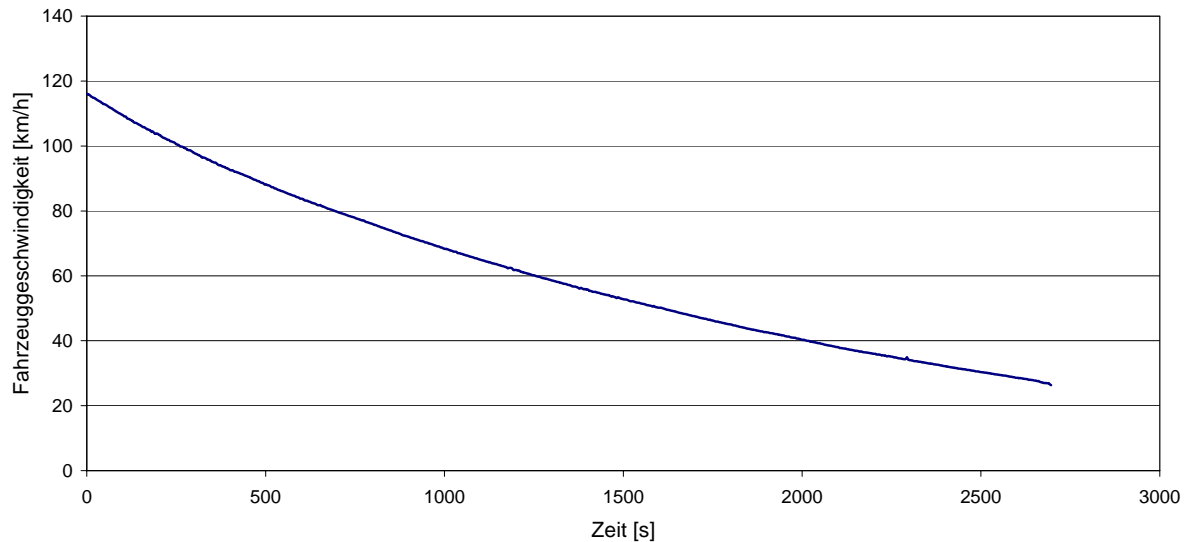
**Tabelle 1:** Spezifische Fahrzeugdaten

<b>Verbrennungskraftmaschine:</b>	
	Nennleistung
	Nenndrehzahl
	Leerlaufdrehzahl
<b>Kraftübertragung:</b>	
	Achsübersetzung
	1. Gang
	2. Gang
	3. Gang
	4. Gang
	5. Gang
	6. Gang
	Reifendurchmesser
<b>Rollwiderstandskoeffizienten:</b>	
	$Fr_0$
	$Fr_1$
	$Fr_2$
	$Fr_3$
	$Fr_4$
<b>Fahrzeuggewicht</b>	
<b>Luftwiderstandsbeiwert <math>c_w</math></b>	
<b>Stirnfläche</b>	

Um die Rollwiderstandskoeffizienten zu erhalten, müssen sogenannte Ausrollversuche durchgeführt werden.

**Ausrollversuch und Ermittlung der Fahrwiderstände**

Die Fahrwiderstandsbeiwerte aus Tabelle 1 wurden mit Hilfe von Ausrollversuchen ermittelt. Für Ausrollversuche bei realen Umgebungsbedingungen sind in der Norm ISO 10521-1 [11] die Rahmenbedingungen für z.B. Windgeschwindigkeit, Umgebungstemperatur und Straßenbeschaffenheit festgelegt. Weiters wird darin das Auswerteverfahren mit den notwendigen Korrekturen beschrieben. Sind die in der Norm ISO 10521-1 [11] angeführten Voraussetzungen erfüllt, muss der Ausrollversuch zusätzlich in beiden Richtungen stattfinden, damit etwaige Höhenunterschiede im Zuge der Auswertung korrigiert werden können. Beim Versuch selbst wird das Fahrzeug auf der Teststrecke auf eine definierte Geschwindigkeit gebracht und anschließend im Leerlauf rollen gelassen. Die Geschwindigkeit wird mittels GPS – System aufgezeichnet und aus diesen gemessenen Daten die Ausrollkurven erstellt. Abbildung 2 zeigt die Ausrollkurve eines Testfahrzeugs in eine Fahrtrichtung.



**Abbildung 2:** Ausrollkurve

In weiterer Folge können mit Hilfe dieses Ausrollversuchs auch die Rollwiderstandskoeffizienten bestimmt werden. Eine Näherung zur Berechnung der erforderlichen Leistung zur Überwindung des Rollwiderstands stellt Formel 1 dar. [9]

**Formel 1:** Leistung zur Überwindung des Rollwiderstands [9]

$$P_R = m \cdot g \cdot (Fr_0 + Fr_1 \cdot v + Fr_4 \cdot v^4) \cdot v$$

$P_R$ [W]	Leistung zur Überwindung des Rollwiderstands
$m$ [kg]	Masse von Fahrzeug und Beladung
$v$ [m/s]	Fahrzeuggeschwindigkeit
$Fr_0, Fr_1, Fr_4$	Rollwiderstandskoeffizienten
$g$ [m/s <sup>2</sup> ]	Erdbeschleunigung

Wird das Fahrzeug im Leelauf rollengelassen, sind der Rollwiderstand und der Luftwiderstand die einzigen Fahrwiderstände und können mit der Trägheitskraft gleichgesetzt werden. Die Leistung zur Überwindung des Luftwiderstandes kann mit Formel 2 bestimmt werden. [9]

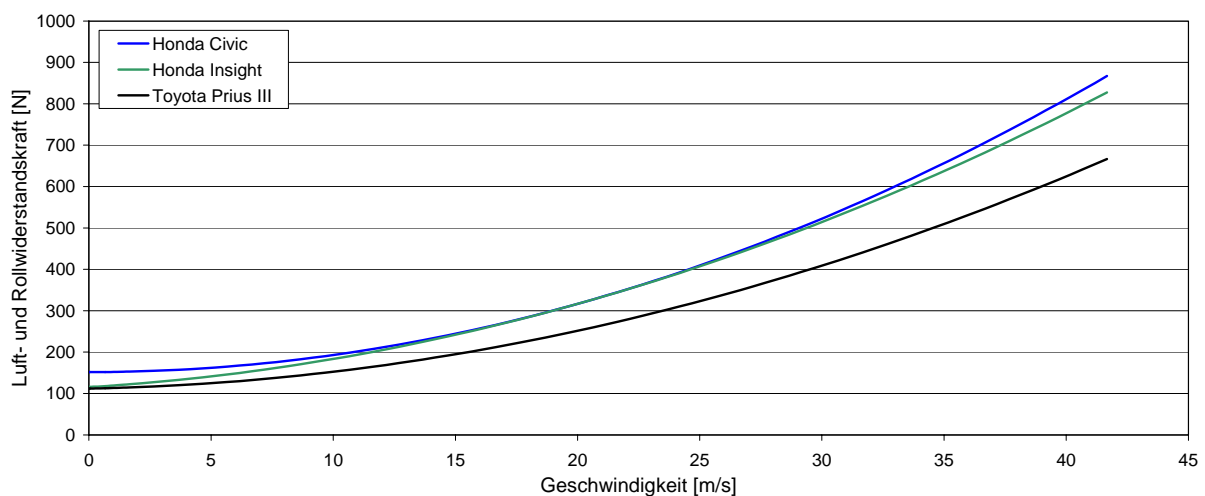
**Formel 2:** Leistung zur Überwindung des Luftwiderstands [9]

$$P_L = c_w \cdot A_{Quers.} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^3$$

$P_L$ [W]	Leistung zur Überwindung des Luftwiderstands
$A_{Quers.}$ [m <sup>2</sup> ]	Querschnittsfläche des Kraftfahrzeugs
$v$ [m/s]	Fahrzeuggeschwindigkeit
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Dichte der Luft
$c_w$ [-]	Luftwiderstandsbeiwert

Wird die sekundliche Beschleunigung über der Geschwindigkeit aufgetragen und mit der bekannten Fahrzeugmasse und dem Drehmassenfaktor multipliziert, ergibt sich die Trägheitskraft ( $m \cdot a$ ). Die Formel für die einzelnen Fahrwiderstände wird durch ein Ausgleichspolygon 4. Ordnung (oder auch nur 2. Ordnung) zur Verfügung gestellt. [9]

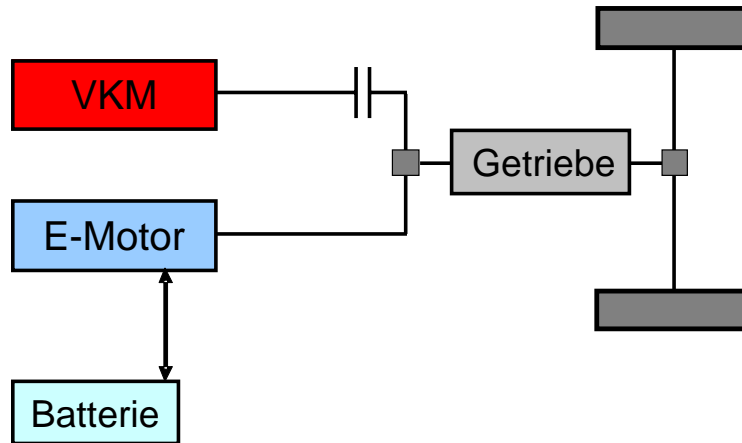
Abbildung 3 zeigt die Luft- und Rollwiderstandskraft über der Geschwindigkeit aufgetragen. Die Kurve für den Toyota Prius III wurde aus den Herstellerangaben ermittelt. Für die beiden Fahrzeuge der Firma Honda wurden im Rahmen dieser Diplomarbeit Ausrollversuche durchgeführt und im Anschluss die Fahrwiderstandskurven erstellt. Bei den eigens ausgerollten Fahrzeugen kommt es aufgrund nicht immer optimaler Verhältnisse zu höheren Fahrwiderständen. So haben zum Beispiel Reifenbauart, Luftdruck in den Reifen und Getriebeöltemperatur Einfluss auf das Ausrollergebnis. Bei den Herstellerangaben handelt es sich meist um die kleinst möglichen Widerstandskräfte.



**Abbildung 3:** Luft- und Rollwiderstandskraft als Polynome 2. Ordnung

### 3.2 Hybridmodell

Abbildung 4 zeigt den schematischen Aufbau des Hybridmodells in der Software PHEM.



**Abbildung 4:** Aufbau des Hybridmodells [20]

Mit diesem Modell kann ein Parallelhybrid simuliert werden. Um Abschätzungen über den Energiebedarf machen zu können, besteht auch die Möglichkeit, ein reines Elektrofahrzeug zu simulieren.

Für die Simulation von Hybridfahrzeugen im Modell PHEM müssen zusätzliche Eingaben, die den elektrischen Teil des Fahrzeugs beschreiben, gemacht werden. Diese Eingaben sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

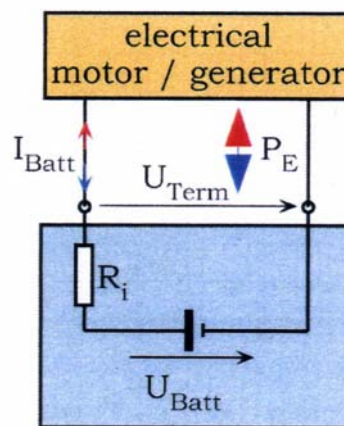
**Tabelle 2:** Eingabedaten in das Modell PHEM zur Simulation von Hybridfahrzeugen

<b>Batteriekenndaten:</b>	
	Speicherkapazität [kWh]
	Innenwiderstand [ $\Omega$ ]
	Lade- Entladespannung (Quellenspannung) als $f(\text{SOC})$ [V]
	SOC Startwert
	$\text{SOC}_{\min}$ , $\text{SOC}_{\max}$
<b>Technische Daten Elektromotor:</b>	
	Nennleistung [kW]
	Maximalleistung [kW]
	Maximale Betriebszeit bei Maximalleistung [s]
	Leerlaufdrehzahl [U/min]
	Nenndrehzahl [U/min]
	Wirkungsgradkennfeld $f(P, n)$
<b>Betriebsstrategie:</b>	
	Manuelle Strategie
	PHEM Hybridstrategie

### 3.2.1 Batteriemodell

Werden Batteriedaten wie Innenwiderstand, Quellenspannung und Zellenanzahl eingegeben, ist eine Berechnung von verschiedenen Batteriekennwerten möglich. So kann der Lade- und Entladestrom als Funktion des Innenwiderstandes, bzw. der Quellenspannung berechnet werden. In weiterer Folge kann mit dem ermittelten Lade- und Entladestrom die Batterieleistung und der Batterieladezustand berechnet werden. Zurzeit wird der Innenwiderstand der Batterie noch nicht temperaturabhängig sondern als konstant angenommen.

In Abbildung 5 ist das Batteriemodell schematisch dargestellt.



**Abbildung 5:** Schematische Darstellung Batteriemodell [16]

Mit nachfolgenden Formeln lassen sich die Ströme, Spannungen und Leistungen berechnen.

**Formel 3:** Elektrische Leistung [16]

$$P_E = U_T \cdot I_{Batt}$$

$P_E$ [W]	Elektrische Leistung
$U_T$ [V]	Klemmenspannung
$I_{Batt}$ [A]	Batteriestrom



**Formel 4:** Klemmenspannung [16]

$$U_T = U_{Batt} - I_{Batt} \cdot R_i$$

$U_T$ [V]	Klemmenspannung
$I_{Batt}$ [A]	Batteriestrom
$U_{Batt}$ [V]	Quellenspannung
$R_i$ [ $\Omega$ ]	Innenwiderstand

Durch Kombination der Formel 3 mit Formel 4 ergibt sich die quadratische Gleichung für den Batteriestrom.

**Formel 5:** Batteriestrom [16]

$$I_{Batt} = \frac{U_{Batt}}{2 \cdot R_i} \pm \sqrt{\left(\frac{U_{Batt}}{2 \cdot R_i}\right)^2 - \frac{P_E}{R_i}}$$

$I_{Batt}$ [A]	Batteriestrom
$U_{Batt}$ [V]	Quellenspannung
$R_i$ [ $\Omega$ ]	Innenwiderstand
$P_E$ [W]	Elektrische Leistung

Mit dem Innenwiderstand und dem errechneten Batteriestrom kann die Verlustleistung der Batterie berechnet werden.

**Formel 6:** Verlustleistung [16]

$$P_{loss} = I_{Batt}^2 \cdot R_i$$

$I_{Batt}$ [A]	Batteriestrom
$R_i$ [ $\Omega$ ]	Innenwiderstand
$P_{loss}$ [W]	Verlustleistung der Batterie

### 3.2.2 PHEM Hybridstrategie

Der Hybridstrategie in PHEM liegt eine wirkungsgradbezogene Regelung zu Grunde. Dabei wird die aufgewendete bzw. eingesparte Kraftstoffmenge betrachtet. Es werden einerseits die Wirkungsgrade für die elektrische Unterstützung bezogen auf die eingesparte Kraftstoffmenge, und andererseits die Wirkungsgrade für die zusätzlich aufgewendete Kraftstoffmenge zum Generieren von elektrischer Leistung berechnet. [18]

In Formel 7 ist zu sehen, dass beim Assistieren die aufgewendete elektrische Leistung auf die eingesparte Kraftstoffmenge bezogen wird.

**Formel 7:** Wirkungsgrad für Assistieren [18]

$$Ke_{\text{assistieren}} = \frac{P_{E\_aufgewendet}}{\dot{m}_{\text{Kraftstoff\_eingespart}}}$$

$Ke_{\text{assistieren}}$ [-]	Ke - Faktor für Assistieren
$P_{E\_aufgewendet}$ [kW]	aufgewendete elektrische Leistung
$\dot{m}_{\text{Kraftstoff\_eingespart}}$ [g/s]	eingesparte Kraftstoffmenge

Beim Generieren wird die erzeugte elektrische Leistung auf den zusätzlichen Kraftstoffaufwand bezogen, wie in Formel 8 zu sehen ist.

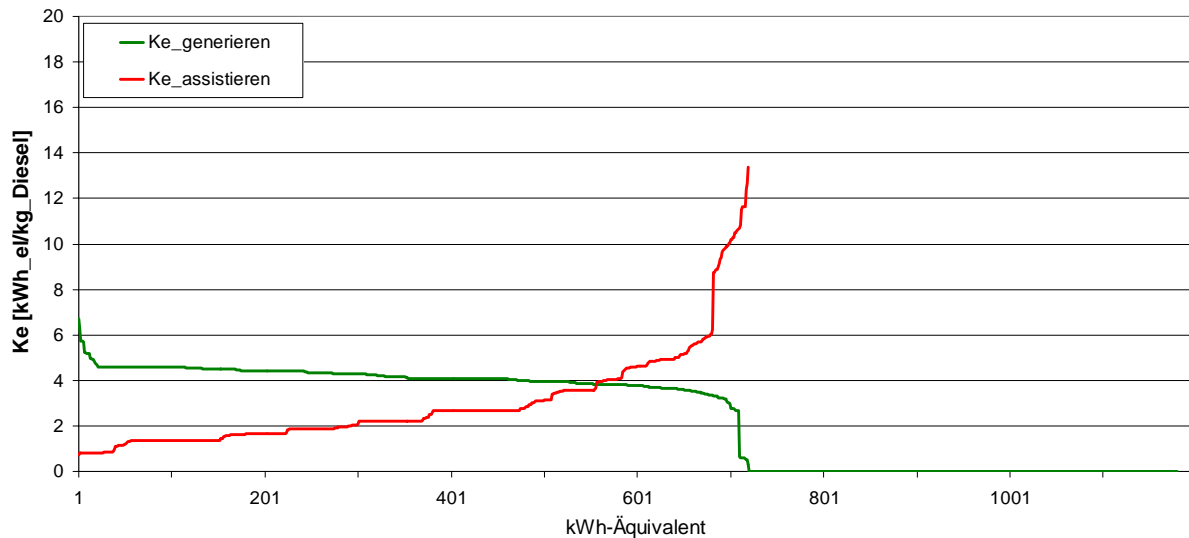
**Formel 8:** Wirkungsgrad für Generieren [18]

$$Ke_{\text{generieren}} = \frac{P_{E\_gewonnen}}{\dot{m}_{\text{Kraftstoff\_aufgewendet}}}$$

$Ke_{\text{generieren}}$ [-]	Ke - Faktor für Generieren
$P_{E\_gewonnen}$ [kW]	gewonnene elektrische Leistung
$\dot{m}_{\text{Kraftstoff\_aufgewendet}}$ [g/s]	aufgewendete Kraftstoffmenge

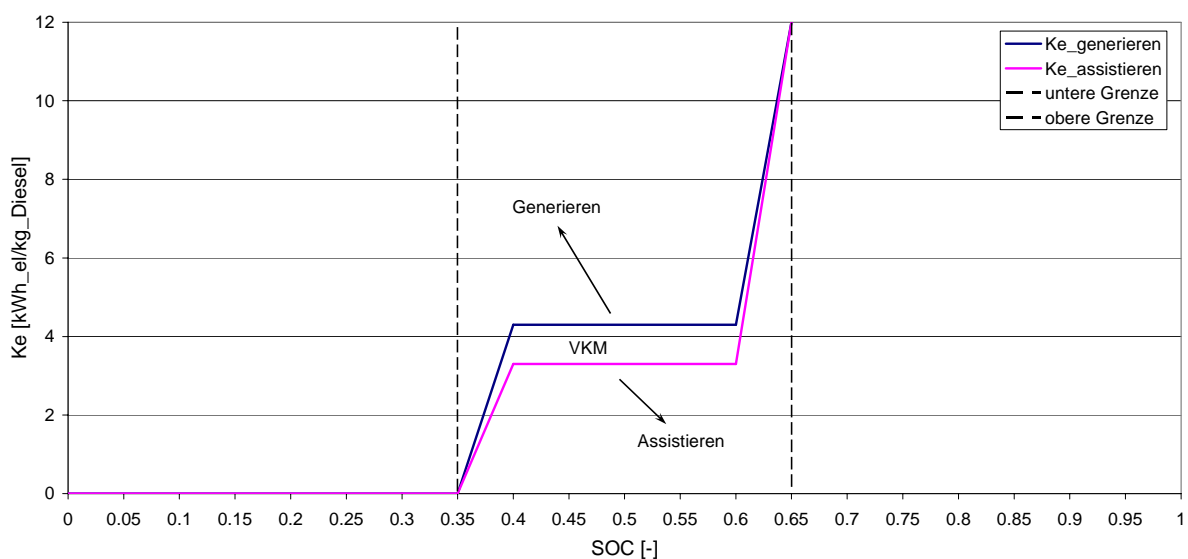
Im nächsten Schritt werden die berechneten Wirkungsgrade für Generieren und Assistieren nach ihrer Größe sortiert und anschließend über der kumulierten Batteriearbeit aufgetragen. Die Voraussetzung, dass die der Batterie entnommene Energie gleich der Energie, die in die Batterie gespeicherte wurde, ist, muss erfüllt sein. [18] Im Schnittpunkt der beiden Kurven  $Ke_{\text{generieren}}$  und  $Ke_{\text{assistieren}}$  ist der SOC ausgeglichen. In Abbildung 6 sind die beiden sortierten Wirkungsgradkurven in Diagrammform dargestellt.

Diese Kurven wurden anhand der Simulation des Typrprüfzyklus NEDC für ein Sechsgangschaltgetriebe ermittelt. In diesem Fall wurde der Toyota Prius III im Simulationsmodell nachgebildet.



**Abbildung 6:** Wirkungsgradkurven für Generieren und Assistieren für ein HEV im NEDC

Da nun der Schnittpunkt der beiden Kurven bekannt ist, können zwei Grenzkurven für Generieren und Assistieren erstellt werden. Oberhalb der Kurve Generieren befindet sich der günstige Wirkungsgradbereich zum Generieren von elektrischer Energie und unterhalb der Kurve Assistieren befindet sich der günstige Wirkungsgradbereich zum Assistieren. Zwischen den beiden Kurven wird das Fahrzeug nur mit der Verbrennungskraftmaschine angetrieben, dabei wird sie weder vom Elektromotor unterstützt noch wird elektrische Energie generiert und in der Batterie gespeichert. Dieser Bereich kann bei bestimmten Fahrzeugsimulationen notwendig sein, um einem Schwingen des Reglers vorzubeugen. In Abbildung 7 sind die beiden Grenzkurven für Assistieren und Generieren aufgezeichnet.



**Abbildung 7:** Grenzkurven Generieren und Assistieren

Diese Kurven sind auf den Typprüfzyklus NEDC für ein Sechsgangschaltgetriebe optimiert. Bei niedrigen SOC – Werten soll die Batterie wieder geladen werden, daher sind die Kurven steil abfallend. So wird nur in optimalen Betriebssituationen assistiert. Im umgekehrten Fall, bei hohen SOC – Werten, wird die Batterie durch Assistieren entladen, um für eventuell folgende Rekuperation freie Batteriekapazität zu haben.

Aus Lebensdauer- und Funktionsgründen der Batterie wird nur ein schmaler SOC – Bereich, in dem die Lade- bzw. Entladespannung nahezu konstant ist, genutzt (Lade- und Entladekurve siehe Kapitel 7.1 und 7.2). So wird zum Beispiel durch sogenannte Tiefentladung die Lebensdauer der Batterie wesentlich verkürzt.

## 4 Fahrzyklen

Für die Typprüfung von Personenkraftfahrzeugen sind Emissionsmessungen auf dem PKW – Rollenprüfstand vorgeschrieben. Dazu werden sogenannte Fahrzyklen benötigt, die einerseits die Schaltpunkte und andererseits den Geschwindigkeitsverlauf vorgeben. Der derzeit in Europa aktuelle Typprüfzyklus heißt NEDC (New European Driving Cycle). Daher wird er auch im Zuge dieser Diplomarbeit näher beschrieben. Um den Unterschied zu realen Fahrzyklen zu verdeutlichen, ist der CADC (Common Artemis Driving Cycle) als Vertreter der realen Zyklen angeführt und erläutert. Bei den anderen Zyklen werden nur der Geschwindigkeitsverlauf dargestellt und die Eckdaten in einer Tabelle aufgelistet und in weiterer Folge mit den neu ermittelten Stadtzyklen verglichen. Die untersuchten Zyklen sind in Tabelle 3 aufgelistet. Eine Zusammenfassung der Geschwindigkeitsverläufe mit den dazugehörigen Eckdaten befindet sich im Anhang im Kapitel 10.1.

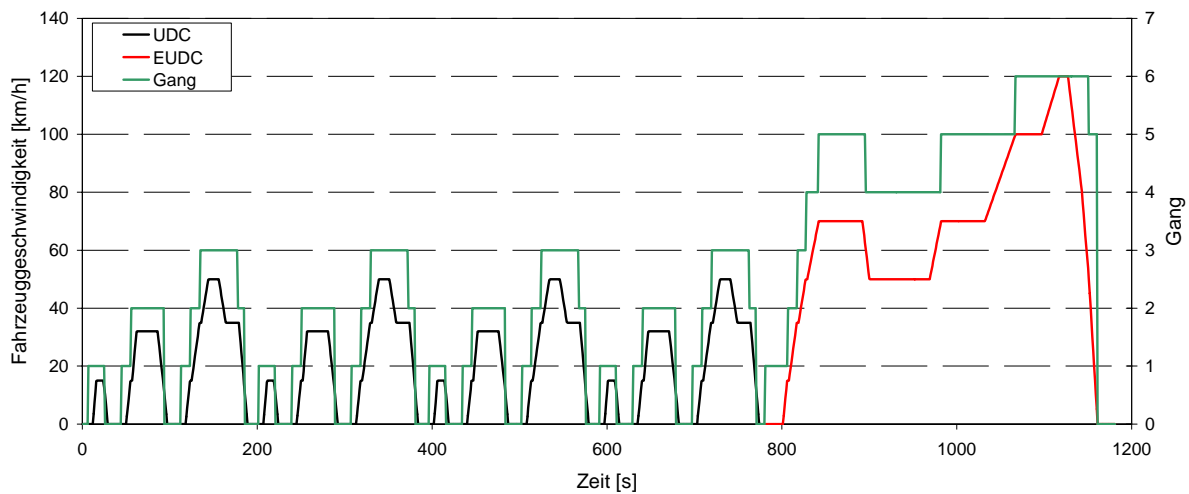
**Tabelle 3:** Untersuchte Fahrzyklen

<b>Gesetzliche Fahrzyklen</b>	
NEDC – New European Driving Cycle	Europa
FTP 75 – Federal Test Procedure	USA
SFTP US06 – Supplemental Federal Test Procedure	USA
SFTP SC03 - Supplemental Federal Test Procedure (A/C is on)	USA
JC08 – Japanese Cycle	Japan
<b>„real world“ Fahrzyklen</b>	
IATS – Integrated Austrian Traffic Situations erstellt von der TU - Graz	
CADC – Common Artemis Driving Cycle	
BAB - Bundesautobahnzyklus	
HBEFA (R1 bis R4) – Handbuch Emissionsfaktoren	

### 4.1 Gesetzlicher Fahrzyklus in Europa - NEDC

Der NEDC [5] besteht aus zwei Teilen, einem Innerortsbereich und einem Außerortsbereich. Der Innerortsbereich, der sogenannten UDC (Urban Driving Cycle), besteht aus vier Stadtzyklen und der Außerortsbereich mit der Bezeichnung EUDC (Extra Urban Driving Cycle) setzt sich aus einem Überlandbereich und einem Autobahnteil zusammen. Bei diesem Zyklus wird nicht zwischen Diesel- oder Benzinfahrzeugen unterschieden. Daher sind auch die Schaltpunkte für beide Motorisierungsarten gleich. Lediglich bei der Anzahl der Gänge gibt es eine Unterscheidung, und zwar zwischen Fünf- und Sechsgangschaltgetrieben. Die Schaltpunkte sind ident, nur ab einer Geschwindigkeit von 100 km/h wird beim NEDC für Sechsgangschaltgetriebe in den sechsten Gang gewechselt.

In Abbildung 8 ist der Geschwindigkeitsverlauf des NEDC mit den entsprechenden Schaltpunkten für ein Sechsgangschaltgetriebe dargestellt.



**Abbildung 8:** Geschwindigkeitsverlauf des NEDC mit den vorgegebenen Schaltpunkten

In nachfolgender Tabelle 4 sind die Eckdaten des NEDC aufgelistet.

**Tabelle 4:** Zyklusdaten des NEDC

Zyklusname	$a_{max}$ [m/s <sup>2</sup> ]	$a_{min}$ [m/s <sup>2</sup> ]	$a_{pos50}$ [m/s <sup>2</sup> ]	$a_{neg50}$ [m/s <sup>2</sup> ]	$v_{max}$ [km/h]	$v_{50 \circ St}$ [km/h]	St [%]	Cruise [%]	Weg [km]	Zeit [s]
UDC	1.04	-1.05	0.62	-0.76	50	32	30.86	47.96	4.07	780
EUDC	0.84	-1.39	0.28	-0.7	120	70	10.22	59.72	6.95	400
NEDC	1.04	-1.39	0.52	-0.76	120	35	23.79	52.67	11.03	1180

## 4.2 „Real World“ Zyklus CADC

Ein Zyklus mit einem deutlich realitätsnäherem Geschwindigkeitsverlauf als der NEDC ist der sogenannte CADC (Common Artemis Driving Cycle) [3]. Der CADC weist eine wesentlich höhere Fahrdynamik und Motorleistung auf. Die Schaltpunkte sind bei diesem Zyklus von der Fahrzeugmasse und der Nenndrehzahl abhängig. Die Motordrehzahl liegt über dem Drehzahlniveau des NEDC, da die Schaltpunkte im Vergleich zum NEDC später liegen. Es wird nicht zwischen Ottomotor und Dieselmotor unterschieden. Dieser Zyklus setzt sich aus drei Teilen zusammen, einem Stadtteil, einem Überlandteil und einem Autobahnteil. [10]

In Tabelle 5 sind die Eckdaten des CADC zusammengefasst.

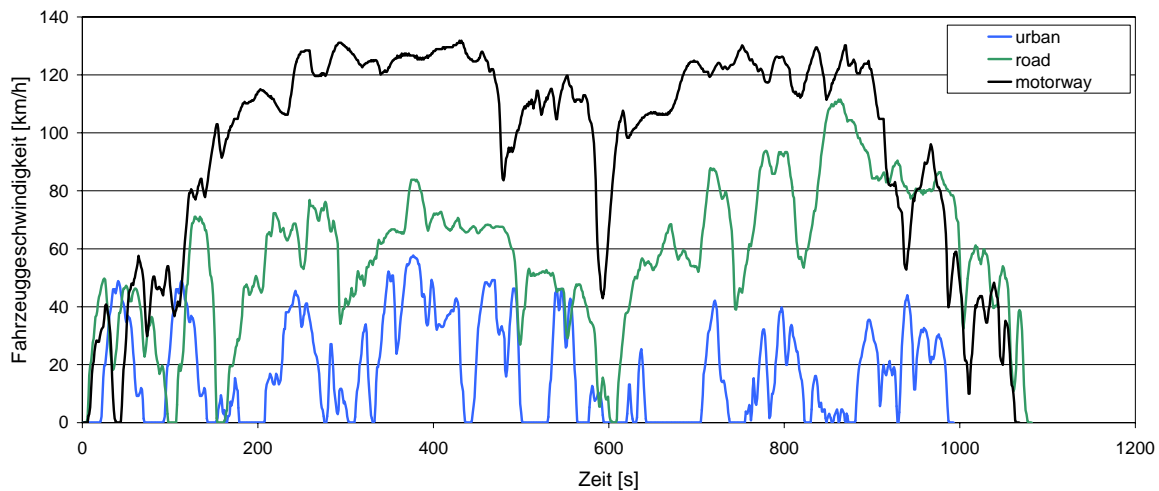
**Tabelle 5:** Zyklusdaten der drei CADC Phasen

<b>Zyklusname</b>	<b><math>a_{max}</math></b>	<b><math>a_{min}</math></b>	<b><math>a_{pos50}</math></b>	<b><math>a_{neg50}</math></b>	<b><math>v_{max}</math></b>	<b><math>v_{50 \text{ o St}}</math></b>	<b>St</b>	<b>Cruise</b>	<b>Weg</b>	<b>Zeit</b>
	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[km/h]	[km/h]	[%]	[%]	[km]	[s]
CADC_urban	2.86	-3.14	0.58	-0.58	57.7	24.5	28.4	10.13	4.87	993
CADC_road	2.36	-4.08	0.42	-0.39	111.5	60.65	3.05	21.54	17.27	1082
CADC_mw	1.92	-3.36	0.28	-0.28	131.8	111.5	1.5	27.85	28.74	1068

Betrachtet man die Zyklusdaten des CADC und vergleicht diese mit jenen des NEDC (Tabelle 4) fällt auf, dass der Cruiseanteil bei den realen Zyklen wesentlich kleiner ist als der des NEDC. Daraus kann geschlossen werden, dass die langen Konstantfahrten im NEDC im realen Straßenverkehr nicht möglich sind. Ein weiterer Punkt sind die Beschleunigungen. Vergleicht man die maximalen Beschleunigungswerte miteinander, kann ebenfalls ein großer Unterschied zwischen den Zyklen festgestellt werden. So liegt der Beschleunigungswert des CADC\_urban bei 2,86 m/s<sup>2</sup> während der Wert des UDC nur bei 1,04 m/s<sup>2</sup> liegt. Da die 50 Perzentilwerte der Beschleunigungen aber wieder in etwa gleich groß sind, weisen die Maximalwerte auf einzelne Beschleunigungsspitzen im realen Zyklus hin.

Vergleicht man den Stadtteil des CADC mit dem Autobahnteil des CADC, kann ein halb so großer 50 Perzentilwert der positiven und negativen Beschleunigung festgestellt werden. Das bedeutet, dass im urbanen Bereich wesentlich dynamischer gefahren wird als auf der Autobahn. Daraus folgt der Schluss, dass die Fahrweise des Fahrers im Stadtgebiet einen wesentlich größeren Einfluss auf den Verbrauch hat als auf Autobahnen oder auf Freilandstraßen. Daher wurden die Messungen im Stadtgebiet durchgeführt, da dort die Unterschiede der kinematischen Parameter am größten sind. Außerdem sollte ein Hybridfahrzeug seine Stärke in der Verbrauchseinsparung im Stadtgebiet am besten ausspielen können.

Aus nachfolgender Abbildung 9 ist sehr gut der wesentlich dynamischere Geschwindigkeitsverlauf zu erkennen.



**Abbildung 9:** Geschwindigkeitsverlauf der drei Phasen des CADC

Zwischen diesen beiden Testprogrammen, NEDC und CADC, ist bereits ein deutlicher Unterschied in Bezug auf die Fahrdynamik zu erkennen. Daher ergeben sich auch bei der Rollenmessung Unterschiede im Verbrauch und in weiter Folge auch bei den Emissionen.

### 4.3 Messung zur Erstellung von realen Fahrzyklen

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden Messungen im Stadtgebiet von Graz durchgeführt. Dabei kamen Fahrzeuge mit verschiedenen Antriebskonzepten zum Einsatz, um etwaige Unterschiede im Fahrverhalten der Fahrer analysieren zu können. Aus diesen Messfahrten wurden in weiterer Folge sogenannte Grazer Stadtzyklen ermittelt. Der Ablauf der Messungen ist in den Kapiteln 4.3.1 bis 4.3.3 erklärt.



### 4.3.1 Fahrtstrecke und Zeitpunkte der Messungen

Als Teststrecke wurde ein Rundkurs in der Innenstadt von Graz ausgewählt.

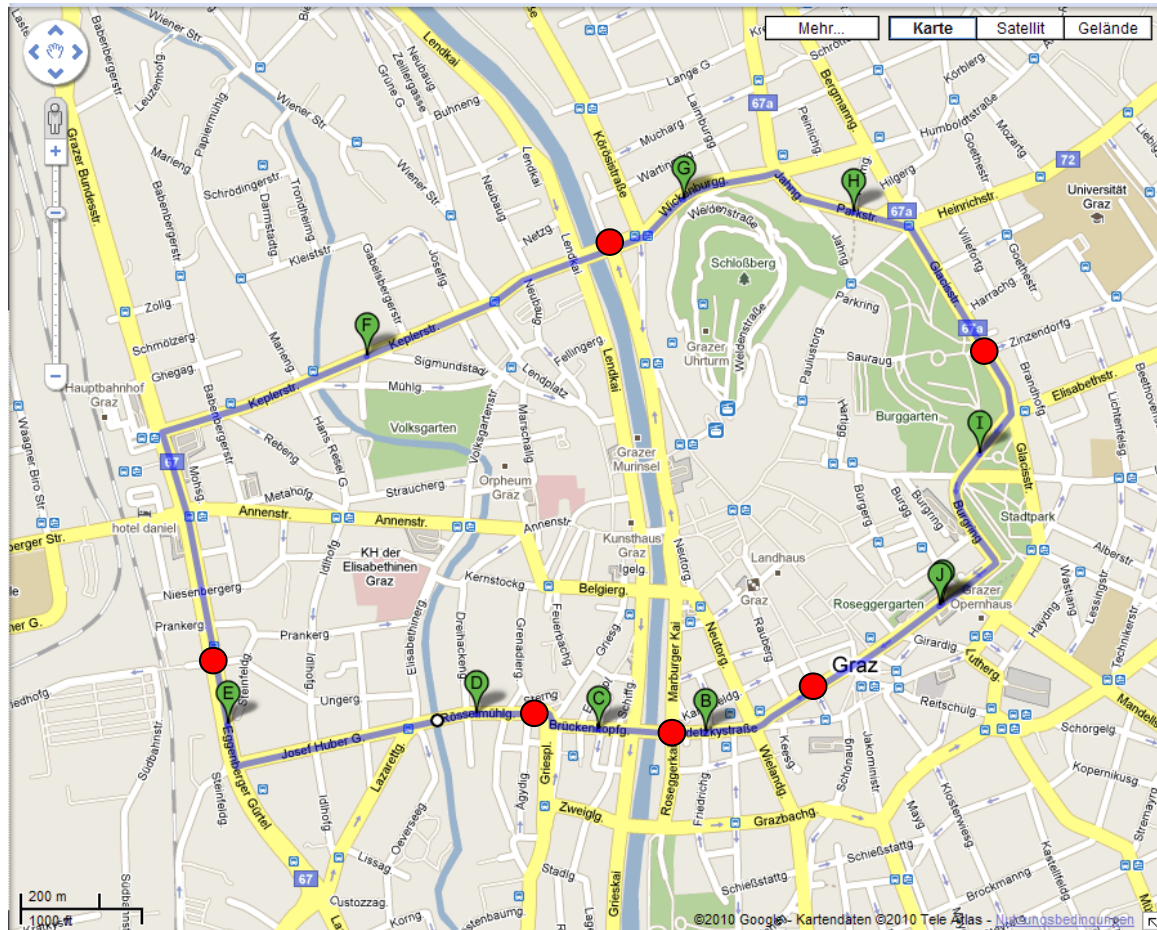


Abbildung 10: Fahrtstrecke im inneren Stadtbereich von Graz [7]

Der Routenplaner von Google Maps Österreich errechnet für die in Abbildung 10 dargestellte Fahrtstrecke einen Zeitbedarf von ca. 14 Minuten bei einer Gesamtlänge von 6 km. Dieser Zeitbedarf konnte nur bei sehr wenigen Runden eingehalten werden. Die durchschnittliche Rundenzeit liegt mit 18,5 Minuten deutlich über dem von Google Maps errechneten Wert.

Das Ziel bei der Auswahl der Wochentage und der Zeitpunkte war es, eine möglichst gleichmäßige Verkehrsbelastung vorzufinden. Aus vorangegangenen Untersuchungen im Zuge einer Dissertation [20] an der Technischen Universität Graz ließ sich das Zeitfenster auf einen Bereich von 10 Uhr bis 15 Uhr an den Wochentagen Dienstag bis Donnerstag eingrenzen. Zu diesen Zeiten sind keine besonders hohen Verkehrsbelastungen zu erwarten. Bei hohen Verkehrsbelastungen sinkt der Einfluss des Fahrers, sodass diese Verkehrssituationen für den Vergleich von einem konventionellen Fahrzeug mit einem Hybridfahrzeug bzw. Elektrofahrzeug nicht relevant sind.

Im Fahrzeug befand sich neben dem Fahrer auch noch ein Beifahrer, der die Messgeräte bediente. Der Beifahrer hatte zusätzlich die Aufgabe den Verkehr subjektiv zu bewerten. Bewertet wurden die in Abbildung 10 mit einem roten Punkt markierten Ampelanlagen. Zur Bewertung des Verkehrsaufkommens wurde das Schulnotensystem zur Hilfe genommen. Dafür wurde der in Tabelle 6 aufgelistete Notenschlüssel verwendet.

**Tabelle 6:** Notenschlüssel zur Verkehrsbewertung

<b>Note</b>	<b>Erklärung</b>
1	Ampel kann ohne Verzögerung passiert werden
2	Ampel kann mit einer kleinen Geschwindigkeitsverringerung passiert werden
3	Ampel kann nach zurückschalten in einen niedrigeren Gang passiert werden
4	Vor der Ampel muss angehalten werden, bei der nächsten Grünphase kann sie aber passiert werden
5	Vor der Ampel muss angehalten werden, kann auch bei der nächsten Grünphase nicht passiert werden

Ergänzend wurden noch besondere Ereignisse wie zum Beispiel Baustellen, Unfälle oder Staus im Protokoll vermerkt. Messfahrten mit diesen besonderen Vorkommnissen wurden aus der Auswertung ausgenommen, um die Ergebnisse nicht zu verfälschen.

### **4.3.2 Testfahrzeuge und Ausrüstung**

Um eventuelle Unterschiede im Fahrverhalten analysieren zu können, wurde die Fahrtstrecke mit drei verschiedenen Fahrzeugen zurückgelegt. Ein handelsübliches Hybridfahrzeug der Firma Toyota (Toyota Prius III), ein Elektrofahrzeugprototyp der Firma Magna und ein konventionelles Dieselfahrzeug der Firma Opel (Opel Zafira) waren bei den Messungen im Stadtgebiet im Einsatz. Da der Leistungsbereich aller drei Fahrzeuge ähnlich ist, lässt sich auch das Fahrverhalten vergleichen, denn würden die Leistungsunterschiede sehr groß sein, würden sich automatisch andere Möglichkeiten für den Fahrer im Bezug auf das Beschleunigungsverhalten ergeben und die Ergebnisse sind nicht mehr miteinander vergleichbar. Die Fahrzeuge wurden mit einem GPS - Empfänger der Firma RACELOGIC mit 20 Hz Aufzeichnungsrate ausgerüstet. Um später bei der Auswertung Schaltpunkte ermitteln zu können, wurde das Dieselfahrzeug mit Schaltgetriebe mit einem Drehzahlmessgerät der Firma CAPALEC mit einer Aufzeichnungsrate von 10 Hz ausgestattet. So kann mit der aufgezeichneten Motordrehzahl, der gemessenen Fahrzeuggeschwindigkeit und mit Hilfe der Getriebeübersetzungen der aktuelle Gang errechnet werden.

### 4.3.3 Fahrstile und Fahrer

Als Testfahrer wurden drei männliche Institutsmitarbeiter der Technischen Universität Graz im Altersbereich zwischen 25 und 50 Jahren ausgewählt. Die Fahrer wurden nach einer kurzen Fahrzeuginstruktion und einer Erläuterung der Aufgabe auf die Teststrecke geschickt. Es sollten jeweils drei verschiedene Fahrstile zur Anwendung kommen. Die Fahrstile wurden folgendermaßen bezeichnet: normal, aggressiv und ökonomisch. In Tabelle 7 sind die Fahrstilvarianten aufgelistet und ihre Bedeutung erklärt.

**Tabelle 7:** Fahrstile und Vorgaben für die Fahrer

<b>Fahrstil</b>	<b>Erklärung</b>
normal	Fahrer sollte seinen üblichen Fahrstil anwenden
aggressiv	Fahrer wurde mit der Vorgabe, das Ziel in möglichst kurzer Zeit zu erreichen auf die Teststrecke geschickt
ökonomisch	Fahrer sollte versuchen, den Kraftstoffverbrauch möglichst niedrig zu halten, mit zum Beispiel sehr vorausschauender Fahrweise

Die Strecke wurde jeweils zweimal pro Fahrstil von ein und demselben Fahrer absolviert. Bei den Varianten „aggressiv“ und „ökonomisch“ sollte der Lenker die vom Hersteller angebotenen Betriebswahlschalter als Unterstützung verwenden. So wurde bei dem Hybridfahrzeug der Power – Modus für die aggressive Runde und der ECO – Modus für die ökonomische Runde gewählt. Mit dieser Auswahl wird laut Hersteller unter anderem das Ansprechverhalten des Gaspedals verändert. Das konventionelle Dieselfahrzeug von Opel verfügte über keine derartigen Einrichtungen. Beim Elektrofahrzeug der Firma Magna konnten drei Rekuperationsstufen gewählt werden: große Stadt – kleine Stadt – Überland. Wobei die Stufe „große Stadt“ die größte Rekuperation zur Folge hatte und „Überland“ nur eine sehr eingeschränkte Rekuperation aufwies. Als vierte Betriebsart konnte „Segeln“ gewählt werden. Dabei wurde keine Energie rekuperiert, da das Fahrzeug nur durch seine Fahrwiderstände abgebremst wurde. Im Stadtverkehr bewirkte diese Betriebsart ein sogenanntes „Mitschwimmen“ mit dem Verkehr. Unter „Mitschwimmen“ wird eine sehr passive Fahrweise mit möglichst geringen Beschleunigungen bezeichnet. Aus Zeitgründen konnte mit dem Elektrofahrzeug nur eine Fahrweise aufgenommen werden.

## 5 Messungen auf dem PKW - Rollenprüfstand

### 5.1 Allgemeine Prüfstandsbeschreibung

Die Emissions- und Verbrauchsmessungen wurden auf dem PKW – Rollenprüfstand der Technischen Universität Graz durchgeführt. Lieferfirma des Rollenprüfstands ist die Firma Zöllner. In Tabelle 8 sind die technischen Daten des PKW – Rollenprüfstandes zusammengefasst.

**Tabelle 8:** Technische Daten PKW - Rollenprüfstand

Bremse:	56 kW Gleichstrommaschine 140 kW Wirbelstrombremse
Simulierbare Fahrzeugmasse:	567 kg bis 2325 kg (kleinste Schrittweite 55 kg)
Maximale Geschwindigkeit:	160 km/h

Auf diesem Prüfstand ist sowohl ein stationärer als auch ein instationärer Betrieb wählbar. Dabei ist sowohl Schleppbetrieb als auch Bremsbetrieb möglich. Im Stationärbetrieb (Leistungsprüfstand) kann die Regelung entweder über eine konstante Zugkraft oder über eine konstante Fahrgeschwindigkeit erfolgen. Bei der Regelung über die konstante Zugkraft bleibt das Antriebsmoment an den Antriebsrädern über dem Fahrgeschwindigkeitsbereich konstant. Im zweiten Fall, der Regelung bei konstanter Fahrgeschwindigkeit, wird die Raddrehzahl der Antriebsräder konstant gehalten und die Zugkraft wird durch die Motorlast eingestellt. Bei der Fahrwiderstandssimulation (Instationärbetrieb) wird die Simulation von Fahrwiderstandskennlinien ermöglicht. [4]

Um Messungen bei verschiedenen Temperaturniveaus durchführen zu können, wurde der Prüfstandsraum mit einer Klimaanlage ausgestattet. Damit sind Raumtemperaturen zwischen -30°C und 40°C einstellbar. Es besteht die Möglichkeit, während der gesamten Messdauer eines NEDC Prüfzyklus die Temperatur auf -10°C konstant zu halten. [4]

## 5.2 Emissions- und Partikelmessung

Die Emissionsmessung am Rollenprüfstand erfolgt über eine CVS – Anlage und Abgasanalytoren der Firma AVL (CEB II). Damit ist es möglich gasförmige Emissionen wie  $\text{CO}_2$ , CO, HC und  $\text{NO}_x$  als Summenwert (Beutelwerte) und in einem zeitlichen Verlauf zu messen und anschließend auszugeben. Die Partikelmasse wird gravimetrisch gemessen. Anhand der Kohlenstoffbilanz aus den gemessenen gasförmigen Emissionen kann der Verbrauch errechnet werden.

Weiters arbeitet die CVS – Anlage mit 3 Venturi – Düsen, mit denen unterschiedliche Schaltungen möglich sind und dadurch die Verdünnungsraten eingestellt werden können.

Für die Messung von Partikelanzahl bzw. für die Bestimmung der Partikelgrößenverteilung kommen folgende Messgeräte zum Einsatz: SMPS, Firma TSI. Dieses System besteht aus einem „Electrostatic Classifier“, einem „Differential Mobility Analyzer (Model 3081) und einem Kondensationskernzähler (CPC 3010) für stationäre hochauflösende Messung der Partikelanzahl und Größenverteilung.

Für die dynamische Messung der gesamten Partikelanzahl wird ein Kondensationskernzähler (CPC 3010 und CPC 3775) verwendet. [4]

In Abbildung 11 ist der PKW – Rollenprüfstand schematisch dargestellt.

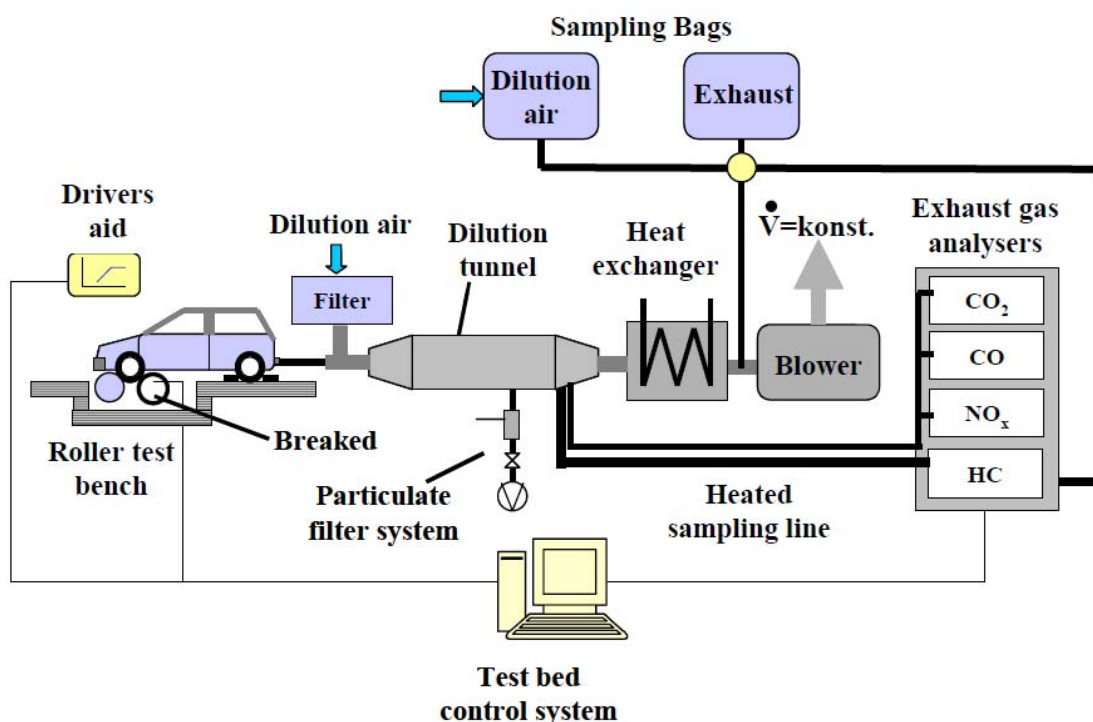


Abbildung 11: Schematischer Aufbau des PKW - Rollenprüfstands

### 5.3 Messung von Hybridfahrzeugen

Für die Messung von Hybridfahrzeugen am PKW – Rollenprüfstand gibt es gesonderte Auflagen der EU. Der Grund dafür ist, dass sich nicht nur eine Energiequelle im Kraftfahrzeug befindet, sondern zwei. Mit der mitgeführten Batterie ist ein weiterer Energiespeicher neben dem Kraftstofftank im Fahrzeug integriert. Der Verbrauch und im umgekehrten Fall die Speicherung von elektrischer Energie kann über die Abgasanalyse und der im Anschluss berechneten Kohlenstoffbilanz nicht bestimmt werden. In den meisten Fällen entspricht der Ladezustand der Batterie am Beginn der Messung nicht dem Ladezustand am Ende der Messung. Entweder es wurde mehr elektrische Energie in die Batterie gespeichert als entnommen, oder im umgekehrten Fall wurde über die Prüfdauer mehr elektrische Energie entnommen als wieder zurückgespeichert. Daher sind zusätzliche Messungen und Berechnungen notwendig, um ein Hybridfahrzeug mit einem konventionellen Fahrzeug, das nur eine Verbrennungskraftmaschine besitzt, in den Punkten Verbrauch und Emissionen vergleichen zu können.

In diesem Kapitel werden nur jene Maßnahmen zur normgerechten Messung von Hybridfahrzeugen angeführt, die bei den im Rahmen dieser Diplomarbeit verwendeten Hybridfahrzeugen von Bedeutung sind.

Laut Norm [2] werden die Hybridfahrzeuge in folgende Gruppen, wie Tabelle 9 zeigt, eingeteilt.

**Tabelle 9:** Einteilung von Hybrid – Elektro – Fahrzeugen [2]

<b>Aufladung des Fahrzeugs</b>	Extern aufladbar		Nicht extern aufladbar	
<b>Betriebsartschalter</b>	ohne	mit	ohne	mit

Mit Betriebsarten sind zum Beispiel folgende Fahrmodi gemeint: Sport-, Spar- und Stadtfahrbetrieb bzw. reiner Elektrobetrieb, reiner Kraftstoffbetrieb oder Hybridbetrieb. [2]

Bei den gemessenen Hybridfahrzeugen handelt es sich um nicht extern aufladbare Hybridfahrzeuge mit Betriebsartschalter. Für diese Fahrzeuge schreibt die Norm neben den üblichen Vorgaben zur Messung von Personenkraftfahrzeugen noch zusätzlich folgende Vorgehensweise vor:

- Die Messung muss in jener Betriebsart durchgeführt werden, in dem sich das Fahrzeug nach dem Drehen des Zündschlüssels befindet. Diese Betriebsart wird auch als „normale Betriebsart“ bezeichnet. [2]
- Da der Typprüfzyklus, der NEDC, aus zwei Teilen, einem Stadtfahrzyklus und einem außerstädtischem Fahrzyklus besteht, müssen auch der Kraftstoffverbrauch und die Emissionen getrennt betrachtet und bestimmt werden. [2]

In weiterer Folge müssen die Messergebnisse korrigiert werden, da der Verbrauch und die Emissionen auf eine Ladebilanz von Null bezogen werden müssen. Die Ladebilanz  $Q$ , die auch für beide Teile des Prüfzyklus NEDC separat gemessen und ausgewertet werden muss, dient als Maß für den unterschiedlichen Energieinhalt der Hybridbatterie vor und nach der Messung.  $Q$  wird durch die Integration der Stromwerte berechnet und in Ah ausgegeben. Der Batteriestrom wird mit Hilfe eines Stromwandlers gemessen, der eine Mindestgenauigkeit von 0,5% des Messwertes oder 0,1% des Höchstwertes auf der Skala aufweist. Weiters muss der Stromwandler an einem Kabel angebracht werden, das direkt mit der Batterie verbunden ist. Laut Norm muss die Mindestabtastfrequenz, mit der das Ausgangssignal erfasst wird, 5 Hz betragen. Zusätzlich muss die Temperatur an der Strommessstelle mit derselben Abtastfrequenz erfasst werden, um bei Bedarf die Drift von den Strom- und Spannungswandlern kompensieren zu können. Die Messung von dem Batteriestrom muss zur gleichen Zeit wie die Prüfung beginnen und enden. [2]

### 5.3.1 Normgerechte Auswertung

Um den Verbrauch korrigieren zu können muss ein sogenannter Korrekturkoeffizient berechnet werden. Dafür sollte mindestens eine Messung mit  $Q_i < 0$  und eine mit  $Q_i > 0$  in der Messreihe enthalten sein.

Dieser Faktor wird nach Norm [2] mit Formel 9 berechnet.

**Formel 9:** Korrekturkoeffizient [2]

$$K_{fuel} = \frac{n \cdot \sum Q_i C_i - \sum Q_i \cdot \sum C_i}{n \cdot \sum Q_i^2 - (\sum Q_i)^2}$$

$K_{fuel}$ [l/100km/Ah]	Korrekturkoeffizient
$C_i$ [l/100km]	Der während der $i$ – ten Prüfung des Herstellers gemessene Kraftstoffverbrauch
$Q_i$ [Ah]	Die während der $i$ – ten Prüfung des Herstellers gemessene Ladebilanz
$n$	Die Zahl der Daten

In weiterer Folge kann mit Hilfe des Korrekturkoeffizienten der Kraftstoffverbrauch bei einer Ladebilanz von Null ( $C_0$ ) berechnet werden. Eine Ladebilanz von Null liegt dann vor, wenn der Ladezustand vor der Messung mit dem Ladezustand nach der Messung übereinstimmt.

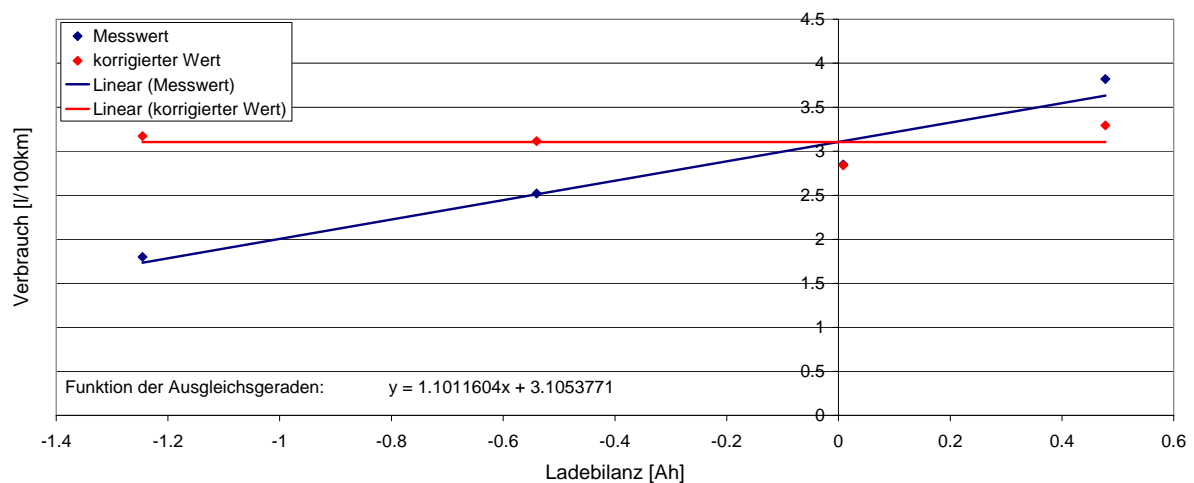
Formel 10 beschreibt die Korrektur des gemessenen Kraftstoffverbrauchs.

**Formel 10:** Korrigierter Kraftstoffverbrauch [2]

$$C_0 = C - K_{fuel} \cdot Q$$

$C_0$ [l/100km]	Kraftstoffverbrauch bei einer Ladebilanz von Null
$C$ [l/100km]	Der während der Prüfung gemessene Kraftstoffverbrauch
$K_{fuel}$ [l/100km/Ah]	Korrekturkoeffizient
$Q$ [Ah]	Die während der Prüfung gemessene Ladebilanz

In Abbildung 12 ist die Korrektur der Messergebnisse dargestellt. Als Beispiel dient die Messung eines Toyota Prius III in Phase 1 des NEDC. Dafür sind vier Messungen mit jeweils vier unterschiedlichen Batterieladezuständen zu Beginn des Tests durchgeführt worden. Die Ladezustände am Beginn der Messung waren 25%, 50%, 75% und 100% der nutzbaren Batteriekapazität.



**Abbildung 12:** Korrektur des gemessenen Verbrauchs des Toyota Prius III im UDC

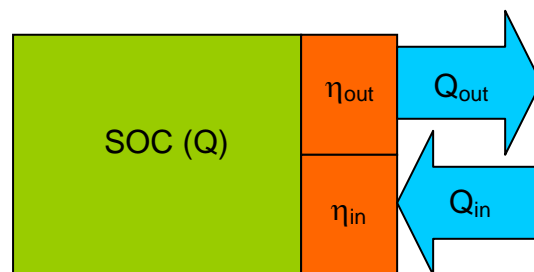
Der berechnete Wert des Korrekturkoeffizienten beträgt im oben dargestellten Fall  $K_{fuel} = 1,101$  l/100km/Ah. In Abbildung 12 ist gut erkennbar, dass der Korrekturkoeffizient der Steigung der Ausgleichsgeraden durch die Messwerte entspricht.



### 5.3.2 Korrektur unter Berücksichtigung der Batteriewirkungsgrade

Bei der Korrektur der Messergebnisse nach der Norm [2] ist der Lade- und Entladewirkungsgrad der Batterie nicht berücksichtigt. Daher wurde im Rahmen des 18<sup>th</sup> International Symposium Transport and Air Pollution [1] ein Ansatz vorgestellt, wie diese Wirkungsgrade mitberücksichtigt werden können.

Wird die Batterie als Speicher für zum Beispiel rückgewonnene Energie (Bremsenergie) oder auch für Lastpunktanhebungen genutzt, ergibt sich eine wie in Abbildung 13 dargestellte Wirkungsgradkette.



**Abbildung 13:** Wirkungsgradkette beim Laden- und Entladen der Batterie [1]

Die Auswirkungen auf die Ladebilanz können mit Formel 11 beschrieben werden.

**Formel 11:** Ladebilanz unter Berücksichtigung der Lade- und Entladewirkungsgrade [1]

$$Q = \int \eta_{in}(t) \cdot \frac{dQ_{in}}{dt} \partial t - \int \frac{1}{\eta_{out}(t)} \cdot \frac{dQ_{out}}{dt} \partial t$$

$\eta_{in}$ [1]	Ladewirkungsgrad der Batterie
$\eta_{out}$ [1]	Entladewirkungsgrad der Batterie
Q [Ah]	Ladebilanz
$Q_{in}$ [Ah]	Energiefluss in die Batterie
$Q_{out}$ [Ah]	Energiefluss aus der Batterie

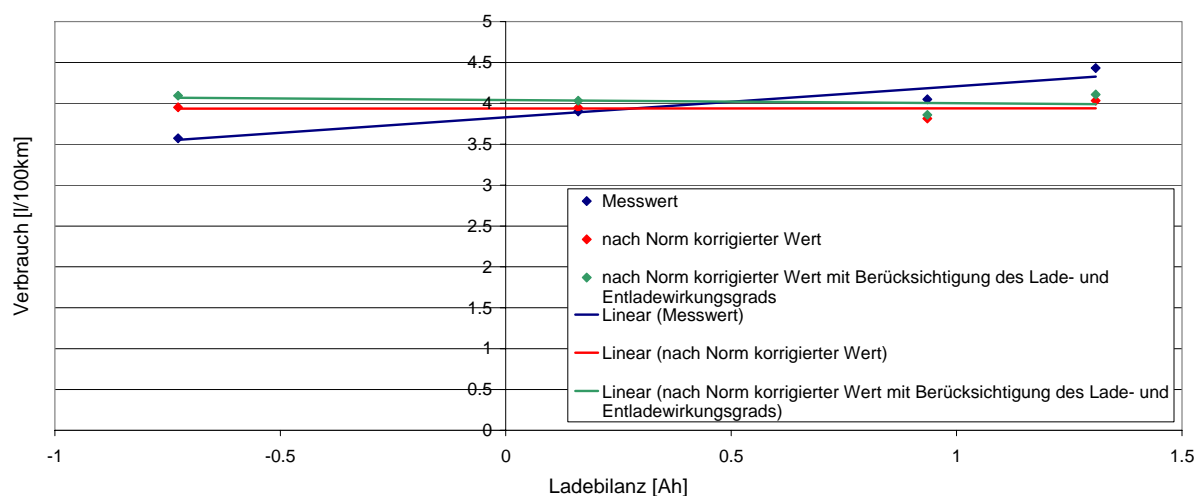
Betrachtet man den Lade- und Entladewirkungsgrad während der Messdauer als konstant, kann die Relation zwischen  $Q_{in}$  und  $Q_{out}$  mit Formel 12 beschrieben werden.

**Formel 12:** Berechnung der Energieflüsse mit konstanten Wirkungsgraden [1]

$$Q_{out} = \eta_{in} \cdot \eta_{out} \cdot Q_{in}$$

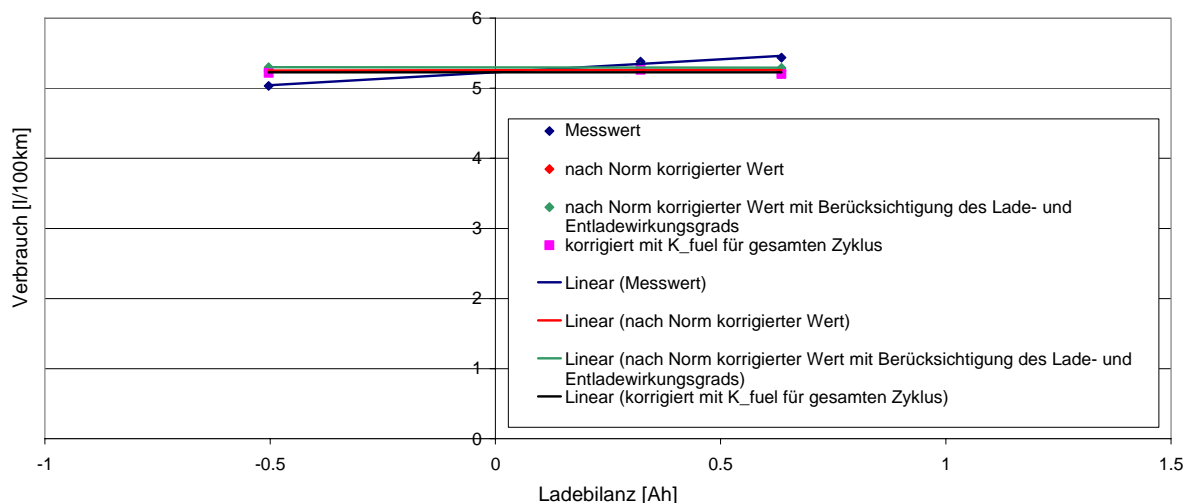
$\eta_{in}$ [1]	Ladewirkungsgrad der Batterie
$\eta_{out}$ [1]	Entladewirkungsgrad der Batterie
$Q_{in}$ [Ah]	Energiefluss in die Batterie
$Q_{out}$ [Ah]	Energiefluss aus der Batterie

Wird das Messergebnis zusätzlich mit den Lade- und Entladewirkungsgraden korrigiert, kommt es zu einer Verschiebung der Verbrauchswerte nach Oben, wie in Abbildung 14 gut erkennbar ist. Für den Lade- und Entladewirkungsgrad wurde jeweils ein Wert von 90% angenommen. In der Wirkungsgradkette ergibt dies einen Wert von 81%. [6] In Abbildung 14 sind einerseits die Messergebnisse und andererseits die korrigierten Werte eingetragen. Für die Berechnung wurden die beiden Phasen des Typprüfzyklus NEDC getrennt betrachtet und korrigiert. Diese korrigierten Werte wurden anschließend anteilmäßig zusammengesetzt, um den durchschnittlichen Verbrauch in l/100 km über den gesamten Zyklus zu erhalten. Wie schon in Abbildung 12 diente auch hier der Toyota Prius III als Testfahrzeug.



**Abbildung 14:** Korrektur der Messwerte mit einbezogenen Lade- und Entladewirkungsgraden im Typprüfzyklus NEDC

Da die normgerechte Korrektur der Messwerte einen hohen Mess- und Zeitaufwand verursacht, wurden für die Korrektur der Messwerte des Honda Insight im Zuge dieser Diplomarbeit nicht wie die Norm vorschreibt, zwei getrennte Korrekturkoeffizienten berechnet, sondern nur einer über den gesamten Zyklus. Mit diesem Korrekturkoeffizient wurden, um den Messaufwand in Grenzen zu halten, alle übrigen Messungen der Stadtzyklen korrigiert. Bei kleinen Ladebilanzen ist der Unterschied zwischen normgerechter Korrektur und Korrektur nur mit einem Koeffizient, wie in Abbildung 15 zu sehen ist, sehr gering.



**Abbildung 15:** Korrektur der Messwerte des Honda Insight im Typprüfzyklus NEDC nach Norm, mit Lade- Entladewirkungsgrad und mit  $K_{\text{fuel}}$  für den gesamten Zyklus

## 5.4 Gemessene Fahrzeuge

Für die Messungen am Rollenprüfstand wurde ein handelsübliches Hybridfahrzeug gesucht. Es sollte sich um ein Fahrzeug der Mittelklasse handeln. Daher wurde ein Honda Insight ausgewählt. Damit die Werte im Anschluss an die Messungen verglichen werden können, sollte das konventionelle Fahrzeug ebenfalls ein Mittelklassefahrzeug mit etwa derselben Motorisierung sein. Da es sich beim Honda Insight um ein Hybridfahrzeug mit Benzinmotor handelt, wurde ein Honda Civic mit Benzinmotor als Vergleichsfahrzeug gewählt. Weiters sollte das konventionelle Fahrzeug eine Gangschaltung besitzen, um auch das unterschiedliche Schaltverhalten in die Messung mit einbeziehen zu können. Die beiden Fahrzeuge wurden uns von der Firma Honda Hütter in Graz kostenlos zur Verfügung gestellt.

### 5.4.1 Honda Insight

Beim Honda Insight handelt es sich um einen Parallelhybrid, wobei nur in einem sehr kleinen Betriebsbereich rein elektrisch gefahren werden kann.

Im Normalfall bestehen folgende Antriebsmöglichkeiten:

- Fahrbetrieb nur mit der Verbrennungskraftmaschine
- Verbrennungskraftmaschine wird vom Elektromotor unterstützt
- Beim Verzögern arbeitet der Elektromotor als Generator und speichert Energie in die Batterie

Die technischen Daten des Honda Insight 1.3 Elegance sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

**Tabelle 10:** Technische Daten Honda Insight Elegance [14]

<b><i>Benzinmotor:</i></b>	Vierzylinder Reihenmotor
Hubraum	1339 ccm
Maximale Leistung:	65 kW bei 5800 U/min
Maximales Drehmoment:	121 Nm bei 4500 U/min
Abgaskategorie:	Euro 5
<b><i>Elektromotor</i></b>	
Maximale Leistung:	10 kW bei 1500 U/min
Maximales Drehmoment:	92 Nm von 0 - 500 U/min
<b><i>Kraftstoffverbrauch:</i></b>	
Innerorts:	4,7 l/100km
Außerorts:	4,5 l/100km
Kombiniert:	4,6 l/100km
<b><i>Kraftübertragung:</i></b>	CVT - Automatikgetriebe
<b><i>Leergewicht:</i></b>	1276 kg

### 5.4.2 Honda Civic

Beim Honda Civic 1.4 handelte es sich um die Ausstattungsvariante Comfort. Die technischen Daten sind in Tabelle 11 zusammengefasst.

**Tabelle 11:** Technische Daten Honda Civic Comfort [13]

<b><i>Benzinmotor:</i></b>	Vierzylinder Reihenmotor
Hubraum	1339 ccm
Maximale Leistung:	73 kW bei 6000 U/min
Maximales Drehmoment:	127 Nm bei 4800 U/min
Abgaskategorie:	Euro 5
<b><i>Kraftstoffverbrauch:</i></b>	
Innerorts:	7,3 l/100km
Außerorts:	5,0 l/100km
Kombiniert:	5,9 l/100km
<b><i>Kraftübertragung:</i></b>	6 Gang Schaltgetriebe
<b><i>Leergewicht:</i></b>	1257 kg

### 5.4.3 Toyota Prius III

Da Toyota mit der Modellreihe Prius das meistverkaufte Hybridfahrzeug auf den Markt gebracht hat, wurde das aktuelle und neueste Hybridmodell, der Prius III, als Basis für das durchschnittliche Hybridfahrzeug in der Simulation gewählt. Für das Simulationsmodell wurden die Leistungsdaten der elektrischen Komponenten übernommen. Dazu gehört neben den Elektromotoren auch die Batterie des Fahrzeugs. In diesem Kapitel wird der Toyota Prius III prinzipiell beschrieben, um im Anschluss in Kapitel 7 die Unterschiede zum im PHEM erstellten durchschnittlichen Hybridfahrzeug aufzeigen und erklären zu können. Im Modell PHEM mussten einige Vereinfachungen, wie zum Beispiel beim Getriebe, gemacht werden. Daher ergeben sich auch Unterschiede bei der Simulation im Gegensatz zu der am PKW – Rollenprüfstand durchgeführten Messung des Toyota Prius III.

Die technischen Daten des Toyota Prius III sind in Tabelle 12 zusammengefasst.

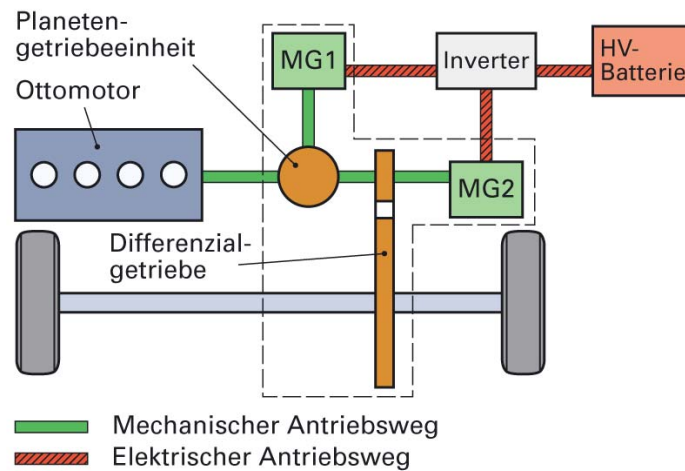
**Tabelle 12:** Technische Daten Toyota Prius III

<b>Benzinmotor:</b>	Vierzylinder Reihenmotor
Hubraum	1798 ccm
Maximale Leistung:	73 kW bei 5200 U/min
Maximales Drehmoment:	142 Nm bei 4000 U/min
Abgaskategorie:	Euro 5
<b>Elektromotor</b>	
Maximale Leistung:	60 kW
Maximale Spannung:	650 V
<b>Kraftstoffverbrauch:</b>	
Innerorts:	3,9 l/100km
Außerorts:	3,7 l/100km
Kombiniert:	3,9 l/100km
<b>Kraftübertragung:</b>	CVT - Getriebe
<b>Leergewicht:</b>	1420 kg

#### **Aufbau des Mischhybridantriebs**

Der Toyota Prius III gehört zur Fahrzeuggruppe mit Mischhybridantrieb. Diese Art von Hybridantrieb hat neben dem Verbrennungsmotor, meist ein Ottomotor (einfache und kostengünstige Abgasnachbehandlung), zwei Elektromotoren, die auch wahlweise als Generatoren arbeiten können, eingebaut. Sie werden auch als Motorgeneratoren (MG) bezeichnet. Die Verbindung zwischen den Motorgeneratoren und dem Verbrennungsmotor bildet ein Planetengetriebe. Ein Inverter wandelt wahlweise den Wechselstrom in Gleichstrom um, oder in umgekehrter Reihenfolge, den Gleichstrom in Wechselstrom. Die Stromversorgung wird von einer Batterie sichergestellt. Diese Batterie speichert die rückgewonnene oder generierte Energie und gibt sie zur Unterstützung der Verbrennungskraftmaschine wieder ab.

In Abbildung 16 ist der Schematische Aufbau dieses Hybridantriebs zu sehen. [8]



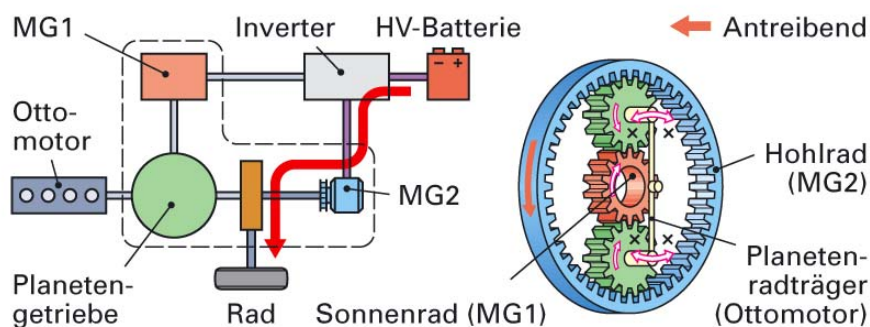
**Abbildung 16:** Aufbau eines Mischhybrids [8]

### **Arbeitsweise des Mischhybrids**

Mit nachfolgenden Abbildungen wird die Arbeitsweise eines leistungsverzweigten Hybridantriebs (Mischhybrid) näher beschrieben.

#### **Anfahren:**

Beim Anfahren stellt MG2 die Antriebskraft zur Verfügung. Der Verbrennungsmotor steht dabei still und MG1 dreht sich in entgegengesetzter Richtung. Motorgenerator 1 erzeugt dabei keine elektrische Energie. [8]



**Abbildung 17:** Anfahren [8]

### Anlassen der Verbrennungskraftmaschine:

Steigt das zum Fahren erforderliche Drehmoment während nur MG2 antreibt an, wird mit Hilfe von MG1 der Verbrennungsmotor gestartet. Weitere Gründe für den Start des Verbrennungsmotors stellen ein zu niedriger Ladezustand der Batterie oder eine vom vorgeschriebenen Niveau abweichende Batterietemperatur dar. [8]

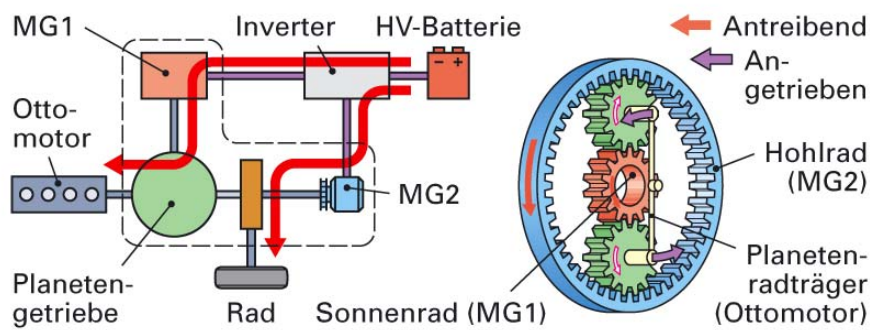


Abbildung 18: Anlassen der Verbrennungskraftmaschine [8]

### Fahren mit geringer Belastung:

Die Antriebskraft der Verbrennungskraftmaschine wird über das Planetengetriebe aufgeteilt. Ein Teil wird für den Antrieb der Räder verwendet und der andere Teil wird über MG1 zum Laden der Batterie eingesetzt. [8]

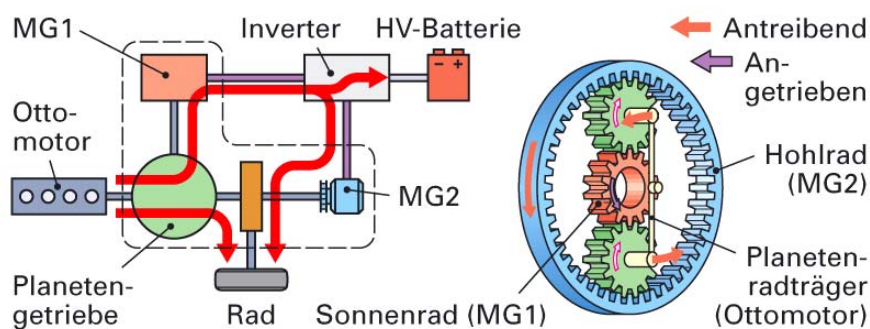


Abbildung 19: Fahren mit geringer Belastung [8]

**Maximale Beschleunigung:**

Werden hohe Antriebsleistungen vom Fahrzeug benötigt, wird die Antriebskraft mit MG2, der zusätzlich elektrische Energie aus der Batterie bezieht, erhöht. [8]

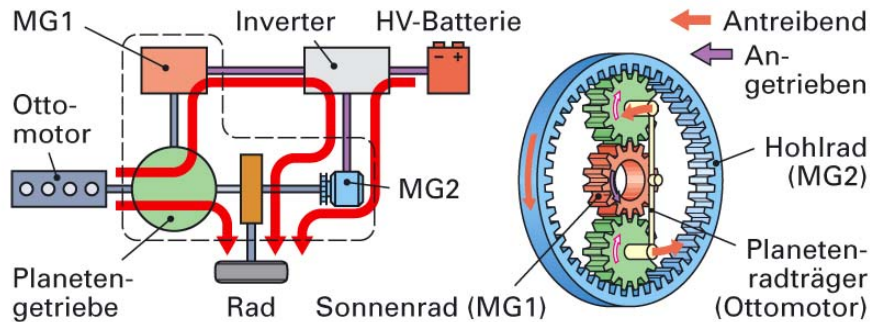


Abbildung 20: Maximale Beschleunigung [8]

**Verzögerung:**

Bei Verzögerung des Kraftfahrzeugs wird die Verbrennungskraftmaschine ausgeschaltet. Der Motorgenerator MG2 wird durch die Antriebsräder angetrieben, der nun als Generator arbeitet und die Batterie lädt. Nur wenn das Fahrzeug aus höheren Geschwindigkeitsbereichen abgebremst wird, behält die Verbrennungskraftmaschine zum Schutz des Planetengetriebes eine vordefinierte Drehzahl bei. [8]

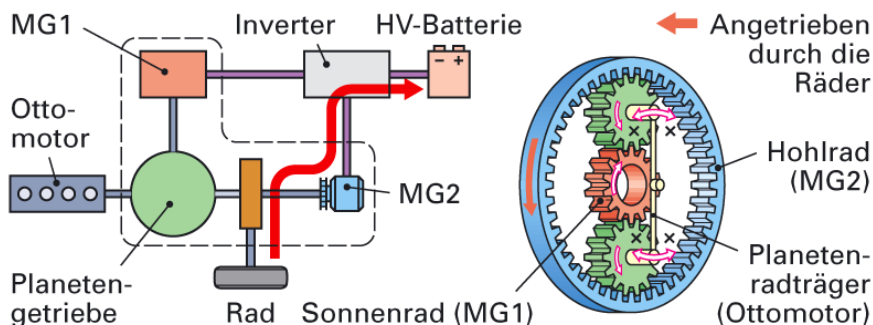


Abbildung 21: Verzögerung [8]

**Rückwärtsfahrt:**

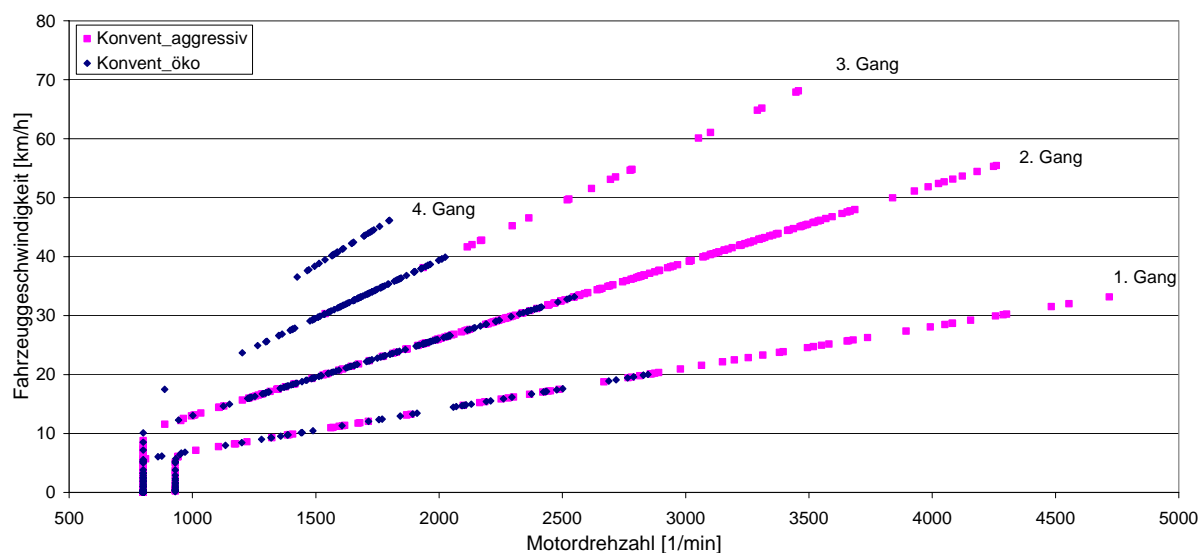
Bei Retourfahrt des Fahrzeugs erfolgt der Antrieb ausschließlich über MG2.



## 5.5 Berechnung der Schaltpunkte

Für die Messung von einem Fahrzeug mit Schaltgetriebe am PKW – Rollenprüfstand müssen neben dem Geschwindigkeitsverlauf auch die Schaltpunkte vorgegeben werden. Diese Schaltpunkte können mit dem Simulationsprogramm PHEM für einen beliebigen Geschwindigkeitsverlauf erstellt werden. Bei dieser Diplomarbeit wurden die Schaltpunkte für die in Kapitel 6.1.3 beschriebenen Verläufe ermittelt. Um aussagekräftige Schaltpunkte für die Messung zu erhalten, musste das zu prüfende Fahrzeug im Simulationsprogramm nachgebildet werden. Dabei waren die Getriebeübersetzungen, die Masse und der Fahrwiderstand von großer Bedeutung, um realistische Werte zu erhalten. Für das Modell der Verbrennungskraftmaschine wurde die Motorisierung eines durchschnittlichen Benzinfahrzeugs der Abgasstufe Euro 5 verwendet, da kein separates Motorkennfeld für das Prüffahrzeug existiert hat. Die Unterschiede beim Schaltverhalten der Fahrer zwischen aggressiver, ökonomischer und normaler Fahrweise kann durch Auswahl einer dieser Fahrweisen im Modell simuliert werden.

Die aggressive Fahrweise weist durch das späte Hochschalten deutlich höhere Motordrehzahlen auf. Dieses Verhalten ist in Abbildung 22, in der ein Vergleich zwischen ökonomischer und aggressiver Fahrweise dargestellt ist, gut zu erkennen. Während bei der ökonomischen Fahrweise bereits bei Drehzahlen unter 2000 U/min der Gang gewechselt wird, sind bei der aggressiven Fahrweise Drehzahlen bis zu 4700 U/min vorhanden.



**Abbildung 22:** Motordrehzahlen bei aggressiver und ökonomischer Fahrweise, PKW mit Ottomotor Euro 5 in den Zyklen Konvent\_aggressiv und Konvent\_öko

## 6 Analyse der Messungen

### 6.1 Straßenfahrten

#### 6.1.1 Auswertung der GPS - Messungen

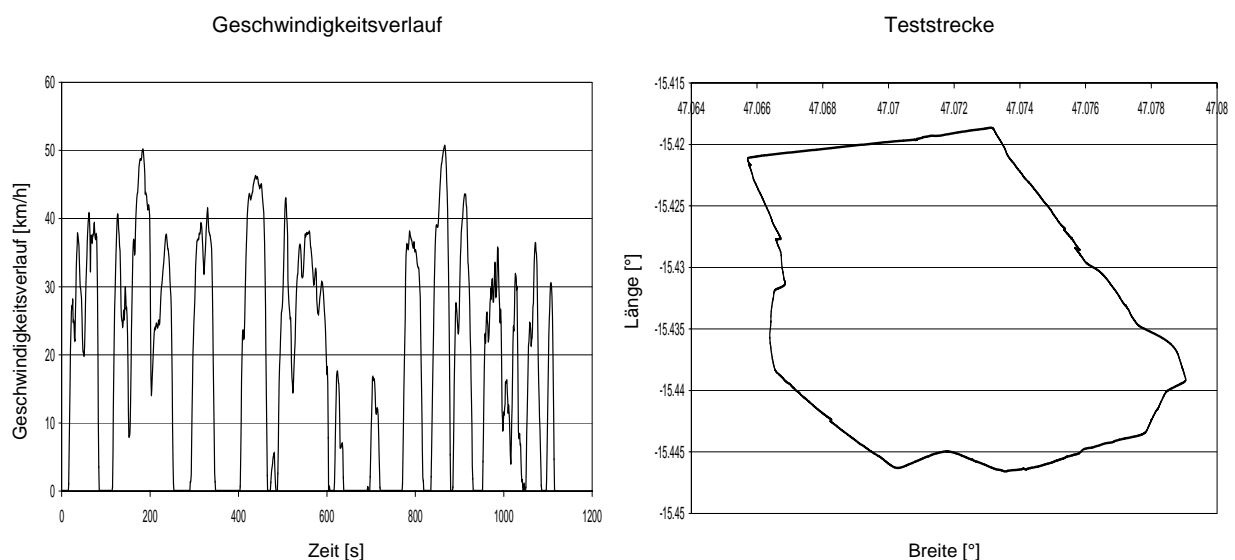
Aus den in Kapitel 4.3 angeführten Kombinationen aus Fahrstilen und Fahrzeugen wurden verschiedene Zyklusnamen abgeleitet. Der erste Teil des Namens beinhaltet den Fahrzeugtyp und der zweite Teil den Fahrstil. In Tabelle 13 ist jeweils der Zyklusname mit einer kurzen Erläuterung angeführt.

**Tabelle 13:** Zyklusname mit Fahrzeug- und Fahrstilzuordnung

Zyklusname	Fahrzeug	Fahrstil
Konvent - normal	Dieselfahrzeug Opel Zafira	normal
Konvent - aggressiv	Dieselfahrzeug Opel Zafira	aggressiv
Konvent - öko	Dieselfahrzeug Opel Zafira	ökonomisch
Hybrid - normal	Hybridfahrzeug Toyota Prius III	normal
Hybrid - aggressiv	Hybridfahrzeug Toyota Prius III	aggressiv
Hybrid - öko	Hybridfahrzeug Toyota Prius III	ökonomisch
Elektro - Fahrweise	Elektrofahrzeug Magna	normal

Wie bereits in Kapitel 4.3.3 erwähnt, konnte aus Zeitgründen mit dem Elektrofahrzeug nur eine Fahrweise aufgenommen werden. Diese Fahrweise entspricht dem normalen Fahrstil mit dem Prototyp der Firma Magna.

Zur Veranschaulichung der GPS – Messergebnisse sind in Abbildung 23 die Fahrtstrecke und der Geschwindigkeitsverlauf einer Testrunde dargestellt.



**Abbildung 23:** Geschwindigkeitsverlauf und Teststrecke mit GPS aufgezeichnet

### 6.1.2 Ermittlung repräsentativer Fahrzyklen aus den Messungen

Für die Ermittlung von Testzyklen wurde ein systematisches Verfahren angewendet, das bereits im Zuge einer Dissertation [20] an der Technischen Universität Graz erarbeitet wurde. Ziel der Auswertung war es, für die Messungen auf dem PKW – Rollenprüfstand fahrbare Kurztests aus den GPS – Messergebnissen zu extrahieren. Diese Zyklen sollten eine Dauer von 10 Minuten nicht überschreiten.

Mit Hilfe des Simulationsprogramms PHEM, indem ein durchschnittliches EURO 4 Dieselfahrzeug die Simulationsgrundlage darstellte, wurden die Emissionen, der Verbrauch und verschiedene Dynamikparameter simuliert. Über diese Simulationsergebnisse und über die aus den GPS – Messungen ermittelten kinematischen Parameter wurde der gleitende Mittelwert über eine definierte Zeitspanne von 480 Sekunden gebildet. Die prozentuelle Abweichung der betrachteten Zeitspanne bezieht sich immer auf den Mittelwert der gesamten Messzeit. [20] Die Beurteilungsgrößen mit ihrer zulässigen Abweichung sind in Tabelle 14 angeführt.

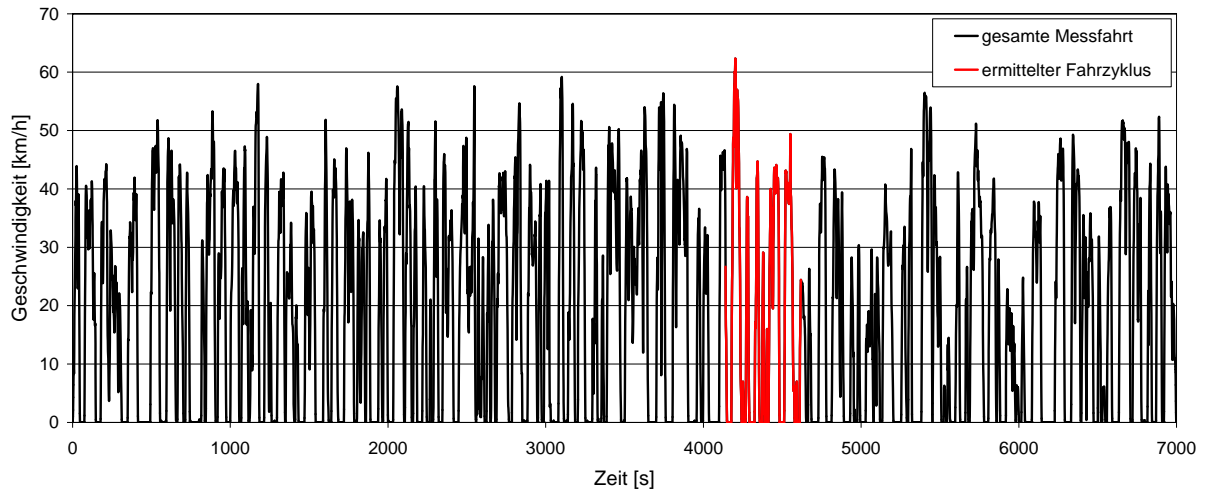
**Tabelle 14:** Beurteilungsgrößen mit ihren Gewichtungen [21]

<b>Beurteilungsgröße</b>	<b>Zulässige Abweichung</b>	<b>Gewichtungsfaktor</b>
Ø positive Motorleistung $P_{\text{pos}}$	3%	1
Ø negative Motorleistung $P_{\text{neg}}$	5%	0.5
Motorleistung $P_e$	3%	0.75
Motordrehzahl $n_{\text{norm}}$	3%	0.75
Kraftstoffverbrauch	2%	1
Emissionen (CO, HC, NO <sub>x</sub> & PM)	5% (NO <sub>x</sub> , PM), 10% (CO, HC)	0.75 (NO <sub>x</sub> , PM), 0.3 (CO, HC)
Dynamikparameter (aus PHEM)	20%	0.24
Ø Beschleunigung	3%	1
Ø Verzögerung	5%	0.5
Stillstand	5%	0.75
Cruiseanteil	5%	1
Ø Geschwindigkeit	2%	1

Eine Gewichtung der einzelnen Beurteilungsgrößen war notwendig, um jene Zeitspanne ermitteln zu können, die die geringste Abweichung vom Mittelwert der gesamten Messzeit aufweist. Damit erfüllt der für die spezielle Fahrweise ermittelte Zyklus folgende Bedingung: Die Summe der Differenz der Beurteilungsgrößen stellen ein Minimum dar.

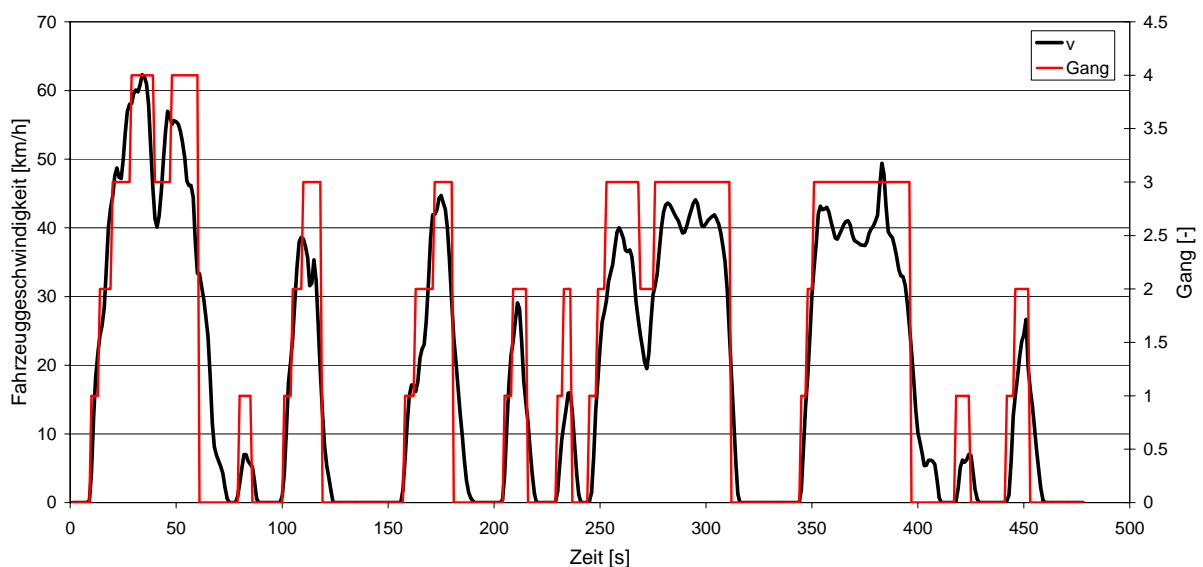
Durch diese Methode ist es möglich, aus den vielen Messergebnissen einen für die spezielle Fahrweise repräsentativen Testzyklus zu finden. [20]

Abbildung 24 zeigt einen aus den gesamten Messdaten ermittelten Zeitabschnitt, der den extrahierten Testzyklus darstellt. Dieser Zeitabschnitt repräsentiert die gesamte Messung am besten.



**Abbildung 24:** Gesamte Messfahrt mit extrahiertem Zyklus Konvent\_normal

In Abbildung 25 ist der ermittelte Geschwindigkeitsverlauf des Testzyklus Konvent\_normal mit seinen Schaltpunkten dargestellt. Die Schaltpunkte wurden während der Messfahrt mit einem Dieselfahrzeug, einem Opel Zafira mit Sechsgangschaltgetriebe, aufgezeichnet.



**Abbildung 25:** Testzyklus Konvent\_normal mit den Schaltpunkten

Für die ermittelten Stadtzyklen, die in Kapitel 6.1.3 näher beschrieben sind, wurde für jede Beurteilungsgröße die prozentuelle Abweichung zur gesamten Messzeit berechnet. Die durchschnittliche Abweichung aller Beurteilungsgrößen sind in Tabelle 15 aufgelistet.

**Tabelle 15:** Ermittelte Stadtzyklen mit der durchschnittlichen Abweichung der Beurteilungsgrößen zur gesamten Messzeit

<b>Hybrid_normal</b>	2,1%	<b>Konvent_normal</b>	3,5%
<b>Hybrid_aggressiv</b>	4,0%	<b>Konvent_aggressiv</b>	4,5%
<b>Hybrid_öko</b>	3,4%	<b>Konvent_öko</b>	3,5%
<b>Elektro_Fahrweise</b>	2,6%		

Zusätzlich zu diesen Größen wurden noch kinematische Parameter analysiert, um zu prüfen, in wieweit die Methode für alle gängigen Parameter gute Durchschnittswerte ergibt. Diese Parameter wurden auch in den nachfolgenden Kapiteln zur Analyse der Fahrzyklen herangezogen. In Tabelle 16 sind die berechneten Parameter aufgelistet und erklärt.

**Tabelle 16:** Beurteilungsgrößen

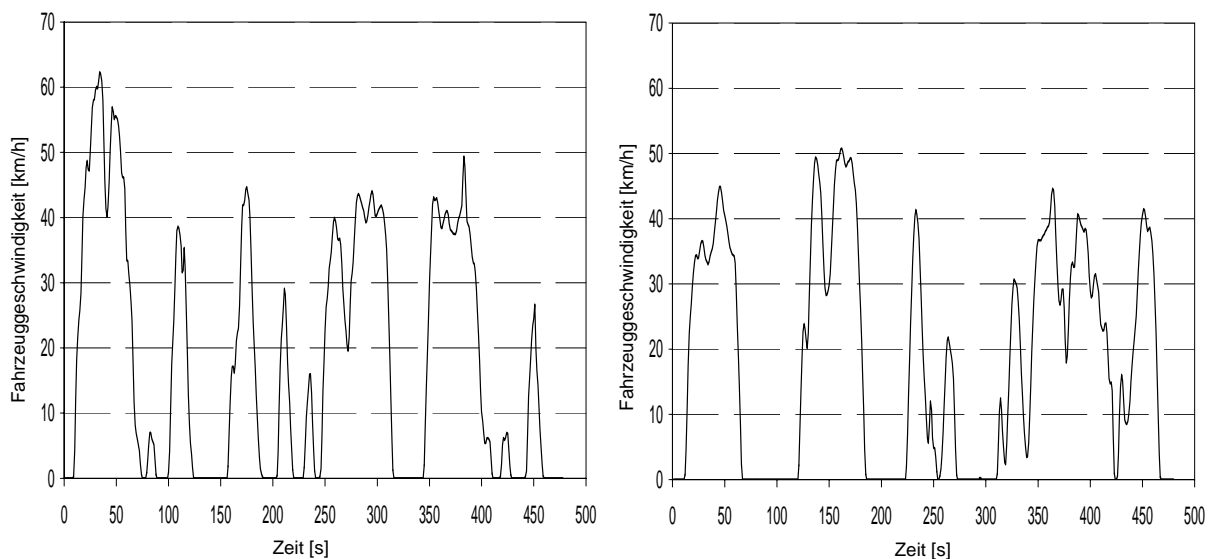
<b>Parameter</b>	<b>Einheit</b>	<b>Erklärung</b>
$a_{max}$	m/s <sup>2</sup>	Maximale Beschleunigung
$a_{min}$	m/s <sup>2</sup>	Maximale negative Beschleunigung
$a_{pos}$	m/s <sup>2</sup>	Durchschnittliche positive Beschleunigung
$a_{neg}$	m/s <sup>2</sup>	Durchschnittliche negative Beschleunigung
$a_{pos15}$	m/s <sup>2</sup>	15 Perzentilwert der positiven Beschleunigung
$a_{pos50}$	m/s <sup>2</sup>	50 Perzentilwert der positiven Beschleunigung
$a_{pos85}$	m/s <sup>2</sup>	85 Perzentilwert der positiven Beschleunigung
$a_{neg15}$	m/s <sup>2</sup>	15 Perzentilwert der negativen Beschleunigung
$a_{neg50}$	m/s <sup>2</sup>	50 Perzentilwert der negativen Beschleunigung
$a_{neg85}$	m/s <sup>2</sup>	85 Perzentilwert der negativen Beschleunigung
$a_{neg}$	%	Prozentueller Anteil an negativer Beschleunigung
$a_{pos}$	%	Prozentueller Anteil an positiver Beschleunigung
$v_{mittel}$	m/s	Mittlere Geschwindigkeit
$v_{max}$	m/s	Maximale Geschwindigkeit
$v_{mittel \text{ o St}}$	m/s	Mittlere Geschwindigkeit ohne Stillstand
$v_{15 \text{ o St}}$	m/s	15 Perzentilwert der Geschwindigkeit ohne Stillstand
$v_{50 \text{ o St}}$	m/s	50 Perzentilwert der Geschwindigkeit ohne Stillstand
$v_{85 \text{ o St}}$	m/s	85 Perzentilwert der Geschwindigkeit ohne Stillstand
$v_{15 \text{ m St}}$	m/s	15 Perzentilwert der Geschwindigkeit mit Stillstand
$v_{50 \text{ m St}}$	m/s	50 Perzentilwert der Geschwindigkeit mit Stillstand
$v_{85 \text{ m St}}$	m/s	85 Perzentilwert der Geschwindigkeit mit Stillstand
St	%	Stillstand bezogen auf die gesamte Testdauer bzw. Messdauer
St	s	Stillstand
Cruise	%	Prozentueller Anteil an konstanter Fahrgeschwindigkeit (Beschleunigung liegt zwischen -0,125 m/s <sup>2</sup> und 0,125 m/s <sup>2</sup> )
Weg	km	Fahrtstrecke
Zeit	s	Testdauer bzw. Messdauer
		Verkehrsbewertung nach Schulnotensystem siehe Tabelle 6

### 6.1.3 Testzyklen

In diesem Kapitel sind alle ermittelten Stadtzyklen zusammengefasst und in Diagrammen dargestellt. In den Tabellen unterhalb sind jeweils die wichtigsten Eckdaten aufgelistet, womit ein direkter Vergleich der einzelnen Zyklen untereinander ermöglicht wird. Das linke Diagramm stellt immer den Geschwindigkeitsverlauf des konventionellen Fahrzeugs dar und das rechte Diagramm beinhaltet den Geschwindigkeitsverlauf des Hybridfahrzeugs.

#### Normale Fahrweise

Bei der normalen Fahrweise haben die Fahrer die Stadtrunde mit ihrem gewohnten Fahrstil zurückgelegt.



**Abbildung 26:** Normale Fahrweise konventionelles Fahrzeug (links) und Hybridfahrzeug (rechts)

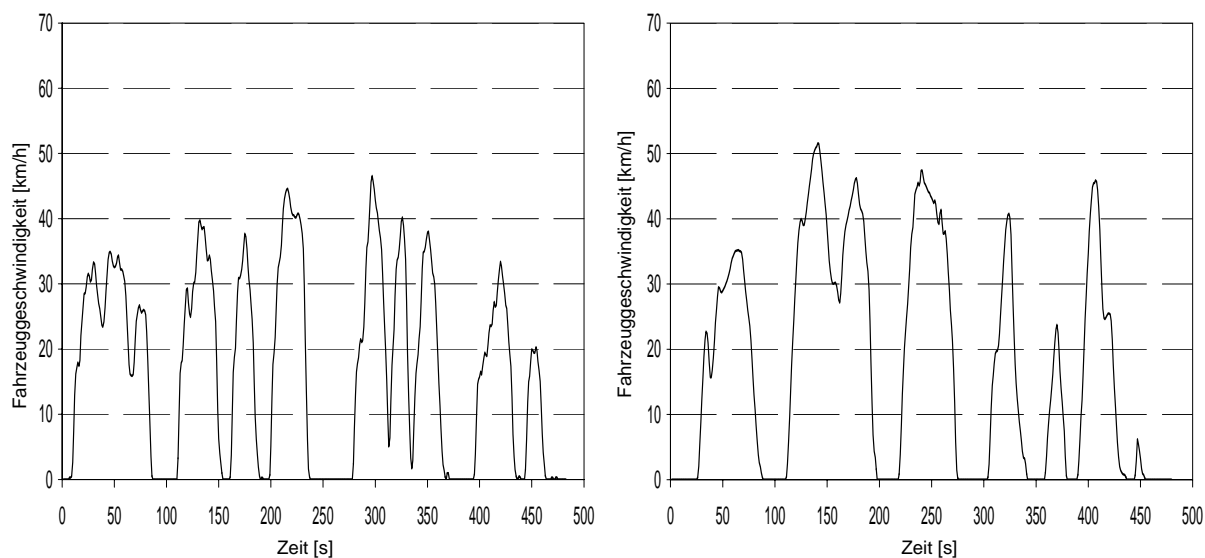
**Tabelle 17:** Datenvergleich konventionelles Fahrzeug mit Hybridfahrzeug Fahrweise „normal“

<b>Zyklusname</b>	<b><math>a_{max}</math></b> [m/s <sup>2</sup> ]	<b><math>a_{min}</math></b> [m/s <sup>2</sup> ]	<b><math>a_{pos50}</math></b> [m/s <sup>2</sup> ]	<b><math>a_{neg50}</math></b> [m/s <sup>2</sup> ]	<b><math>v_{max}</math></b> [km/h]	<b><math>v_{50 \circ St}</math></b> [km/h]	<b>St</b> [%]	<b>Cruise</b> [%]	<b>Weg</b> [km]	<b>Zeit</b> [s]
Konvent_normal	2.18	-1.92	0.54	-0.47	62.33	29.32	31.59	15.90	2.46	478
Hybrid_normal	1.79	-1.84	0.50	-0.39	50.79	29.35	32.50	16.98	2.43	480

Vergleicht man die beiden Fahrweisen miteinander, sieht man, dass die Parameter sehr ähnlich sind. Der konventionelle Zyklus weist zwei Geschwindigkeitsspitzen deutlich über 50 km/h auf, während die maximale Geschwindigkeit des Hybridzyklus bei 50,79 km/h liegt. Auch die maximale Beschleunigung mit dem konventionellen Fahrzeug ist größer als mit dem Hybridfahrzeug, wobei aber die 50 Perzentilwerte der positiven Beschleunigung wieder gleich groß sind. Das bedeutet, dass mit beiden Fahrzeugen gleich beschleunigt wurde. Die Cruiseanteile weisen nur eine geringe Differenz auf. Den höheren Wert weist der Hybridzyklus auf.

## Ökonomische Fahrweise

Bei dieser Fahrweise versuchten alle Lenker die Strecke mit möglichst geringem Energieaufwand zurückzulegen ohne dabei den übrigen Verkehr zu behindern. Beim Hybridfahrzeug wurde als Unterstützung der Betriebsmodus ECO gewählt. In diesem Modus wird unter anderem das Ansprechverhalten des Gaspedals verändert.



**Abbildung 27:** Ökonomische Fahrweise konventionelles Fahrzeug (links) und Hybridfahrzeug (rechts)

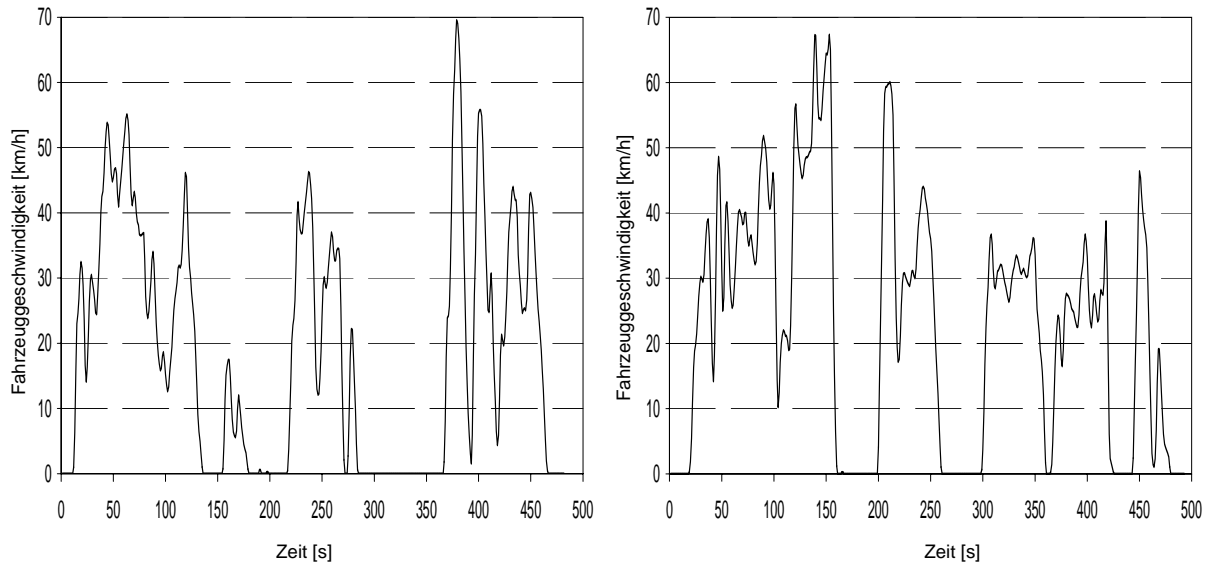
**Tabelle 18:** Datenvergleich konventionelles Fahrzeug mit Hybridfahrzeug Fahrweise „Öko“

<b>Zyklusname</b>	<b><math>a_{max}</math></b> [m/s <sup>2</sup> ]	<b><math>a_{min}</math></b> [m/s <sup>2</sup> ]	<b><math>a_{pos50}</math></b> [m/s <sup>2</sup> ]	<b><math>a_{neg50}</math></b> [m/s <sup>2</sup> ]	<b><math>v_{max}</math></b> [km/h]	<b><math>v_{50\ oStL}</math></b> [km/h]	<b>St</b> [%]	<b>Cruise</b> [%]	<b>Weg</b> [km]	<b>Zeit</b> [s]
Konvent_öko	2.07	-2.30	0.44	-0.41	46.58	25.24	27.12	17.33	2.28	483
Hybrid_öko	1.33	-1.77	0.43	-0.40	51.60	28.17	32.71	20.12	2.33	480

Vergleicht man die ökonomischen Zyklen miteinander, fällt der wesentlich höhere Cruiseanteil beim Hybridzyklus auf. Der Cruiseanteil im Hybridzyklus erhöhte sich im Gegensatz zur normalen Fahrweise deutlich. Beim konventionellen Zyklus ist nur eine kleine Steigerung des Wertes sichtbar. Die 50 Perzentilwerte der positiven Beschleunigung sind nahezu gleich groß und liegen um 0,1 m/s<sup>2</sup> bzw. 0,07 m/s<sup>2</sup> unter den Werten der normalen Fahrweise.

### Aggressive Fahrweise

Die Fahrer sollten bei der aggressiven Fahrweise die Teststrecke möglichst schnell zurücklegen. Dabei sollte auch keine Rücksicht auf eine vorausschauende Fahrweise genommen werden. Bei dieser Fahrweise wurde das Kraftfahrzeug beschleunigt, obwohl bereits rote Ampeln oder stehende Fahrzeuge ersichtlich waren.



**Abbildung 28:** Aggressive Fahrweise konventionelles Fahrzeug (links) und Hybridfahrzeug (rechts)

**Tabelle 19:** Datenvergleich konventionelles Fahrzeug mit Hybridfahrzeug Fahrweise „Aggressiv“

Zyklusname	$a_{max}$ [m/s <sup>2</sup> ]	$a_{min}$ [m/s <sup>2</sup> ]	$a_{pos50}$ [m/s <sup>2</sup> ]	$a_{neg50}$ [m/s <sup>2</sup> ]	$v_{max}$ [km/h]	$v_{50 \text{ o St}}$ [km/h]	St [%]	Cruise [%]	Weg [km]	Zeit [s]
Konvent_aggressiv	3.42	-2.60	0.60	-0.59	69.57	27.72	34.02	9.12	2.46	482
Hybrid_aggressiv	2.93	-4.44	0.52	-0.41	67.34	30.41	26.17	15.66	3.08	493

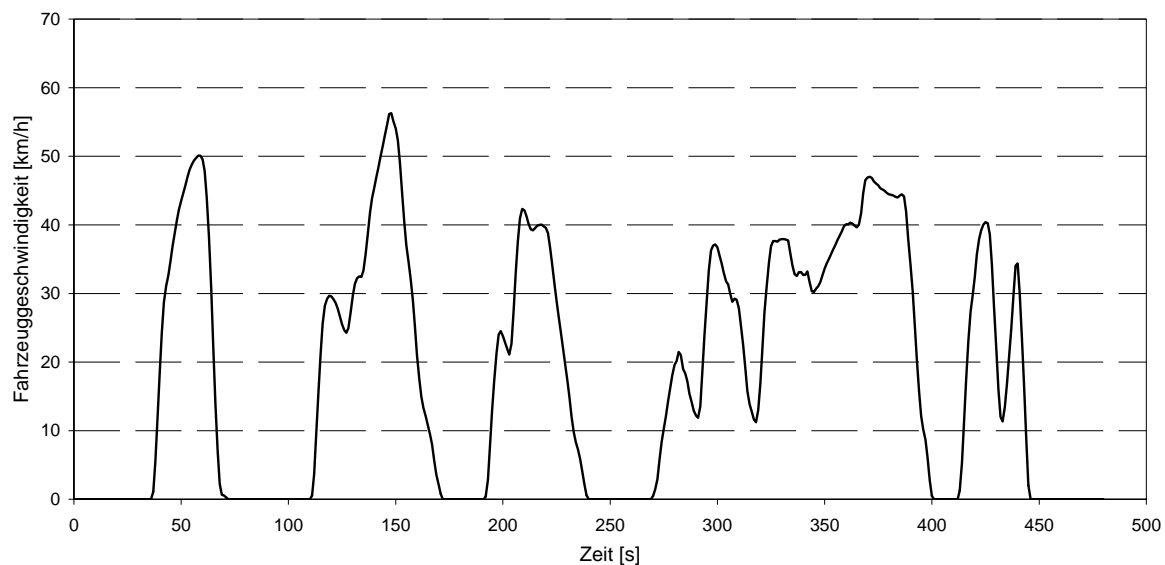
Die aggressive Fahrweise mit dem konventionellen Fahrzeug weist im Vergleich zu den übrigen Zyklen die größten 50 Perzentilwerte der positiven Beschleunigung auf. Vergleicht man den aggressiven Hybridzyklus mit dem normalen Hybridzyklus sind die 50 Perzentilwerte der Beschleunigung sehr ähnlich. Das bedeutet, dass auch bei der aggressiven Fahrweise mit einem Hybridfahrzeug nicht mehr beschleunigt wird, als bei der normalen Fahrweise. Nur die maximale Beschleunigung lässt auf einzelne Beschleunigungsspitzen im aggressiven Zyklus schließen. Lediglich der ökonomische Hybridzyklus weist mit dem Wert von 0,43 m/s<sup>2</sup> für den 50 Perzentilwert der positiven Beschleunigung den niedrigsten Wert aller Zyklen auf. Betrachtet man die Cruiseanteile der Zyklen, hat der Hybridzyklus immer den höheren Cruiseanteil. Vergleicht man die Cruiseanteile innerhalb der Hybridzyklen, ist der Unterschied zwischen der ökonomischen und normalen Fahrweise am größten. Aggressive und normale Fahrweise unterscheiden sich beim Hybridfahrzeug beim Cruiseanteil nur unwesentlich.



Bei den konventionellen Zyklen zeigt sich ein anderes Bild. Hier ist der Unterschied zwischen normaler und aggressiver Fahrweise beim Cruiseanteil am größten, während nur ein kleiner Unterschied zwischen ökonomischer und normaler Fahrweise besteht.

### **Fahrweise mit Elektroauto**

Diese Fahrweise entspricht der normalen Fahrweise mit dem Elektrofahrzeug der Firma Magna.



**Abbildung 29:** Fahrweise mit Elektroauto

**Tabelle 20:** Zyklusdaten Elektro - Fahrweise

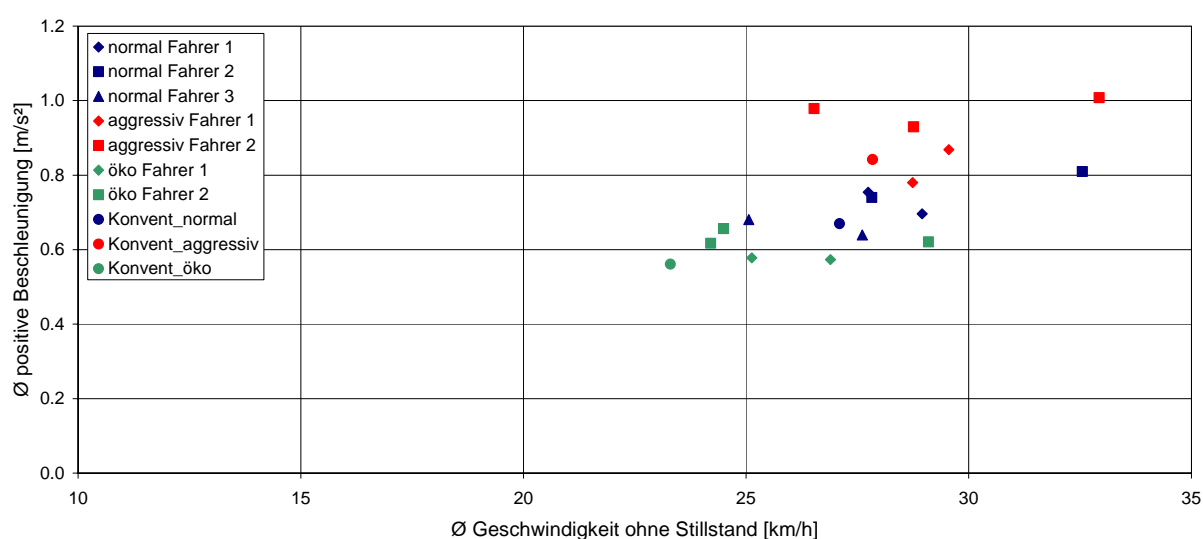
<b>Zyklusname</b>	<b><math>a_{max}</math></b>	<b><math>a_{min}</math></b>	<b><math>a_{pos50}</math></b>	<b><math>a_{neg50}</math></b>	<b><math>v_{max}</math></b>	<b><math>v_{50 \text{ o St}}</math></b>	<b>St</b>	<b>Cruise</b>	<b>Weg</b>	<b>Zeit</b>
	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[km/h]	[km/h]	[%]	[%]	[km]	[s]
Elektro - Fahrweise	1.82	-2.41	0.43	-0.37	56.28	30.66	35.85	22.4	2.43	480

Die maximale Beschleunigung ist mit den Werten des Hybridzyklus vergleichbar. Der 50 Perzentilwert der positiven Beschleunigung ist mit dem Wert des ökonomischen Hybridzyklus ident. Der Cruiseanteil des Elektrozyklus ist mit 22,4% im Vergleich zu den übrigen Zyklen am größten. Die Werte des Elektrozyklus sind den Hybridzykluswerten am ähnlichsten. Die Beschleunigungswerte und der Cruiseanteil der konventionellen Zyklen weisen dagegen eine deutliche Abweichung von den Elektrozykluswerten auf.

### 6.1.4 Vergleich der ermittelten Zyklen mit den einzelnen Messfahrten

Im nachfolgenden Diagramm sind die einzelnen Testfahrten nach den in Kapitel 6.1.2 beschriebenen Auswertekriterien dargestellt. Auch für die ermittelten Stadtzyklen wurden die Auswertekriterien berechnet und in das Diagramm eingetragen. Die Verkehrsbewertung für die einzelnen Fahrten, die bereits in Kapitel 4.3.1 erläutert wurde, ist in einer Tabelle zusammengefasst. Das angeführte Diagramm dient als Beispiel, die übrigen Diagramme und Tabellen der gesamten Auswertungen befinden sich im Anhang unter Punkt 10.2.

Jene Punkte, die mit Fahrer 1-3 gekennzeichnet sind, sind die einzelnen Testrunden. Die runden Punkte z. B. Konvent\_normal sind die ermittelten Stadtzyklen.



**Abbildung 30:** durchschnittlich positive Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit ohne Stillstand für die ermittelten Testzyklen und die einzelnen Messfahrten

In diesem Diagramm ist bereits gut ersichtlich, dass sich für die verschiedenen Fahrweisen Bereiche mit ähnlichen Parametergrößen bilden. Die durchschnittliche Beschleunigung ist innerhalb einer Fahrweise in etwa gleich groß. Weiters sieht man, dass die ermittelten Zyklen einen Durchschnittswert bei der Beschleunigung aufweisen.

In Tabelle 21 sind die Verkehrsbewertungen der einzelnen Messfahrten für das konventionelle Dieselfahrzeug zusammengefasst.

**Tabelle 21:** Verkehrsbewertung der Messfahrten mit dem konventionellen Fahrzeug

<b>Fahrer</b>	<b>1</b>			<b>2</b>		
<b>Fahrweise</b>	Normal	Aggressiv	Öko	Normal	Aggressiv	Öko
<b>Runde 1</b>	1.17	1.5	2.17	1.5	2.17	1.83
<b>Runde 2</b>	1.83	1.5	1.67	2.0	1.83	2.0
<b>Runde 3</b>	-	-	-	-	2.33	2.33
<b>Durchschnitt</b>	1.5	1.5	1.92	1.75	2.11	2.05

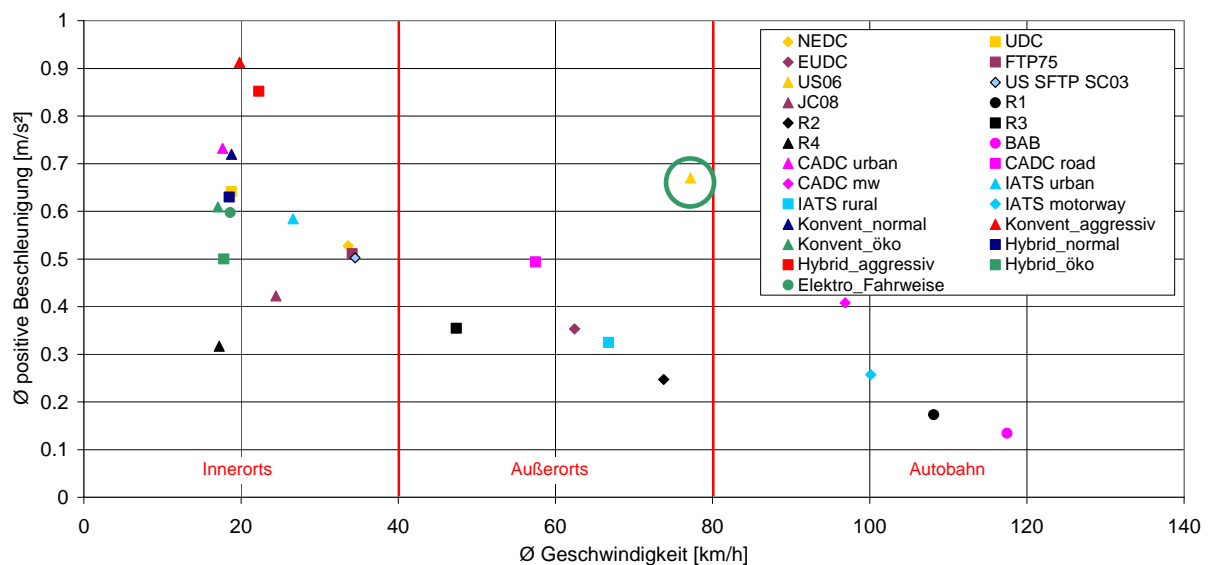
Da die Messungen mit dem dritten Fahrer zu einem früheren Zeitpunkt durchgeführt wurden, existiert für diese Messfahrten keine Verkehrsbewertung.

Aus der Verkehrsbewertung der einzelnen Runden geht hervor, dass bei allen Testfahrten das Verkehrsaufkommen sehr ähnlich war. Berechnet man die durchschnittlichen Parametergrößen ohne Stillstand, kann der Einfluss des Verkehrs vermindert werden. So ist es durchaus möglich, dass die durchschnittliche Geschwindigkeit bei schlechterer Verkehrsbewertung größer ist, als bei sehr guten Verkehrsbedingungen.

Die durchschnittlichen Verkehrsbewertungen für die einzelnen Fahrweisen liegen alle in derselben Größenordnung.

### 6.1.5 Vergleich der Stadtzyklen mit den gesetzlichen und den „real world“ Fahrzyklen

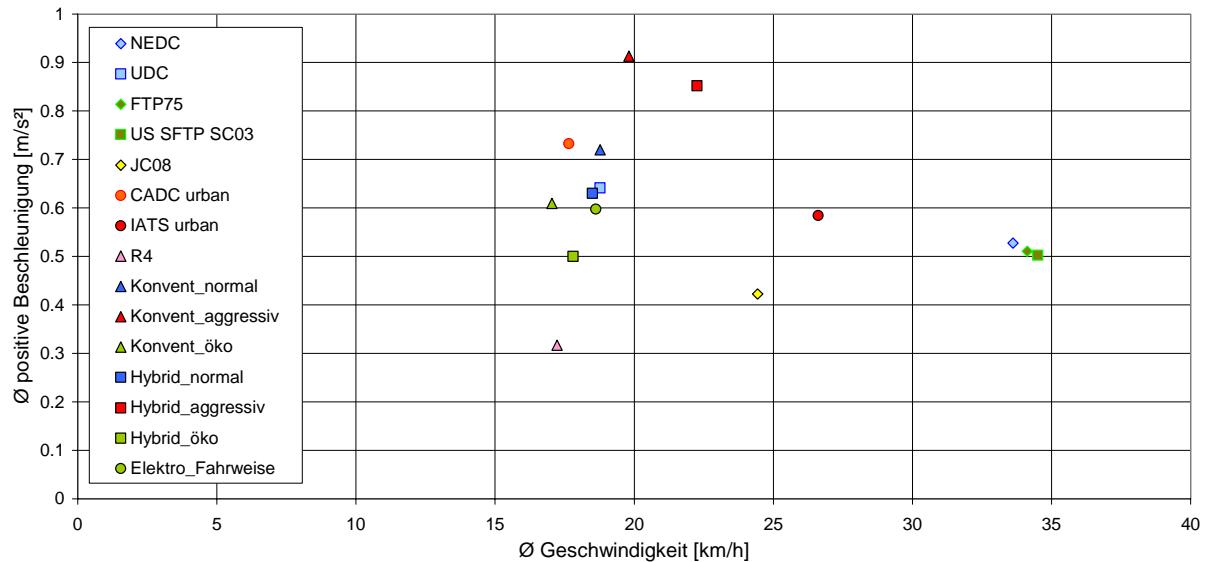
In diesem Kapitel werden die im Zuge dieser Diplomarbeit ermittelten Zyklen mit den relevanten gesetzlichen Fahrzyklen und den bereits bestehenden „real world“ Zyklen verglichen. In Abbildung 31 sind die durchschnittlichen positiven Beschleunigungen der erstellten Grazer – Stadtzyklen und der übrigen Zyklen dargestellt.



**Abbildung 31:** durchschnittliche positive Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit

Die durchschnittliche positive Beschleunigung nimmt mit Zunahme der durchschnittlichen Geschwindigkeit ab. Durch die bereits hohen Geschwindigkeiten auf der Autobahn ist eine starke Beschleunigung nur mehr schwer möglich und auch nicht sinnvoll. Nur der US06 folgt diesem Trend der übrigen Zyklen nicht ganz. Er ist sehr dynamisch und weist daher ähnlich hohe positive Beschleunigungswerte wie die Stadtzyklen auf (siehe grüner Kreis).

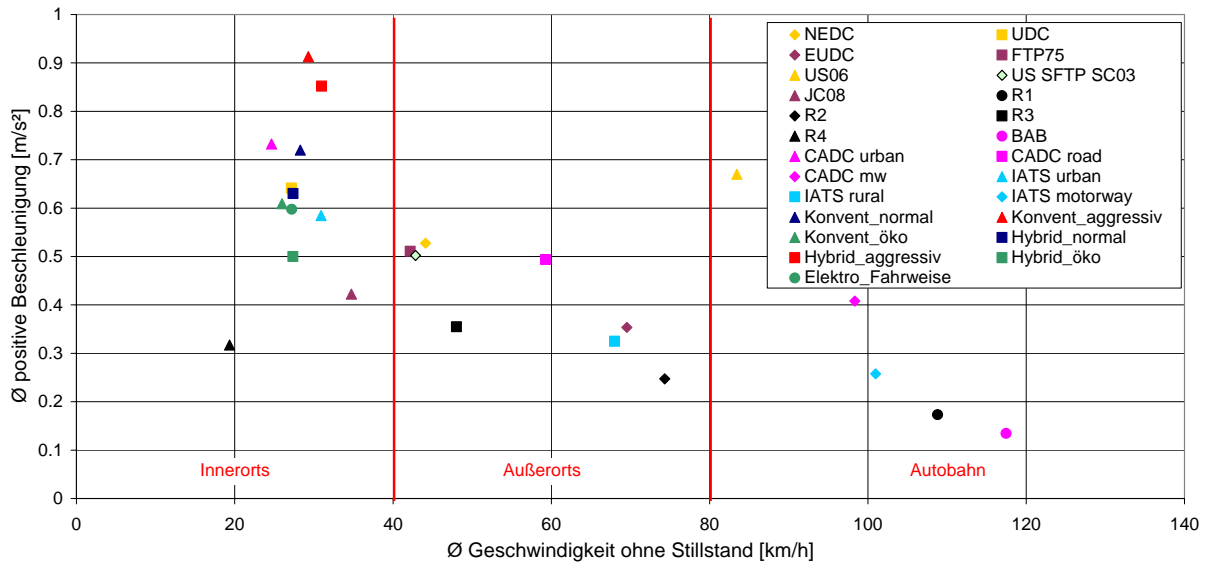
Um die Unterschiede bei den Innerortszyklen hervorheben zu können, wurden in Abbildung 32 nur die für den Innerortsbereich relevanten Zyklen dargestellt.



**Abbildung 32:** Innerortsbereich durchschnittliche positive Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit

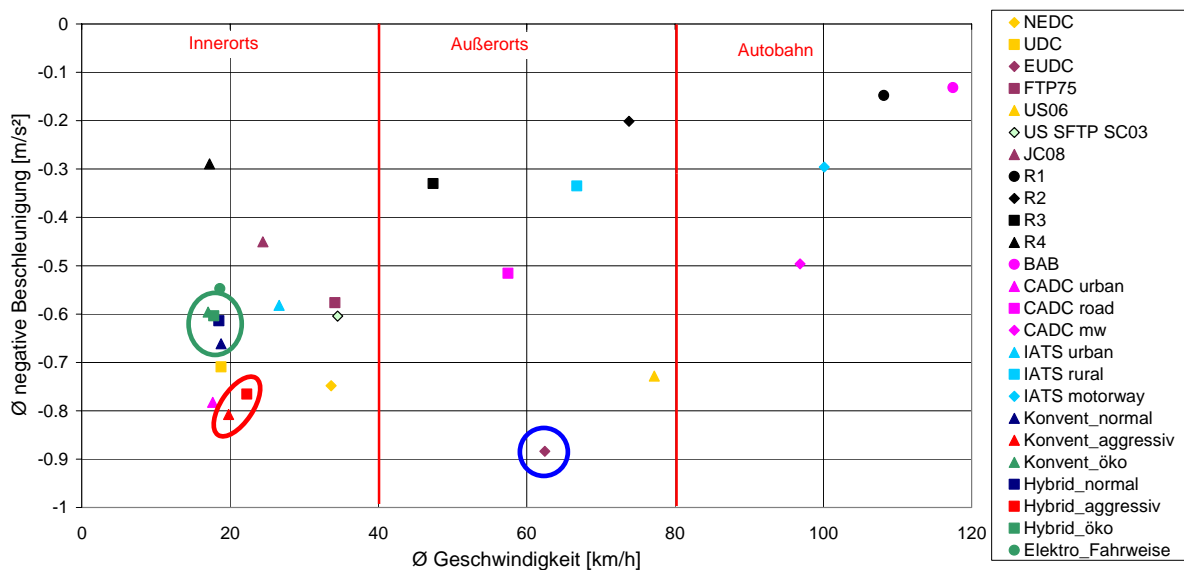
In diesen beiden Diagrammen ist deutlich die geringere positive Beschleunigung des Hybrid\_öko Zyklus im Gegensatz zu den anderen Grazer - Stadtzyklen ersichtlich. Offensichtlich bewirkt die Regelstrategie des Hybridfahrzeugs im ECO – Modus eine geringere Beschleunigung. Durch das veränderte Ansprechverhalten des Gaspedals im ECO – Modus des Toyota Prius III wird der Fahrer zu einer niedrigen Beschleunigung des Fahrzeugs angehalten. Wird die durchschnittliche positive Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit ohne Stillstand im Diagramm aufgetragen, wie Abbildung 33 zeigt, werden die Punkte lediglich in Richtung höherer durchschnittlicher Geschwindigkeit verschoben ohne dass sich zusätzlich ein großer Unterschied zwischen den Zyklen bemerkbar machen würde. Das heißt, der Abstand zwischen den Zyklen bleibt nahezu unverändert.

Werden die Grazer – Stadtzyklen mit den übrigen Zyklen verglichen, sieht man, dass die durchschnittliche Beschleunigung des Hybrid\_normal Zyklus in etwa gleich mit der des UDC ist. Die durchschnittliche Beschleunigung im Konvent\_normal Zyklus ist sehr ähnlich mit der des CADC urban.



**Abbildung 33:** durchschnittliche positive Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit ohne Stillstand

Werden die negativen Beschleunigungen betrachtet, sieht man, dass bei der aggressiven Fahrweise die Werte deutlich größer sind im Vergleich zu den übrigen beiden Fahrweisen „normal“ und „ökonomisch“ (siehe rote Markierung Abbildung 34). Bei den beiden Zyklen „normal“ und „ökonomisch“ ist die negative Beschleunigung sehr ähnlich (siehe grüne Markierung Abbildung 34). Weiters ist in Abbildung 34 zu sehen, dass der CADC urban einen sehr hohen negativen Beschleunigungswert aufweist, und so in der Nähe der aggressiven Fahrzyklen liegt. Im Außerortsbereich ist der hohe negative Beschleunigungswert des EUDC auffallend (siehe blaue Markierung). Dieser Wert kommt aufgrund der starken Verzögerung am Ende des Zyklus zustande.



**Abbildung 34:** durchschnittliche negative Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit

Die aggressive Fahrweise hat aber auch einen deutlich niedrigeren Cruiseanteil. Wird eine vorausschauende Fahrweise an den Tag gelegt, kann der Cruiseanteil merklich gesteigert werden, wie dies die nachfolgenden Abbildungen gut zeigen. Der hohe Cruiseanteil bei der Elektrofahrweise ist auf die verschiedenen Betriebsarten, die in Kapitel 4.3.3 bereits näher beschrieben wurden, zurückzuführen. Die Betriebsart „Segeln“ hat nur eine sehr geringe Verzögerung durch die Fahrwiderstände zu Folge. Daher kann die Geschwindigkeit des Fahrzeugs relativ einfach konstant gehalten werden.

Wenn man die nachfolgenden Diagramme betrachtet, fällt der relativ niedrige Cruiseanteil bei den Grazer – Stadtzyklen (grüne Markierung) im Gegensatz zu den übrigen Testzyklen auf. Nur der CADC urban hat einen ähnlich niedrigen Cruiseanteil wie der aggressive Fahrzyklus mit dem konventionellen Fahrzeug. Der Cruiseanteil des NEDC (bestehend aus UDC und EUDC, siehe rote Markierung) ist mit über 52 % sehr hoch und entspricht daher nicht einem realen Fahrverhalten, denn selbst die Testrunde mit dem höchsten Cruiseanteil weist lediglich einen Wert von knapp 24 % auf und ist damit nur in etwa halb so groß. Ähnlich hohe Cruiseanteile weisen sonst nur die Autobahnzyklen BAB, IATS motorway und der HBEFA R1 auf.

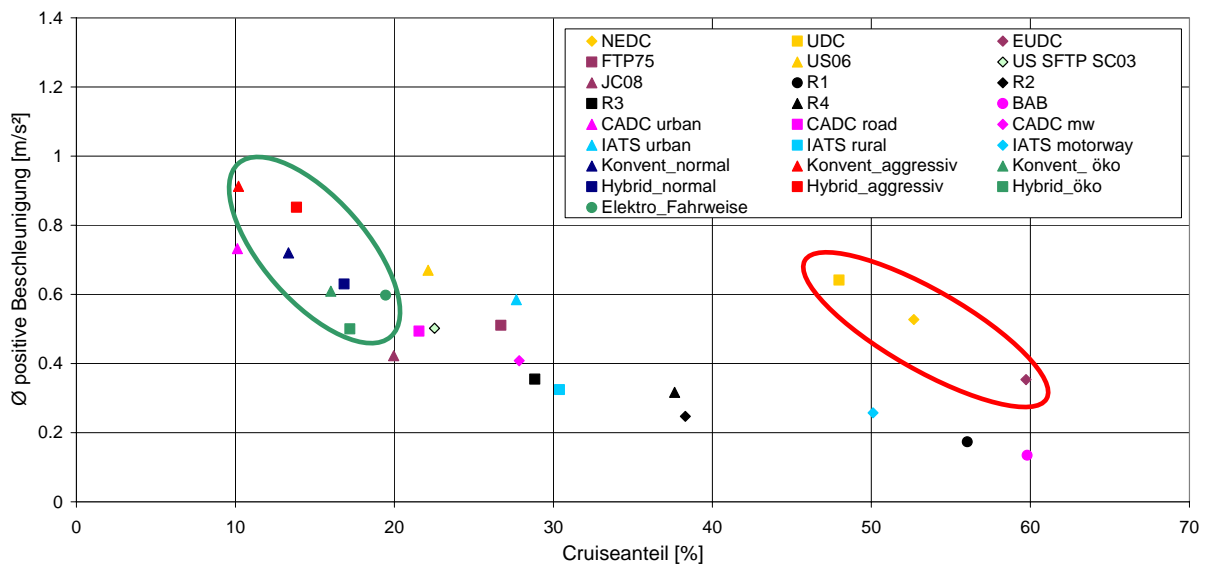
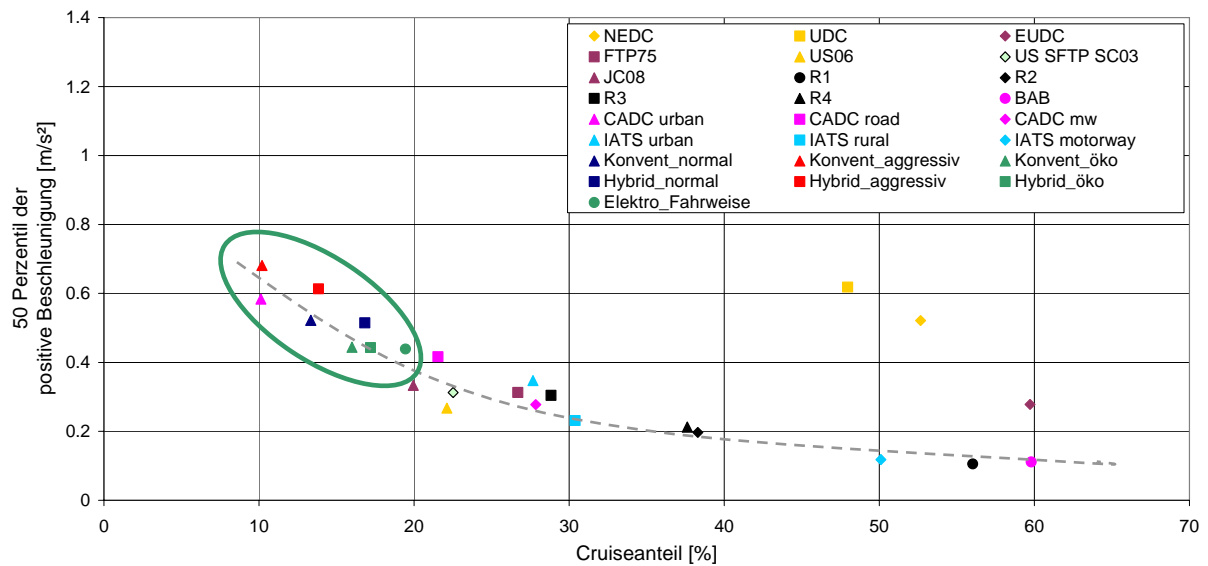


Abbildung 35: durchschnittliche positive Beschleunigung über dem Cruiseanteil

In Abbildung 36 ist der 50 Perzentilwert der positiven Beschleunigung über dem Cruiseanteil aufgetragen.



**Abbildung 36:** 50 Perzentil der positiven Beschleunigung über dem Cruiseanteil

In Abbildung 36 kann man den Trend, umso höher der 50 Perzentilwert der positiven Beschleunigung ist umso niedriger ist der Cruiseanteil, sehen. Hier kann man auch die Grazer Stadtzyklen am Beginn der eingezeichneten Kurve sehr gut erkennen (siehe grüne Markierung). Nur der sehr dynamische CADC urban ist noch in diesem Bereich zu finden.

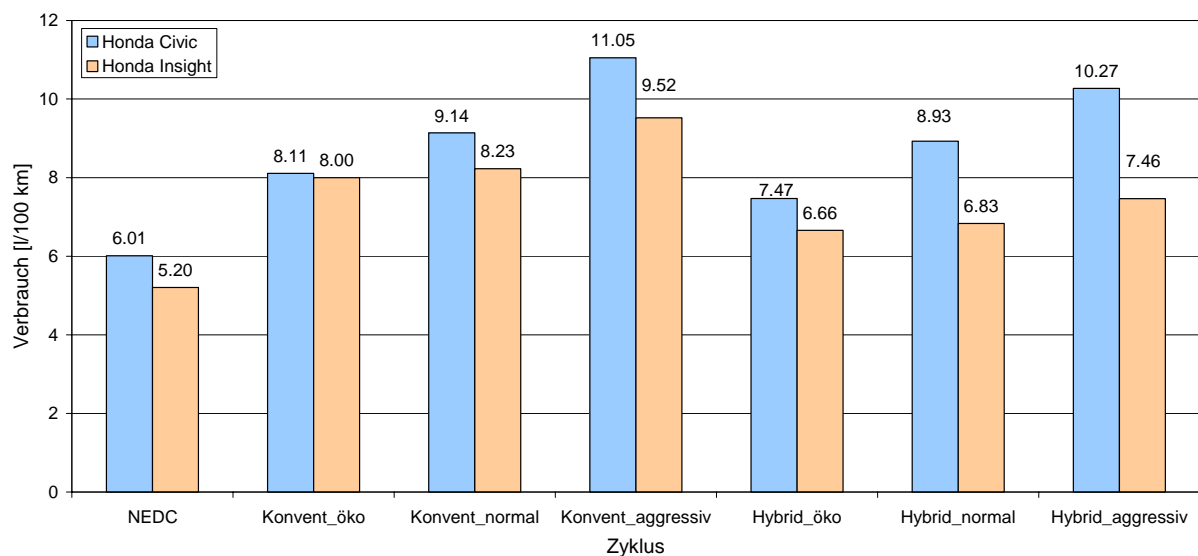
Abschließend kann noch angemerkt werden, dass der Einfluss der Fahrweise auf die Parameter größer ist als der Einfluss des Fahrzeugtyps.

Alle übrigen Diagramme, in den man die gleichen bzw. nur geringfügig andere Tendenzen feststellen kann, sind im Anhang im Kapitel 10.3 zusammengefasst.

## 6.2 Prüfstandsmessungen

Neben den bereits in Kapitel 6.1.3 beschriebenen Fahrzyklen wurden beide Fahrzeuge, Honda Insight und Honda Civic, auch im Typprüfzyklus NEDC gemessen. Beim Hybridfahrzeug Honda Insight wurde aus den NEDC Messungen der Korrekturkoeffizient  $K_{\text{fuel}}$  ermittelt und für die übrigen Messungen verwendet. Bei diesen Ergebnissen ist der Lade- und Entladewirkungsgrad der Batterie nicht mitberücksichtigt.

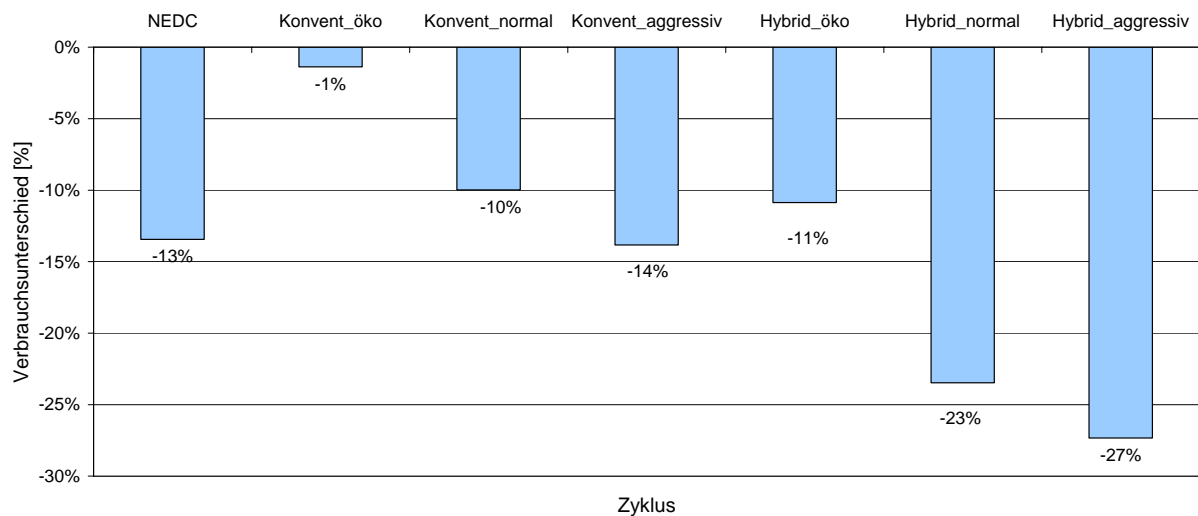
In Abbildung 37 sind die Verbrauchsergebnisse für die einzelnen Fahrzyklen dargestellt.



**Abbildung 37:** Verbrauchsvergleich Honda Civic mit Honda Insight

Um die einzelnen Ergebnisse leichter miteinander vergleichen zu können, sind in Abbildung 38 die prozentuellen Verbrauchsunterschiede des Honda Insight gegenüber dem Honda Civic eingetragen.

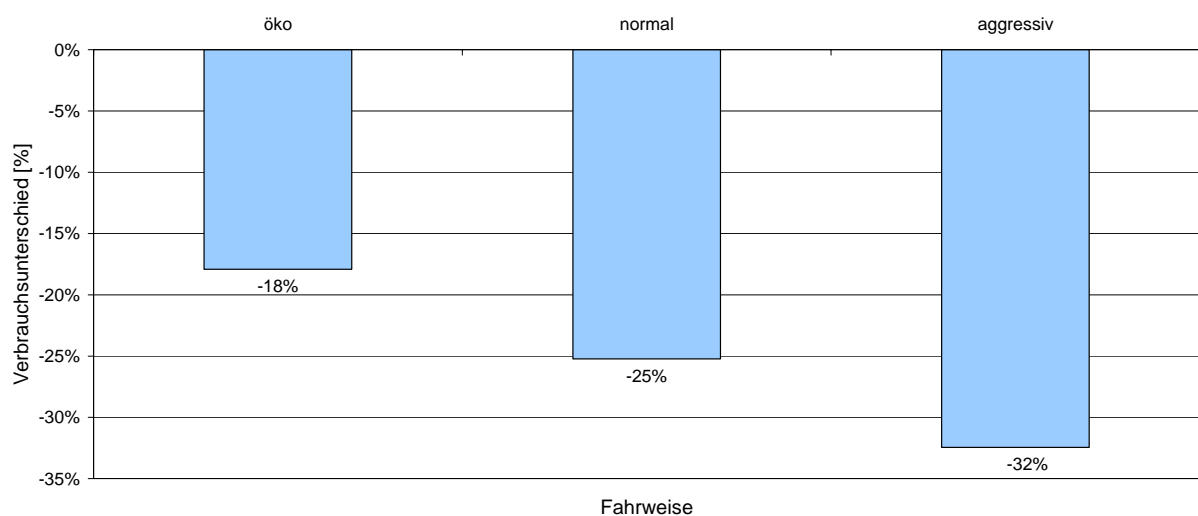




**Abbildung 38:** Verbrauchsunterschied Honda Insight zu Honda Civic

Betrachtet man das Einsparungspotential eines Hybridfahrzeugs gegenüber einem konventionellen Fahrzeug fällt auf, dass durchaus ein Einsparungspotential vorhanden ist. Vergleicht man in Abbildung 38 die Einsparungen innerhalb der konventionellen Zyklen so tritt dieselbe Reihung des Einsparungspotentials wie in den Hybridzyklen auf: je aggressiver die Fahrweise desto größer ist die Einsparung beim Verbrauch. Zusätzlich fällt auf, dass das Einsparungspotential in den Hybridzyklen größer ist als in den konventionellen Zyklen.

Wird nun der Verbrauch des Hybridfahrzeugs in den Hybridzyklen mit dem Verbrauch des konventionellen Fahrzeugs in den konventionellen Zyklen verglichen und das Einsparungspotenzial des Hybridfahrzeugs gegenüber dem konventionellen Fahrzeug berechnet, ergeben sich die in Abbildung 39 dargestellten Werte.



**Abbildung 39:** Einsparungspotential des HEV in den Hybridzyklen gegenüber dem konventionellen Fahrzeug in den konventionellen Zyklen

Diese Betrachtungsweise ergibt ein noch größeres Einsparungspotential des Hybridfahrzeugs gegenüber dem konventionellen Fahrzeug.

Reiht man die Verbrauchswerte von Honda Insight und Honda Civic beginnend mit dem niedrigsten Wert, so ergibt sich folgende Reihenfolge der Testzyklen:

**Tabelle 22:** Reihung der Verbrauchswerte

Reihung	Honda Insight		Honda Civic	
	Zyklus	Verbrauch [l/100km]	Zyklus	Verbrauch [l/100km]
1	Hybrid_öko	6,66	Hybrid_öko	7,47
2	Hybrid_normal	6,83	Konvent_öko	8,11
3	Hybrid_aggressiv	7,46	Hybrid_normal	8,93
4	Konvent_öko	8,0	Konvent_normal	9,14
5	Konvent_normal	8,23	Hybrid_aggressiv	10,27
6	Konvent_aggressiv	9,52	Konvent_aggressiv	11,05

Vergleicht man die beiden Reihungen miteinander, fällt auf, dass beim Hybridfahrzeug die Werte zuerst nach dem Fahrzeugtyp gereiht sind und erst innerhalb dieser Reihung ist dann die Fahrweise ausschlaggebend.

Betrachtet man die Reihung der Zyklen beim Honda Civic, erfolgt die Reihung zuerst nach der Fahrweise und erst anschließend kommt es zu einer Reihung nach dem Fahrzeugtyp. Wobei der Hybridzyklus durchwegs einen geringeren Verbrauch als der konventionelle Zyklus aufweist.

Sucht man bei den Beurteilungsgrößen (siehe Kapitel 6.1.2) nach gleichen Reihenfolgen, findet man zwei Parameter: durchschnittliche positive Beschleunigung und Cruiseanteil. Bei diesen beiden Parametern tritt dieselbe Reihenfolge der Fahrzyklen wie bei den Verbrauchswerten des Honda Civic auf. Das heißt je höher der Cruiseanteil und je niedriger die durchschnittliche positive Beschleunigung ist, desto sparsamer ist die Fahrweise mit einem konventionellen Fahrzeug.

**Tabelle 23:** Reihung der Zyklen nach den Beurteilungsgrößen

Reihung	Zyklus	$a_{pos}$ [m/s <sup>2</sup> ]	Cruise [%]
1	Hybrid_öko	0,486	20,12
2	Konvent_öko	0,561	17,33
3	Hybrid_normal	0,601	16,97
4	Konvent_normal	0,67	15,90
5	Hybrid_aggressiv	0,776	15,66
6	Konvnet_aggressiv	0,842	9,12

Für die Reihung der Verbrauchswerte des Honda Insight konnte leider kein Zusammenhang mit den ermittelten Beurteilungsgrößen gefunden werden. Um Zusammenhänge zu finden, müssten noch weitere Messungen durchgeführt und anschließend ausgewertet werden. Unter Umständen sind auch noch weitere Beurteilungsgrößen notwendig. Trotzdem fällt auf, dass das Hybridfahrzeug offensichtlich auf die Hybridzyklen reagiert. Interessant ist, dass die Zyklen mit einem Toyota Prius III ermittelt wurden, auf der PKW – Rolle wurde aber ein Honda Insight gemessen. Der Honda Insight besitzt, wie in Kapitel 5.4.1 beschrieben, ein anderes Hybridkonzept als der Toyota Prius III.

Um diese Beobachtungen zu untermauern, müsste zusätzlich zu den bereits durchgeführten Messungen ein Toyota Prius III auf der PKW – Rolle gemessen und die Messergebnisse im Anschluss ausgewertet und analysiert werden.

Die Verbrauchsunterschiede zwischen Honda Insight und Honda Civic sind auf drei Punkte zurückzuführen. Der erste Unterschied, der eine Auswirkung auf den Verbrauch hat, ist der Fahrwiderstand. Der Honda Insight hat einen geringeren Fahrwiderstand als der Honda Civic wie in Kapitel 3.1 Abbildung 3 zu sehen ist. Ein weiterer Punkt ist die Lastpunktanhebung, die mit einem Hybridfahrzeug möglich ist. So kann der Motor über die gesamte Zyklusdauer gesehen in besseren Wirkungsgradbereichen arbeiten. Weiters ist mit einem Hybridantrieb die Rekuperation von Bremsenergie möglich. Diese Energie wird in der Hybridbatterie gespeichert und kann, wenn es die Fahrsituation verlangt, wieder verwendet werden. Diese Rekuperationsenergie kann bei einem konventionellen Fahrzeug nicht genutzt werden.

In Tabelle 24 ist der gesamte Energieaufwand und die Bremsenergie der gemessenen Zyklen eingetragen. Weiters ist die durch Rekuperation rückgewonnene Energie und die durch Lastpunktanhebung der Verbrennungskraftmaschine erzeugte Energie aufgelistet. Um die Zyklen besser miteinander vergleichen zu können, wurden auch die prozentuellen Anteile berechnet. Weiters wurde jener Anteil der Bremsenergie, der durch Rekuperation rückgewonnen werden konnte, ermittelt.

**Tabelle 24:** Rekuperierte Energie und durch Lastpunktanhebung erzeugte Energie des Honda Insight während der Stadtzyklen

<i>Fahrzyklus</i>	<i>Energieaufwand</i>	<i>Bremsenergie</i>	<i>Rekuperierte Energie</i>	<i>durch Lastpunktanhebung erzeugte Energie</i>	<i>Anteil der rekuperierten Energie am gesamten Energieaufwand</i>	<i>Anteil der durch Lastpunktanhebung erzeugten Energie am gesamten Energieaufwand</i>	<i>durch Rekuperation nutzbarer Bremsenergieanteil</i>
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[%]	[%]	[%]
Konvent_öko	0.28	0.117	0.044	0.002	16	0.8	37
Konvent_normal	0.335	0.146	0.054	0.003	16	0.8	37
Konvent_aggressiv	0.427	0.234	0.059	0.009	14	2.0	25
Hybrid_öko	0.253	0.095	0.041	0.0004	16	0.1	43
Hybrid_normal	0.296	0.127	0.045	0.0004	15	0.1	35
Hybrid_aggressiv	0.488	0.233	0.083	0.009	17	1.9	36

Den größten Anteil am gesamten Energieaufwand hat die Lastpunktanhebung in den aggressiven Zyklen. Je aggressiver die Fahrweise, desto höher ist auch der gesamte Energieaufwand aber auch die rekuperierte Bremsenergie steigt an. Dadurch kann ein Teil des Energieaufwands gedeckt werden. Im Konvent\_aggressiv Zyklus ist durch die starken Verzögerungen der durch Rekuperation nutzbare Bremsenergieanteil am geringsten. Der Zyklus Hybrid\_öko weist einen sehr geringen Bremsenergieanteil auf. Das ist auf die sehr geringe negative Beschleunigung zurückzuführen (siehe Anhang Abbildung 76 und Abbildung 84). In diesem Zyklus wird das Fahrzeug zu einem großen Teil nur durch seine Fahrwiderstände abgebremst. Gerade in diesem Zyklus kann der Honda Insight 43% der zur Verfügung stehenden Bremsenergie rückgewinnen, aber mit einem Anteil von 16% an rekuperierter Energie am gesamten Energieaufwand liegt der Wert nicht über den anderen Zyklen.

Berechnet man den notwendigen Energiebedarf für einen gesamten Zyklus und ermittelt in weitere Folge den Anteil, der durch den Elektromotor abgedeckt wird, kommt man zu folgenden Werten die in Tabelle 25 zusammengefasst sind.

**Tabelle 25:** Anteile der elektrischen Antriebsleistung an der gesamten Radleistung für Honda Insight

<b>Fahrzyklus:</b>	<b>Energieaufwand</b>	<b>E – Antriebsenergie</b>	<b>E – Antriebsenergie</b>
	<i>[kWh]</i>	<i>[kWh]</i>	<i>[%]</i>
Konvent_normal	0,335	0,054	16
Konvent_öko	0,28	0,052	18
Konvent_aggressiv	0,427	0,076	18
Hybrid_normal	0,296	0,053	18
Hybrid_öko	0,253	0,045	18
Hybrid_aggressiv	0,488	0,084	17

Aus Tabelle 25 geht hervor, dass der Anteil an elektrischer Antriebsleistung immer in etwa gleich groß ist und zwischen 16% und 18% liegt.

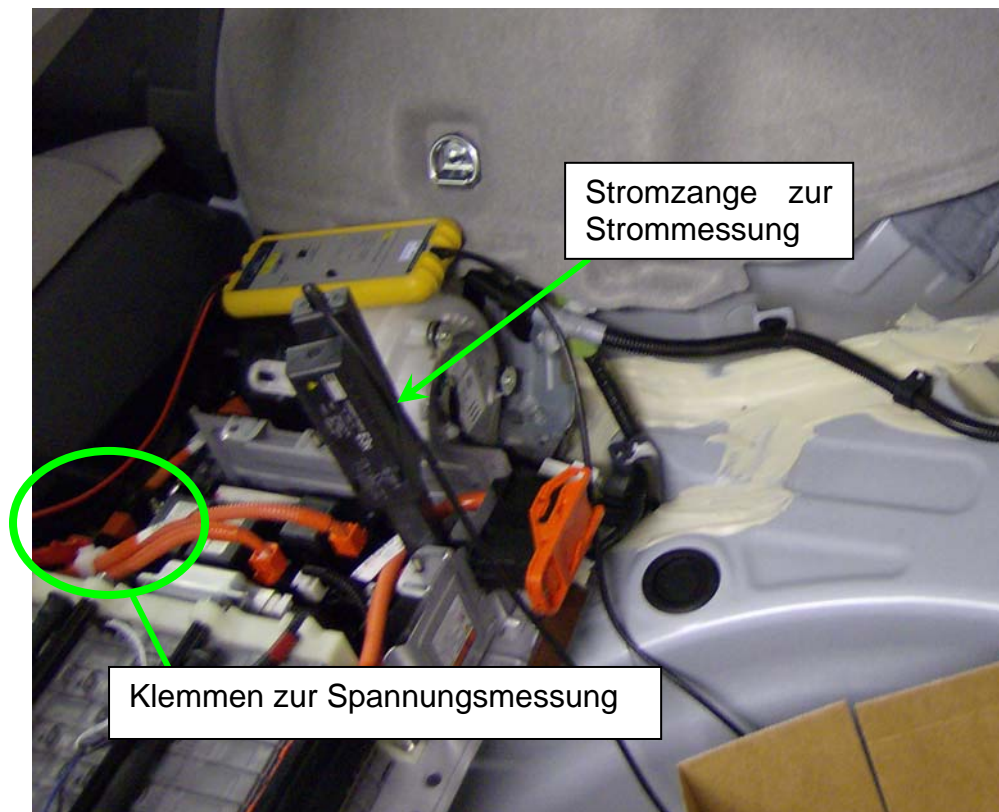
Abschließend sind die wichtigsten Erkenntnisse kurz zusammengefasst:

- Unterschiedliche Fahrweise mit dem Hybridfahrzeug im Gegensatz zum konventionellen Fahrzeug bei allen Fahrstilen
- Das Hybridfahrzeug hat in den Hybridzyklen mehr Verbrauchseinsparung gegenüber dem konventionellen Fahrzeug als in den konventionellen Zyklen
- Im NEDC ergab sich ein teilweise geringeres Reduktionspotential als in den Hybridzyklen
- Bei der ökonomischen Fahrweise hat das Hybridfahrzeug das geringste Verbrauchseinsparungspotential gegenüber dem konventionellen Fahrzeug

## 7 Erstellung eines durchschnittlichen Hybridfahrzeugs im Modell PHEM

### 7.1 Messung der Hybridbatterie

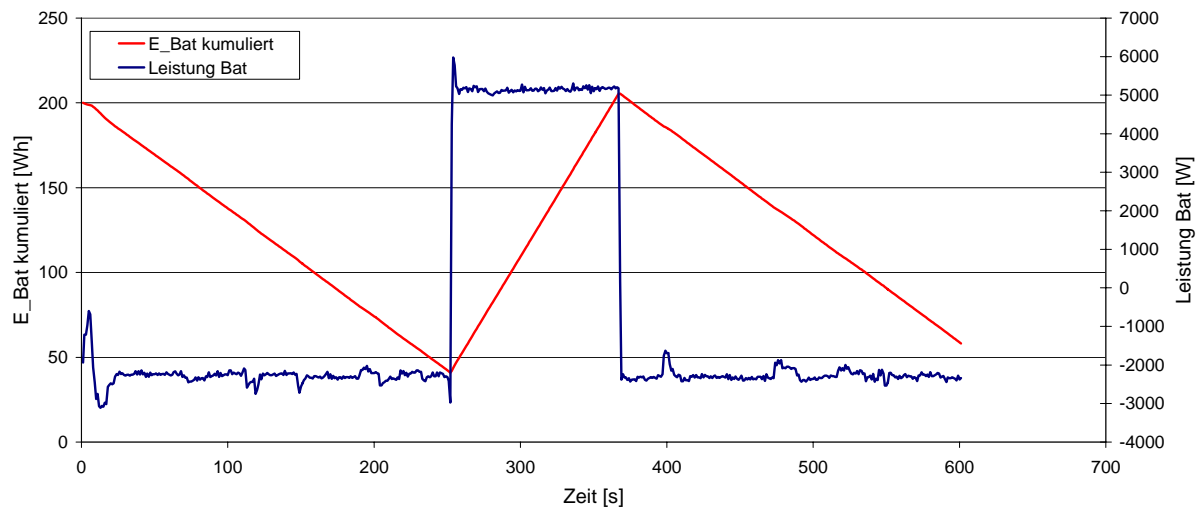
Um die nötigen Eingabedaten für das Modell PHEM zu erhalten, war eine Messung der Batteriespannung und des Batteriestroms während eines Prüfzyklus notwendig. Daher wurde im Zuge der Messungen des Toyota Prius III am PKW – Rollenprüfstand die Batteriespannung und der Batteriestrom mitgemessen und aufgezeichnet. Abbildung 40 zeigt den Strom- und Spannungsmessaufbau im Fahrzeuginnenraum.



**Abbildung 40:** Messaufbau der Strom- und Spannungsmessung an der Hybridbatterie

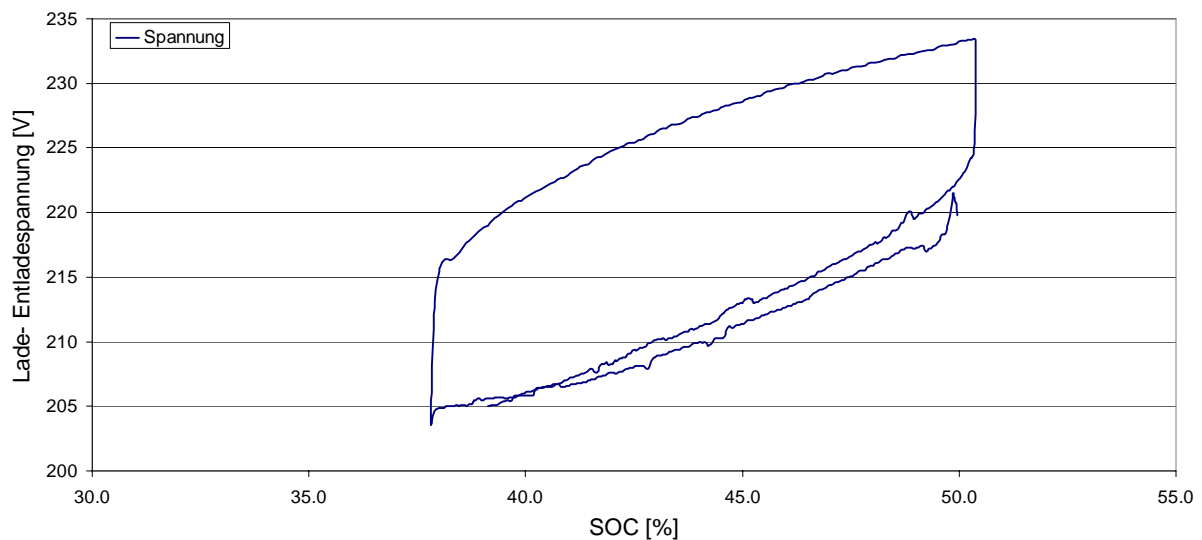
Der Toyota Prius III kann bis zu einer Fahrgeschwindigkeit von 50 km/h rein elektrisch angetrieben werden. Wird im Fahrzeug der EV Modus aktiviert, versucht das Fahrzeug so lange und so oft wie möglich rein elektrisch zu fahren. In diesem Modus ist es möglich die Lade- und Entladespannungskurve zu messen. Nachfolgende Abbildung 41 zeigt die Leistungsaufnahme bzw. Abgabe der Hybridbatterie. Wird das Fahrzeug elektrisch angetrieben, hat die Leistung ein negatives Vorzeichen. Daraus lässt sich sehr gut erkennen, dass das Fahrzeug rein elektrisch fährt, bis auf den Abschnitt, in dem die Batterie wieder geladen wird.

Zusätzlich ist noch die kumulierte Batteriearbeit eingetragen. Auch bei dieser Kurve ist der Lade- und Entladevorgang der Batterie deutlich zu erkennen.



**Abbildung 41:** Leistung der Hybridbatterie bei konstanter Fahrtgeschwindigkeit von 40 km/h

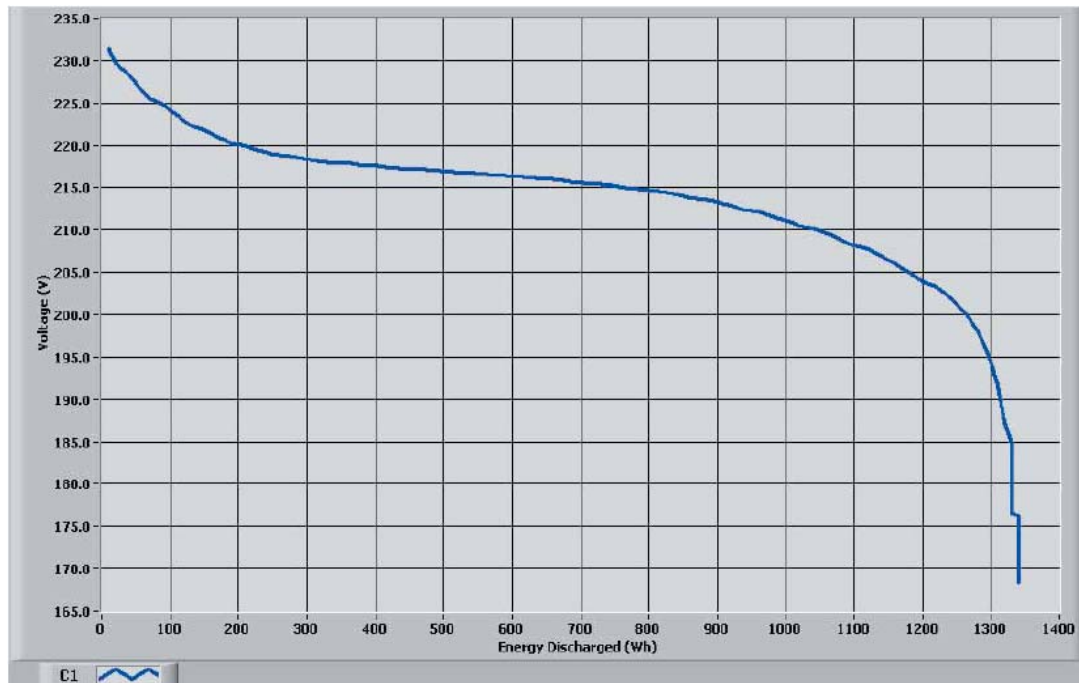
Der Verlauf der gemessenen Batteriespannung ist in Abbildung 42 zu sehen. Dabei wurde die Spannung über dem SOC – Wert aufgetragen.



**Abbildung 42:** Lade- und Entladespannung bei konstanter Fahrt

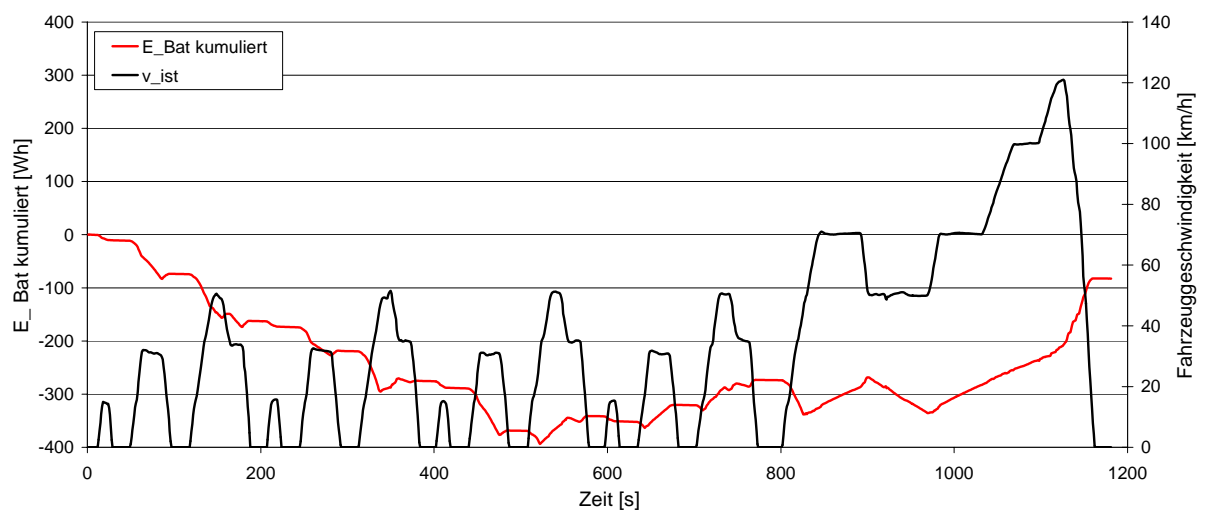
Eine sehr ähnliche Kurve hat die Messung des U.S. Department of Energy [19] hervorgebracht. Bei dieser Messung wurde die volle Batterie bis zur Gänze entleert. In Abbildung 43 ist die Entladekurve dargestellt. Im Gegensatz zu Abbildung 42 ist in Abbildung 43 die Entladespannung über der entnommenen Energie aufgetragen.

Daher ergibt sich auch eine andere Kurvenform. Vergleicht man aber die maximalen Spannungen miteinander, sieht man, dass die Werte gleich groß sind. Ab einer Batteriespannung von 205 V beginnt der Ladevorgang der Batterie. Daher fehlt in Abbildung 42 der steile Spannungsabfall, der in Abbildung 43 dargestellt ist.



**Abbildung 43:** Entladekurve der Prius III Batterie [19]

Weiters konnte aus den Messungen des Toyota Prius III am PKW – Rollenprüfstand die tatsächlich nutzbare Batteriekapazität ermittelt werden. Für die Messung am PKW – Rollenprüfstand wurde ein NEDC als Fahrzyklus gewählt und der Toyota Prius III im Betriebsmodus EV betrieben.



**Abbildung 44:** Messung Toyota Prius III (Betriebsmodus EV) im Typprüfzyklus NEDC



Aus diesem Diagramm kann für die nutzbare Kapazität ein Wert von in etwa 400 Wh entnommen werden. Mit einer Grundspannung der Batterie von 201,6 V sind das knapp 2 Ah. Diese Werte wurden auch bei der Messungen des U.S. Department of Energy [19] ermittelt.

## 7.2 Simulationsmodell von Toyota Prius III

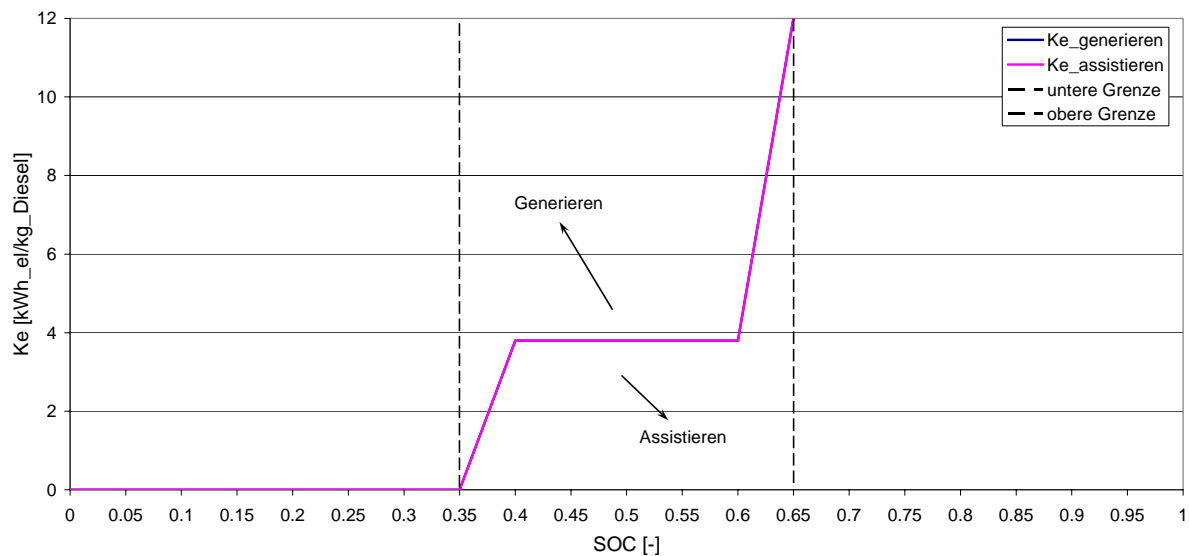
Als Basisfahrzeug für das Simulationsmodell diente das „Durchschnittliche Benzinfahrzeug“ der Abgaskategorie Euro 5. Dieses Modell ist eine Mittelung aus sämtlichen Messauswertungen der am PKW – Rollenprüfstand gemessenen Euro 5 Benzinfahrzeuge. Aus diesem Modell wurden das Motorkennfeld und die Getriebeübersetzung übernommen. Das bereits bestehende Simulationsmodell wurde um die Fahrzeugmasse, den Luftwiderstandsbeiwert  $c_w$ , die Stirnfläche, sowie die Leistungsdaten von Batterie und Elektromotor des Toyota Prius III ergänzt. In Tabelle 26 sind die Fahrzeugdaten aufgelistet.

**Tabelle 26:** Fahrzeugdaten für Toyota Prius III Simulation

<b><i>Benzinmotor:</i></b>	
Nennleistung:	73 kW
Nenndrehzahl:	5200 U/min
Leerlaufdrehzahl:	800 U/min
<b><i>Elektromotor</i></b>	
Nennleistung:	27 kW
Maximalleistung:	27 kW
Leistungsaufnahme im Leerlauf:	0,2 kW
Nenndrehzahl:	2000 U/min
<b><i>Kraftübertragung:</i></b>	
Achsübersetzung:	4
1. Gang:	3,6298
2. Gang::	2,0523
3. Gang:	1,3801
4. Gang:	1,0477
5. Gang:	0,8423
<b><i>Rollwiderstandskoeffizienten:</i></b>	
$Fr_0$ :	0,00788747
$Fr_1$ :	$-3,2 \cdot 10^{-5}$
$Fr_2$ :	0
$Fr_3$ :	0
$Fr_4$ :	$-2,15 \cdot 10^{-9}$
<b><i>Fahrzeuggewicht:</i></b>	1520 kg
<b><i>Luftwiderstandsbeiwert <math>c_w</math>:</i></b>	0,25
<b><i>Stirnfläche:</i></b>	2,33 m <sup>2</sup>

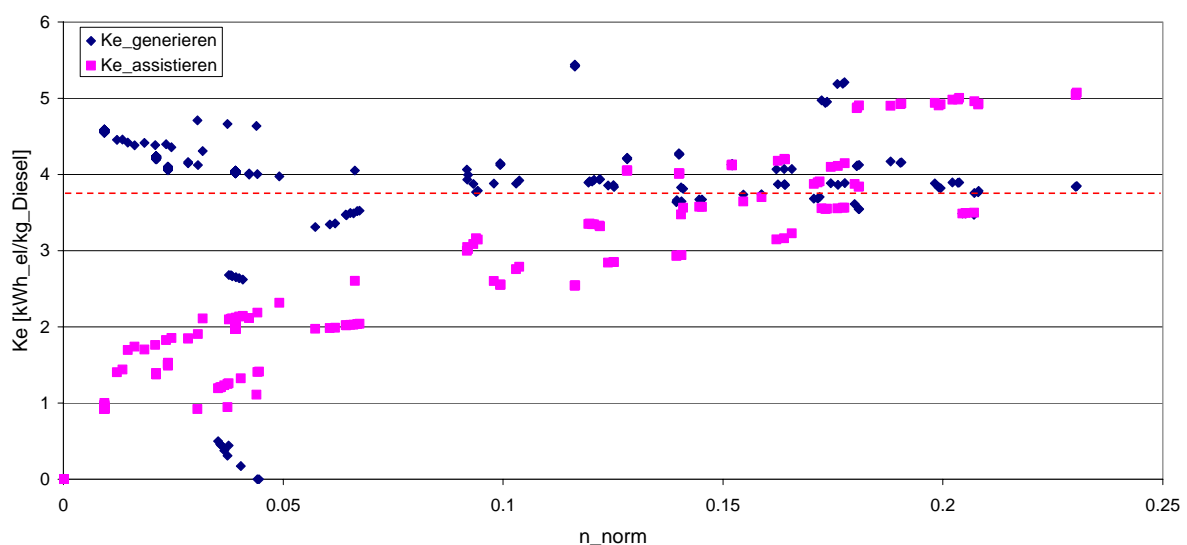
Da im Simulationsmodell PHEM kein leistungsverzweigter Hybridantrieb sondern nur ein Parallelhybrid implementiert ist, wurde anstatt des CVT – Getriebes ein manuelles Fünfgangschaltgetriebe verwendet.

Für die Simulation wurden die in Abbildung 45 dargestellten Grenzkurven verwendet. Der Bereich, in dem nur die Verbrennungskraftmaschine arbeitet wurde weggelassen, weil wie in Kapitel 5.4.3 beschrieben ist, immer mindestens ein Motorgenerator arbeitet. Dieser Motorgenerator ist für den Betrieb des Planetengetriebes notwendig.



**Abbildung 45:** Grenzkurven für die Simulation des Toyota Prius III

Das Simulationsprogramm berechnet für jeden Betriebspunkt den Ke – Faktor für Assistieren und Generieren. Ist der Punkt für den Ke – Faktor assistieren im unteren Bereich weiter von der roten Linie entfernt als der Punkt für den Ke – Faktor generieren oberhalb der roten Linie, wird assistiert, da in diesem Betriebspunkt eine große Kraftstoffmenge eingespart werden kann. In Abbildung 46 sieht man, dass im unteren Drehzahlbereich häufig assistiert wird.



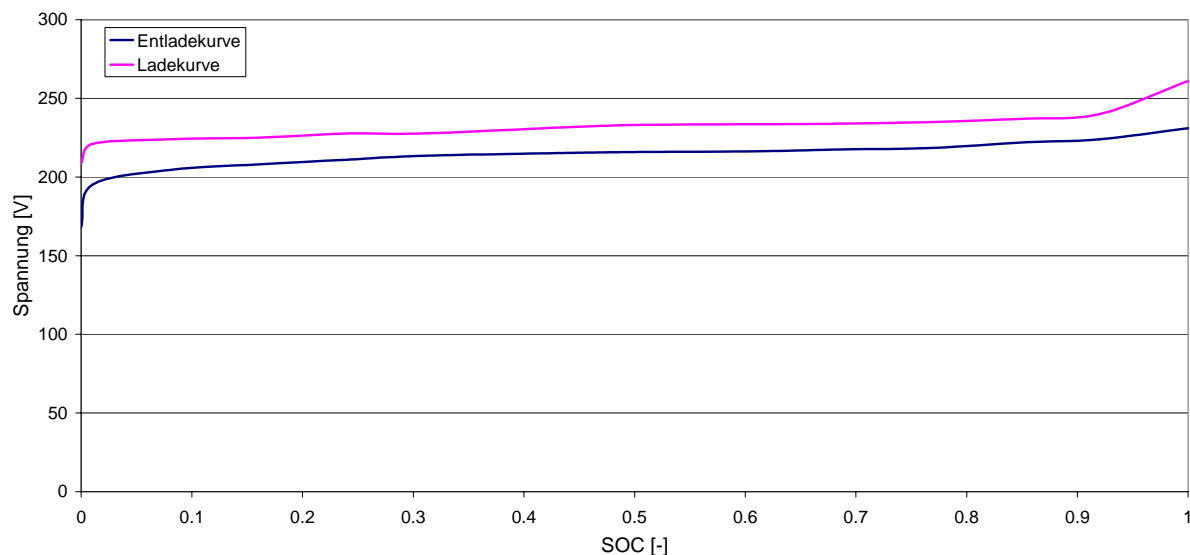
**Abbildung 46:**  $Ke_{\text{assistieren}}$  und  $Ke_{\text{generieren}}$  über der normierten Drehzahl im NEDC

Die Daten der Hybridbatterie sind in Tabelle 27 zusammengefasst.

**Tabelle 27:** Daten der Hybridbatterie

<b>Hybridbatterie:</b>	
Kapazität:	1,31 kWh
Innenwiderstand:	0,5 $\Omega$
SOC <sub>max</sub> :	0,65
SOC <sub>min</sub> :	0,35

Der Spannungsverlauf beim Laden und Entladen der Hybridbatterie wurde aus den Messungen am PKW – Rollenprüfstand (siehe Kapitel 7.1) und aus der Messung des U.S. Department of Energy [19] erstellt. Abbildung 47 zeigt die ermittelte Lade- und Entladekurve der Hybridbatterie.



**Abbildung 47:** Lade- und Entladekurve der Hybridbatterie

### 7.3 Simulationsmodell für ein durchschnittliches Hybridfahrzeug

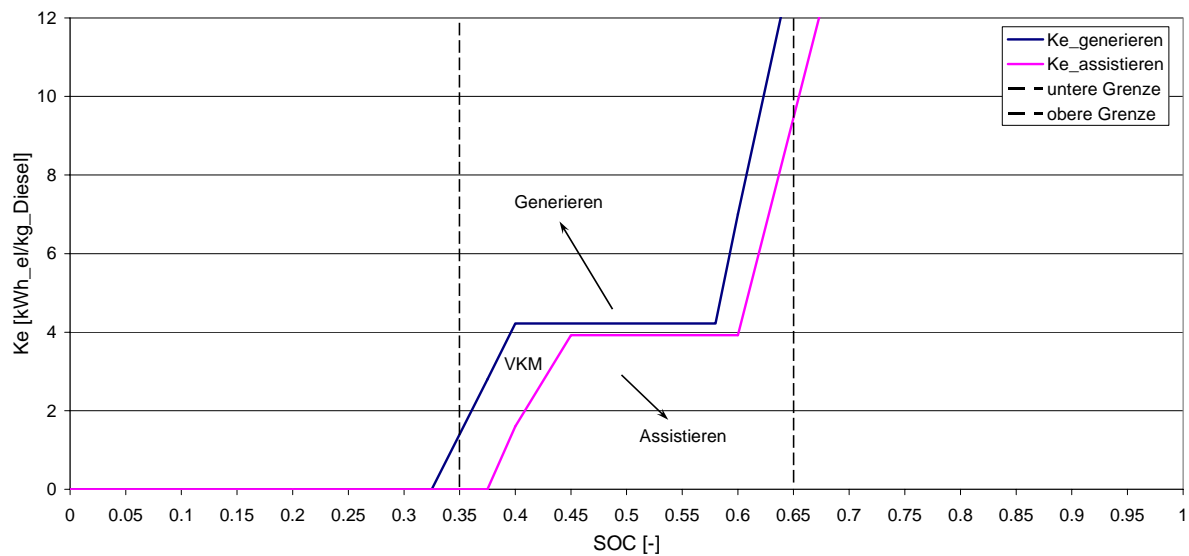
Hier wurde das „Durchschnittliche Benzinfahrzeug“ der Abgaskategorie Euro 5 nur um den schon im Simulationsmodell des Prius III verwendeten elektrischen Antrieb erweitert. Als zusätzliche Masse für die Batterie, Elektromotor und Konverter wurde ein Gewicht von 100 kg geschätzt und zur Fahrzeugeigenmasse addiert.

In Tabelle 28 sind die Fahrzeugdaten zusammengefasst.

**Tabelle 28:** Fahrzeugdaten für die Simulation des durchschnittlichen Hybridfahrzeugs

<b><i>Benzinmotor:</i></b>	
Nennleistung:	75 kW
Nenndrehzahl:	5600 U/min
Leerlaufdrehzahl:	800 U/min
<b><i>Elektromotor</i></b>	
Nennleistung:	27 kW
Maximalleistung:	27 kW
Leistungsaufnahme im Leerlauf:	0,2 kW
Nenndrehzahl:	2000 U/min
<b><i>Kraftübertragung:</i></b>	
Achsübersetzung:	4
1. Gang:	3,6298
2. Gang::	2,0523
3. Gang:	1,3801
4. Gang:	1,0477
5. Gang:	0,8423
<b><i>Rollwiderstandskoeffizienten:</i></b>	
$F_{r_0}$ :	0,008811
$F_{r_1}$ :	0,000101915
$F_{r_2}$ :	0
$F_{r_3}$ :	0
$F_{r_4}$ :	$-1,3938 \cdot 10^{-9}$
<b><i>Fahrzeuggewicht:</i></b>	1350 kg
<b><i>Luftwiderstandsbeiwert <math>c_w</math>:</i></b>	0,305074
<b><i>Stirnfläche:</i></b>	2,16 m <sup>2</sup>

Für die Simulation des durchschnittlichen Hybridfahrzeugs wurden die in Abbildung 48 dargestellten Grenzkurven neu ermittelt und angepasst. Diese Kurven kristallisierten sich aus einer Vielzahl von unterschiedlichen Möglichkeiten heraus. Wie hier gut zu sehen ist, gibt es einen Bereich, in dem nur die Verbrennungskraftmaschine arbeitet. Ohne diesen Bereich hat das System zu schwingen begonnen und die Verbrauchswerte sind somit angestiegen.

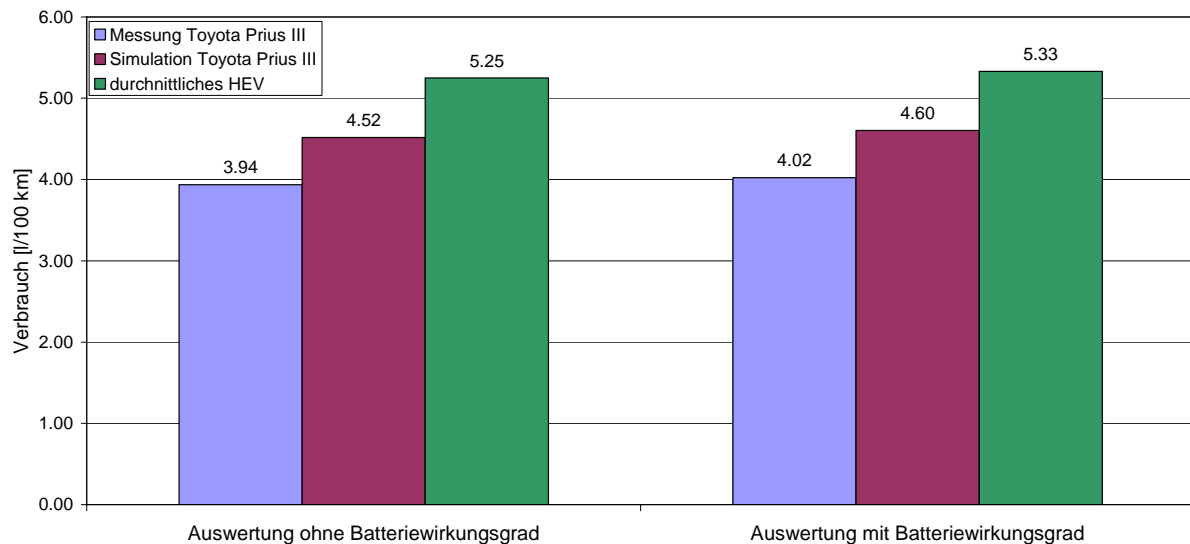


**Abbildung 48:** Grenzkurven für die Simulation des durchschnittlichen Hybridfahrzeugs

Die Daten der Hybridbatterie und die Lade- und Entladekurven sind mit jenen der Priussimulation ident (siehe Kapitel 7.2).

## 7.4 Vergleich der Simulationsergebnisse mit den Messungen des Toyota Prius III

In Abbildung 49 sind die Simulationsergebnisse und die Messergebnisse vom PKW – Rollenprüfstand dargestellt. Als Testzyklus wurde der Typprüfzyklus NEDC ausgewählt, da der Hybridantrieb im Simulationsmodell auf diesen Zyklus ausgelegt wurde. Bei der Korrektur der Verbrauchswerte wurden nicht, wie in der Norm vorgeschrieben, die beiden Teile des NEDC getrennt korrigiert, sondern nur im Gesamten betrachtet, wie bereits in Kapitel 5.3.2 angemerkt wurde. Das Gleiche gilt für die Auswertung unter Berücksichtigung des Batterielade- und Entladewirkungsgrades. Für die Wirkungsgradkette (siehe Kapitel 5.3.2) wurde ein Wirkungsgrad von 81% angenommen [6]. Die verschiedenen Auswertewege sind in Kapitel 5.3 genau beschrieben.

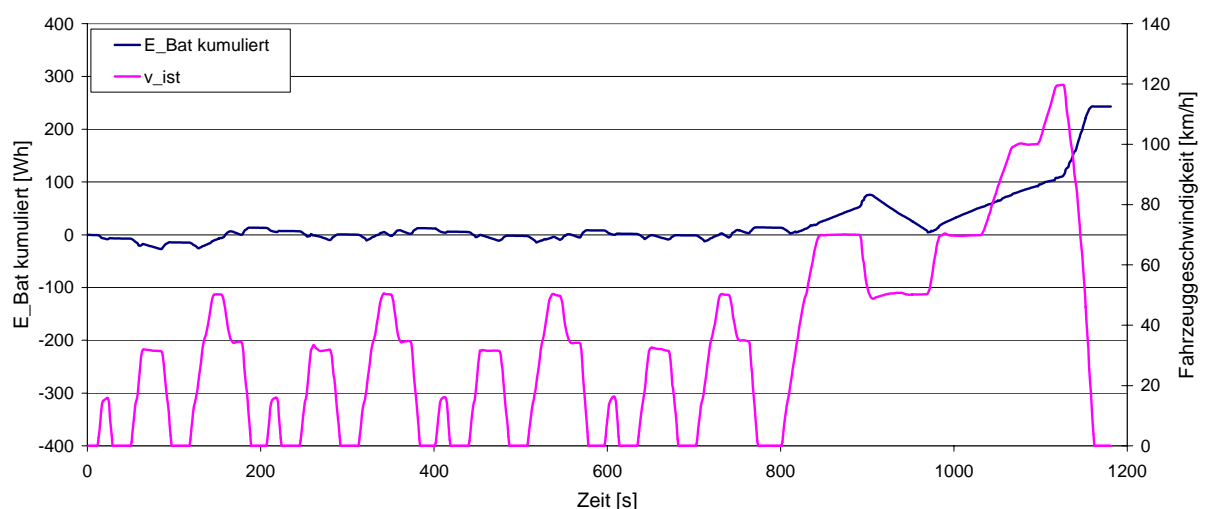


**Abbildung 49:** Verbrauchswerte beim Typprüfzyklus NEDC

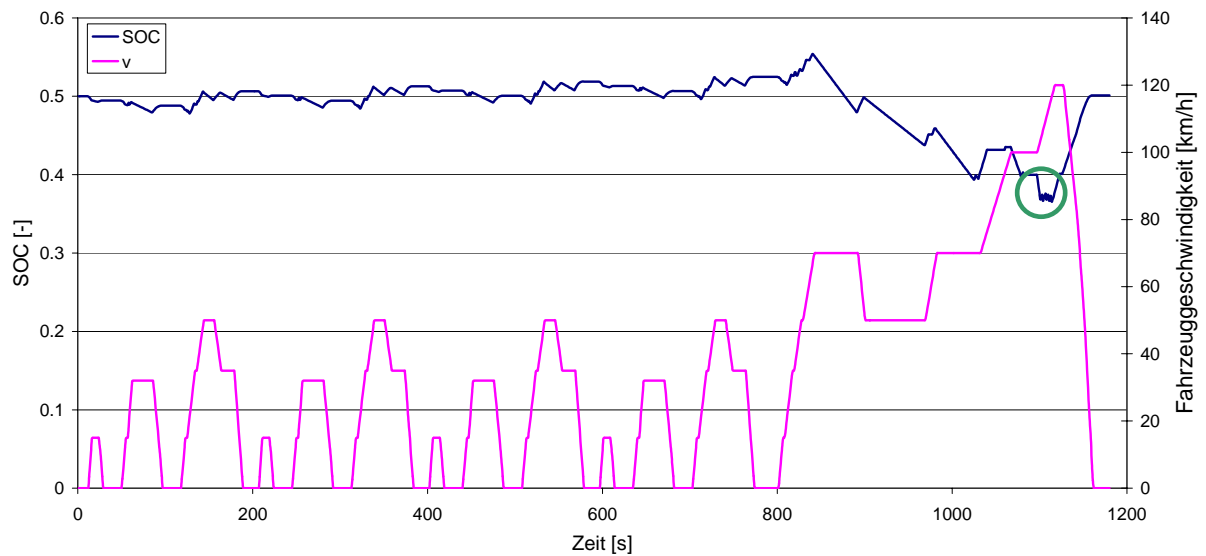
Einen Anteil an den Verbrauchsunterschieden zwischen der Messung des Toyota Prius III und der Simulation haben die verschiedenen Getriebearten. Der Prius III verfügt über ein CVT – Getriebe und das Simulationsmodell hat ein Schaltgetriebe. Weiters gehört der Toyota Prius III der Gruppe der Mischhybride an und das Simulationsmodell verfügt über einen Parallelhybridantrieb.

Betrachtet man Abbildung 50 und Abbildung 51 werden auch bei der Regelstrategie deutliche Unterschiede erkennbar, besonders im Außerortsbereich des Zyklus sind die Unterschiede groß. Sowohl bei der Messung als auch bei der Simulation war der SOC Startwert 50%. Als Prüfzyklus diente in beiden Fällen der NEDC.

Der nochmals höhere Verbrauch des durchschnittlichen Hybridfahrzeugs im Gegensatz zum Priussimulationsmodell liegt einerseits an den höheren Fahrwiderständen und andererseits an der geänderten Hybridstrategie. Es kommen andere Grenzkurven zum Einsatz (siehe Abbildung 48 und Abbildung 45).



**Abbildung 50:** Verlauf der kumulierten Batteriarbeit bei der Messung des Toyota Prius III (Typprüfzyklus NEDC)



**Abbildung 51:** SOC – Verlauf bei der Simulation des Toyota Prius III (Typprüfzyklus NEDC)

In Abbildung 51 ist das Schwingen des Reglers im grün markierten Bereich zu erkennen. Wie bereits in Kapitel 3.2.2 erwähnt, hängt dieses Schwingen mit den verwendeten Grenzkurven in Kombination mit dem verwendeten Simulationsprogramm PHEM zusammen. Bei der Simulation des Toyota Prius III wurden die in Abbildung 45 dargestellten Grenzkurven verwendet. Diese Kurven weisen keinen „neutralen“ Bereich, in dem nur die Verbrennungskraftmaschine arbeitet auf, daher auch die Schwingungsneigung.

## 8 Zusammenfassung

Hybridfahrzeuge gewinnen in der heutigen Zeit immer mehr an Bedeutung. Gerade im städtischen Bereich, wo die Emissionsbelastung durch den Straßenverkehr am größten ist, kann durch Hybridisierung der Personenkraftfahrzeuge eine Verbesserung im Verbrauchs- und Emissionsverhalten erreicht werden. Da nicht nur die Technik der Fahrzeuge sondern auch das Fahrverhalten der Lenker einen Einfluss auf den Verbrauch und in weiterer Folge auf die Emissionen hat, wurde im Zuge dieser Diplomarbeit das Fahrverhalten mit verschiedenen Fahrzeugarten (konventionelles Kraftfahrzeug, Elektrofahrzeug, Hybridfahrzeug) im Stadtgebiet von Graz untersucht. Im Anschluss folgten Messungen am PKW – Rollenprüfstand und ein Simulationsmodell für ein durchschnittliches Hybridfahrzeug wurde erstellt. Die wichtigsten Ergebnisse und Beobachtungen dieser Untersuchungen sind in dieser Zusammenfassung kurz beschrieben.

Vergleicht man die ermittelten Stadtzyklen und die „real world“ Zyklen mit dem in der EU aktuellen Typprüfzyklus NEDC fällt auf, dass die Cruiseanteile der realen Stadtzyklen wesentlich kleiner sind als die des NEDC. Die langen Konstantfahrten im NEDC sind im Stadtverkehr nicht möglich.

Der Unterschied der einzelnen Fahrweisen (normal, aggressiv und ökonomisch) ist bei den Cruiseanteilen und bei der positiven Beschleunigung am größten. Vergleicht man in weiterer Folge die Verbrauchswerte von einem Hybridfahrzeug mit einem konventionellen Benzinfahrzeug, sieht man, dass durchaus ein Verbrauchseinsparungspotential vorhanden ist. Dieses Potential wird mit zunehmender Aggressivität im Fahrverhalten größer. Als Erklärung für diese Beobachtung wurden folgende zwei Punkte ermittelt: Rekuperation von Bremsenergie und Lastpunktanhebung. Diese beiden Einsparungsmaßnahmen sind nur bei Hybridfahrzeugen möglich.

Weiters konnte festgestellt werden, dass das Hybridfahrzeug in den Hybridzyklen einen niedrigeren Verbrauch als in den konventionellen Zyklen hat. Das bedeutet, dass Hybridfahrzeuge auf die Zyklusart (hybrid oder konventionell) reagieren. Diese Feststellung müsste noch mit weiteren Messungen, die leider aus Zeitgründen bei dieser Diplomarbeit nicht möglich waren, bestätigt werden.

Die Simulation von Hybridfahrzeugen hat ergeben, dass neben den Fahrwiderständen die Regelstrategie im Zusammenspiel mit dem Getriebe einen wesentlichen Einfluss auf den Verbrauch hat.

Als Resümee kann gesagt werden, dass sowohl die Fahrzeugtechnologie als auch die Fahrweise des Lenkers einen Einfluss auf den Verbrauch hat. Mit dem Hybridfahrzeug wird eine durchwegs sparsamere Fahrweise an den Tag gelegt. Dies wird durch sogenannte Betriebsartschalter unterstützt.



## 9 Verzeichnisse

### 9.1 Literaturverzeichnis

- [1] Alvarez R., Schlienger P., Weilemann M., Effect of Battery Performance on Determining CO<sub>2</sub> Emissions of Hybrid Electric Vehicles under Real – World Conditions, 18<sup>th</sup> International Symposium Transport and Air Pollution Session 3: Electro and Hybrid Vehicles
- [2] Amtsblatt der Europäischen Union, Regelung Nr. 101 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE), L158, 2007
- [3] André M.: Driving cycles derived from real-world in vehicle measurements for passenger cars and light duty vehicles. Principles, database and main results – Particular case of the ARTEMIS driving cycles, Bron 2001
- [4] Datenblatt Rollenprüfstand für Personenkraftfahrzeuge am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der TU – Graz
- [5] DELPHI, Worldwide Emissions Standards Passenger Cars & Light Duty Vehicles, 2010/2011
- [6] Fischer M., Böttcher J., Weickgenannt P., Beidl C., Bacher C., Hohenberg G., Zusammenspiel von Fahrzeugmessung und Simulation zur Untersuchung von Hybridkonzepten, 3. Internationales Symposium für Entwicklungsmethodik Herausforderungen im Spannungsfeld neuer Antriebskonzepte, Wiesbaden 2009
- [7] Google Maps Österreich, 2010
- [8] Gscheidle R., Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik, 28. Auflage für Österreich, Europa Lehrmittel, 2005
- [9] Hausberger S., Skriptum Umweltauswirkungen des Verkehrs Teil I, Institut für Verbrennungskraftmaschinen, Technische Universität Graz, 2008
- [10] Hausberger S., Schmitzberger M., Emissionsverhalten von SUV – Sport Utility Vehicles, Umweltbundesamt, REP 0155, Wien 2008
- [11] ISO 10521-1, Road vehicles – Road load, Part 1: Determination under reference atmosphere conditions, First edition 2006-10-01
- [12] Luz R., Hausberger S., User Guide for the Model PHEM, Version 10; Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics TU Graz, Graz, 2009
- [13] Prospekt Honda Civic, Honda Austria GmbH, Holzahsuen 12/09
- [14] Prospekt Honda Insight, Honda Austria GmbH, Holzhausen 03/09
- [15] Prospekt Toyota Prius III, 07/09/PRI/AT/10.000

- 
- [16] Renhart W., Magele C., Hausberger S., Zallinger M., Luz R., Recent NiMH – battery Modeling Supported by Finite Element Thermal Analysis, Institute for Fundamentals and Theory in Engineering TU – Graz, Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics TU – Graz, 2010
  - [17] Rexeis M., Hausberger S., ARTEMIS – Assessment and Reliability of Transport Emission Models in Inventory Systems, Final Report of the WP400 – Heavy Duty Vehicles Emissions; Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der TU – Graz, 2005
  - [18] Schmitzberger M., Emissionsverhalten von SUV's und Potential einer Hybridisierung, Diplomarbeit Technische Universität Graz, 2007
  - [19] U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, 2010 Toyota Prius – 0462 Hybrid BOT Battery Test Results
  - [20] Zallinger M., Mikroskopische Simulation der Emissionen von Personenkraftfahrzeugen, Technische Universität Graz, 2010
  - [21] Zallinger M., Hausberger S., Glauninger F.; Erstellung von Fahrzyklen für unterschiedliche Fahrzeugkonzepte, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, Graz 2010

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Emissionsmodell PHEM [12].....	5
Abbildung 2: Ausrollkurve.....	7
Abbildung 3: Luft- und Rollwiderstandskraft als Polynome 2. Ordnung.....	8
Abbildung 4: Aufbau des Hybridmodells [20] .....	9
Abbildung 5: Schematische Darstellung Batteriemodell [16] .....	10
Abbildung 6: Wirkungsgradkurven für Generieren und Assistieren für ein HEV im NEDC.....	13
Abbildung 7: Grenzkurven Generieren und Assistieren .....	13
Abbildung 8: Geschwindigkeitsverlauf des NEDC mit den vorgegebenen Schaltpunkten .....	16
Abbildung 9: Geschwindigkeitsverlauf der drei Phasen des CADC .....	18
Abbildung 10: Fahrtstrecke im inneren Stadtbereich von Graz [7].....	19
Abbildung 11: Schematischer Aufbau des PKW - Rollenprüfstands.....	23
Abbildung 12: Korrektur des gemessenen Verbrauchs des Toyota Prius III im UDC.....	26
Abbildung 13: Wirkungsgradkette beim Laden- und Entladen der Batterie [1] .....	27
Abbildung 14: Korrektur der Messwerte mit einbezogenen Lade- und Entladewirkungsgraden im Typprüfzyklus NEDC .....	28
Abbildung 15: Korrektur der Messwerte des Honda Insight im Typprüfzyklus NEDC nach Norm, mit Lade- Entladewirkungsgrad und mit $K_{fuel}$ für den gesamten Zyklus .....	29
Abbildung 16: Aufbau eines Mischhybrids [8] .....	32
Abbildung 17: Anfahren [8].....	32
Abbildung 18:Anlassen der Verbrennungskraftmaschine [8] .....	33
Abbildung 19: Fahren mit geringer Belastung [8].....	33
Abbildung 20: Maximale Beschleunigung [8] .....	34
Abbildung 21: Verzögerung [8].....	34
Abbildung 22: Motordrehzahlen bei aggressiver und ökonomischer Fahrweise, PKW mit Ottomotor Euro 5 in den Zyklen Konvent_aggressiv und Konvent_öko.....	35
Abbildung 23: Geschwindigkeitsverlauf und Teststrecke mit GPS aufgezeichnet.....	36
Abbildung 24: Gesamte Messfahrt mit extrahiertem Zyklus Konvent_normal .....	38
Abbildung 25: Testzyklus Konvent_normal mit den Schaltpunkten .....	38
Abbildung 26: Normale Fahrweise konventionelles Fahrzeug (links) und Hybridfahrzeug (rechts) .....	40

Abbildung 27: Ökonomische Fahrweise konventionelles Fahrzeug (links) und Hybridfahrzeug (rechts) .....	41
Abbildung 28: Aggressive Fahrweise konventionelles Fahrzeug (links) und Hybridfahrzeug (rechts) .	42
Abbildung 29: Fahrweise mit Elektroauto.....	43
Abbildung 30: durchschnittlich positive Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit ohne Stillstand für die ermittelten Testzyklen und die einzelnen Messfahrten .....	44
Abbildung 31: durchschnittliche positive Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit .....	45
Abbildung 32: Innerortsbereich durchschnittliche positive Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit .....	46
Abbildung 33: durchschnittliche positive Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit ohne Stillstand .....	47
Abbildung 34: durchschnittliche negative Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit .....	47
Abbildung 35: durchschnittliche positive Beschleunigung über dem Cruiseanteil .....	48
Abbildung 36: 50 Perzentil der positiven Beschleunigung über dem Cruiseanteil.....	49
Abbildung 37: Verbrauchsvergleich Honda Civic mit Honda Insight.....	50
Abbildung 38: Verbrauchsunterschied Honda Insight zu Honda Civic.....	51
Abbildung 39: Einsparungspotential des HEV in den Hybridzyklen gegenüber dem konventionellen Fahrzeug in den konventionellen Zyklen.....	51
Abbildung 40: Messaufbau der Strom- und Spannungsmessung an der Hybridbatterie.....	56
Abbildung 41: Leistung der Hybridbatterie bei konstanter Fahrtgeschwindigkeit von 40 km/h.....	57
Abbildung 42: Lade- und Entladespannung bei konstanter Fahrt.....	57
Abbildung 43: Entladekurve der Prius III Batterie [19] .....	58
Abbildung 44: Messung Toyota Prius III (Betriebsmodus EV) im Typprüfzyklus NEDC.....	58
Abbildung 45: Grenzkurven für die Simulation des Toyota Prius III.....	60
Abbildung 46: $K_{e_{assistieren}}$ und $K_{e_{generieren}}$ über der normierten Drehzahl im NEDC.....	60
Abbildung 47: Lade- und Entladekurve der Hybridbatterie .....	61
Abbildung 48: Grenzkurven für die Simulation des durchschnittlichen Hybridfahrzeugs.....	63
Abbildung 49: Verbrauchswerte beim Typprüfzyklus NEDC.....	64
Abbildung 50: Verlauf der kumulierten Batteriearbeit bei der Messung des Toyota Prius III (Typprüfzyklus NEDC).....	64
Abbildung 51: SOC – Verlauf bei der Simulation des Toyota Prius III (Typprüfzyklus NEDC) .....	65
Abbildung 52: Geschwindigkeitsverlauf FTP 75.....	76

---

Abbildung 53: Geschwindigkeitsverlauf US06.....	76
Abbildung 54: Geschwindigkeitsverlauf SC03.....	77
Abbildung 55: Geschwindigkeitsverlauf JC08 .....	77
Abbildung 56: Geschwindigkeitsverlauf Diesel_IATS_urban .....	78
Abbildung 57: Geschwindigkeitsverlauf Diesel_IATS_rural .....	78
Abbildung 58: Geschwindigkeitsverlauf Diesel_IATS_motorway.....	79
Abbildung 59: Geschwindigkeitsverlauf BAB .....	79
Abbildung 60: Geschwindigkeitsverlauf HBEFA R1 .....	80
Abbildung 61: Geschwindigkeitsverlauf HBEFA R2.....	80
Abbildung 62: Geschwindigkeitsverlauf HBEFA R3.....	81
Abbildung 63: Geschwindigkeitsverlauf HBEFA R4.....	81
Abbildung 64: durchschnittlich positive Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit	82
Abbildung 65: durchschnittlich negative Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit	82
Abbildung 66: durchschnittlich positive Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit ohne Stillstand .....	83
Abbildung 67: durchschnittlich negative Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit ohne Stillstand .....	83
Abbildung 68: durchschnittliche positive Beschleunigung über dem Cruiseanteil .....	84
Abbildung 69: durchschnittliche negative Beschleunigung über dem Cruiseanteil.....	84
Abbildung 70: Perzentil pos. Beschleunigung über dem Geschwindigkeitsperzentil ohne Stillstand ...	84
Abbildung 71: Perzentil pos. Beschleunigung über Geschwindigkeitsperzentil ohne Stillstand .....	85
Abbildung 72: Perzentil neg. Beschleunigung über Geschwindigkeitsperzentil ohne Stillstand.....	85
Abbildung 73: Perzentil neg. Beschleunigung über Geschwindigkeitsperzentil ohne Stillstand.....	85
Abbildung 74: Verkehrsbewertung Messfahrten konventionelles Fahrzeug .....	86
Abbildung 75: durchschnittliche positive Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit	86
Abbildung 76: durchschnittliche negative Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit	86
Abbildung 77: durchschnittliche positive Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit ohne Stillstand .....	87
Abbildung 78: durchschnittliche negative Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit ohne Stillstand .....	87
Abbildung 79: durchschnittliche positive Beschleunigung über dem Cruiseanteil .....	87

---

Abbildung 80: durchschnittliche negative Beschleunigung über dem Cruiseanteil.....	88
Abbildung 81: Perzentil pos. Beschleunigung über dem Geschwindigkeitsperzentil ohne Stillstand...	88
Abbildung 82: Perzentil pos. Beschleunigung über dem Geschwindigkeitsperzentil ohne Stillstand...	88
Abbildung 83: Perzentil neg. Beschleunigung über dem Geschwindigkeitsperzentil ohne Stillstand...	89
Abbildung 84: Perzentil neg. Beschleunigung über dem Geschwindigkeitsperzentil ohne Stillstand.	89
Abbildung 85: durchschnittliche positive Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit .....	90
Abbildung 86: durchschnittliche negative Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit .....	90
Abbildung 87: durchschnittliche positive Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit ohne Stillstand .....	91
Abbildung 88: durchschnittliche negative Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit ohne Stillstand .....	91
Abbildung 89: durchschnittliche positive Beschleunigung über Cruiseanteil .....	91
Abbildung 90: durchschnittliche negative Beschleunigung über Cruiseanteil.....	92
Abbildung 91: Perzentil pos. Beschleunigung über dem Geschwindigkeitsperzentil ohne Stillstand...	92
Abbildung 92: Perzentil neg. Beschleunigung über dem Geschwindigkeitsperzentil ohne Stillstand...	92
Abbildung 93: durchschnittliche negative Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit ohne Stillstand .....	93
Abbildung 94: durchschnittliche negative Beschleunigung über dem Cruiseanteil.....	93
Abbildung 95: 50 Perzentil der negativen Beschleunigung über Cruiseanteil .....	94
Abbildung 96: 50 Perzentil pos. Beschleunigung über dem 50 Perzentil der Geschwindigkeit ohne Stillstand .....	94
Abbildung 97: 50 Perzentil neg. Beschleunigung über dem 50 Perzentil Geschwindigkeit ohne Stillstand .....	94
Abbildung 98: 85 Perzentil pos. Beschleunigung über dem 85 Perzentil Geschwindigkeit ohne Stillstand .....	95
Abbildung 99: 85 Perzentil neg. Beschleunigung über dem 85 Perzentil der Geschwindigkeit ohne Stillstand .....	95

## 9.2 Formelverzeichnis

Formel 1: Leistung zur Überwindung des Rollwiderstands [9].....	7
Formel 2: Leistung zur Überwindung des Luftwiderstands [9].....	8
Formel 3: Elektrische Leistung [16].....	10
Formel 4: Klemmenspannung [16].....	11
Formel 5: Batteriestrom [16].....	11
Formel 6: Verlustleistung [16].....	11
Formel 7: Wirkungsgrad für Assistieren [18].....	12
Formel 8: Wirkungsgrad für Generieren [18].....	12
Formel 9: Korrekturkoeffizient [2].....	25
Formel 10: Korrigierter Kraftstoffverbrauch [2].....	26
Formel 11: Ladebilanz unter Berücksichtigung der Lade- und Entladewirkungsgrade [1].....	27
Formel 12: Berechnung der Energieflüsse mit konstanten Wirkungsgraden [1].....	28

## 9.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Spezifische Fahrzeugdaten .....	6
Tabelle 2: Eingabedaten in das Modell PHEM zur Simulation von Hybridfahrzeugen .....	9
Tabelle 3: Untersuchte Fahrzyklen.....	15
Tabelle 4: Zyklusdaten des NEDC .....	16
Tabelle 5: Zyklusdaten der drei CADC Phasen.....	17
Tabelle 6: Notenschlüssel zur Verkehrsbewertung .....	20
Tabelle 7: Fahrstile und Vorgaben für die Fahrer .....	21
Tabelle 8: Technische Daten PKW - Rollenprüfstand.....	22
Tabelle 9: Einteilung von Hybrid – Elektro – Fahrzeugen [2].....	24
Tabelle 10: Technische Daten Honda Insight Elegance [14] .....	30
Tabelle 11: Technische Daten Honda Civic Comfort [13] .....	30
Tabelle 12: Technische Daten Toyota Prius III .....	31
Tabelle 13: Zyklusname mit Fahrzeug- und Fahrstilzuordnung.....	36
Tabelle 14: Beurteilungsgrößen mit ihren Gewichtungen [21] .....	37
Tabelle 15: Ermittelte Stadtzyklen mit der durchschnittlichen Abweichung der Beurteilungsgrößen zur gesamten Messzeit.....	39
Tabelle 16: Beurteilungsgrößen .....	39
Tabelle 17: Datenvergleich konventionelles Fahrzeug mit Hybridfahrzeug Fahrweise „normal“ .....	40
Tabelle 18: Datenvergleich konventionelles Fahrzeug mit Hybridfahrzeug Fahrweise „Öko“ .....	41
Tabelle 19: Datenvergleich konventionelles Fahrzeug mit Hybridfahrzeug Fahrweise „Aggressiv“ .....	42
Tabelle 20: Zyklusdaten Elektro - Fahrweise .....	43
Tabelle 21: Verkehrsbewertung der Messfahrten mit dem konventionellen Fahrzeug.....	44
Tabelle 22: Reihung der Verbrauchswerte.....	52
Tabelle 23: Reihung der Zyklen nach den Beurteilungsgrößen .....	52
Tabelle 24: Rekuperierte Energie und durch Lastpunktanhebung erzeugte Energie des Honda Insight während der Stadtzyklen.....	54
Tabelle 25: Anteile der elektrischen Antriebsleistung an der gesamten Radleistung für Honda Insight .....	55
Tabelle 26: Fahrzeugdaten für Toyota Prius III Simulation .....	59



---

Tabelle 27: Daten der Hybridbatterie .....	61
Tabelle 28: Fahrzeugdaten für die Simulation des durchschnittlichen Hybridfahrzeugs .....	62
Tabelle 29 Zyklusdaten des FTP 75.....	76
Tabelle 30: Zyklusdaten US06 .....	77
Tabelle 31: Zyklusdaten SC03 .....	77
Tabelle 32: Zyklusdaten JC08.....	78
Tabelle 33: Zyklusdaten Diesel_IATS_urban.....	78
Tabelle 34: Zyklusdaten Diesel_IATS_rural.....	79
Tabelle 35: Zyklusdaten Diesel_IATS_motorway.....	79
Tabelle 36: Zyklusdaten BAB .....	80
Tabelle 37: Zyklusdaten HBEFA R1 .....	80
Tabelle 38: Zyklusdaten HBEFA R2.....	81
Tabelle 39: Zyklusdaten HBEFA R3.....	81
Tabelle 40: Zyklusdaten HBEFA R4.....	82
Tabelle 41: Verkehrsbewertung Messfahrten Hybridfahrzeug.....	89
Tabelle 42: Verkehrsbewertung Messfahrten Elektrofahrzeug .....	93

# 10 Anhang

## 10.1 Fahrzyklen

### 10.1.1 FTP 75 - Federal Test Procedure

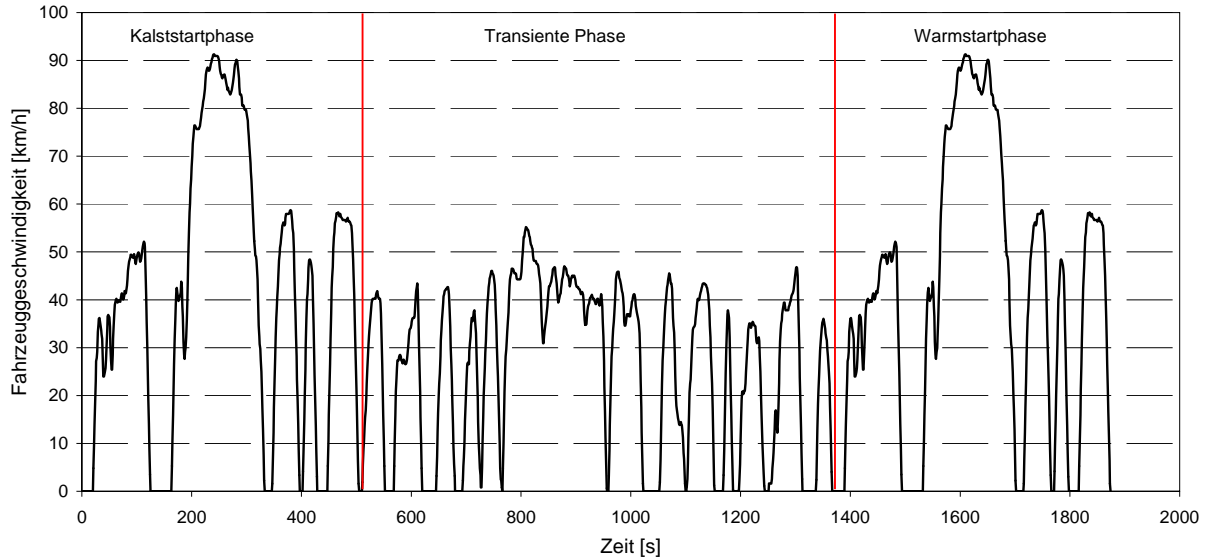


Abbildung 52: Geschwindigkeitsverlauf FTP 75

Zyklusname	$a_{max}$	$a_{min}$	$a_{pos50}$	$a_{neg50}$	$v_{max}$	$v_{50 \circ St}$	St	Cruise	Weg	Zeit
	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[km/h]	[km/h]	[%]	[%]	[km]	[s]
FTP 75	1.47	-1.47	0.31	-0.36	91.25	40.23	19.05	26.7	17.77	1874

Tabelle 29 Zyklusdaten des FTP 75

### 10.1.2 SFTP US06 – Supplemental Federal Test Procedure

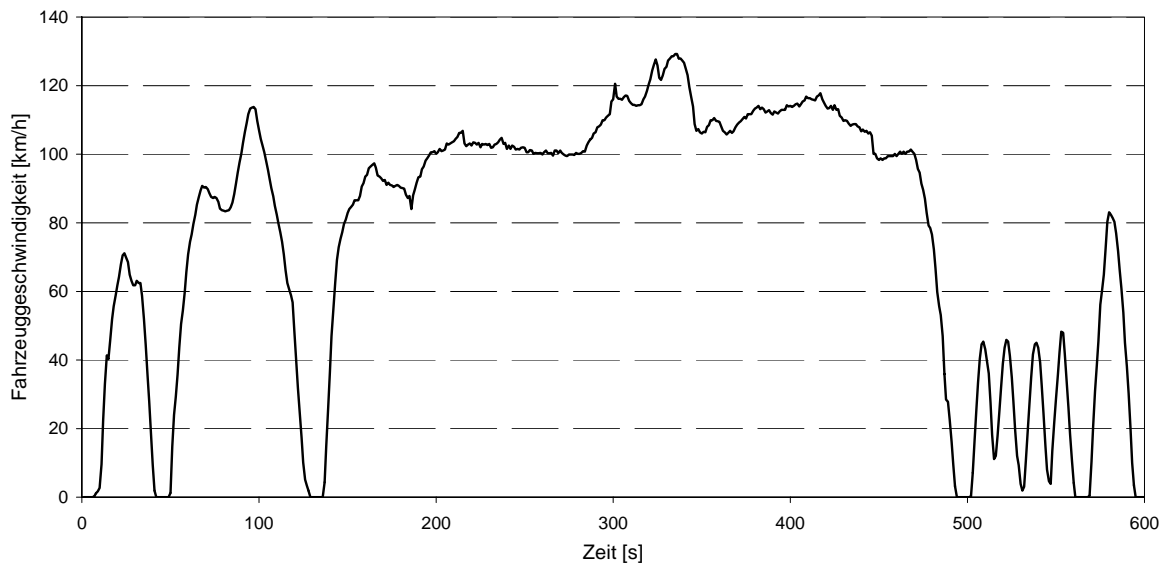


Abbildung 53: Geschwindigkeitsverlauf US06

Zyklusname	$a_{max}$	$a_{min}$	$a_{pos50}$	$a_{neg50}$	$v_{max}$	$v_{50 \circ St}$	St	Cruise	Weg	Zeit
	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[km/h]	[km/h]	[%]	[%]	[km]	[s]
US06	3.76	-3.08	0.27	-0.36	129.23	99.46	7.49	22.12	12.89	601

Tabelle 30: Zyklusdaten US06

### 10.1.3 SFTP SC03 – Supplemental Federal Test Procedure

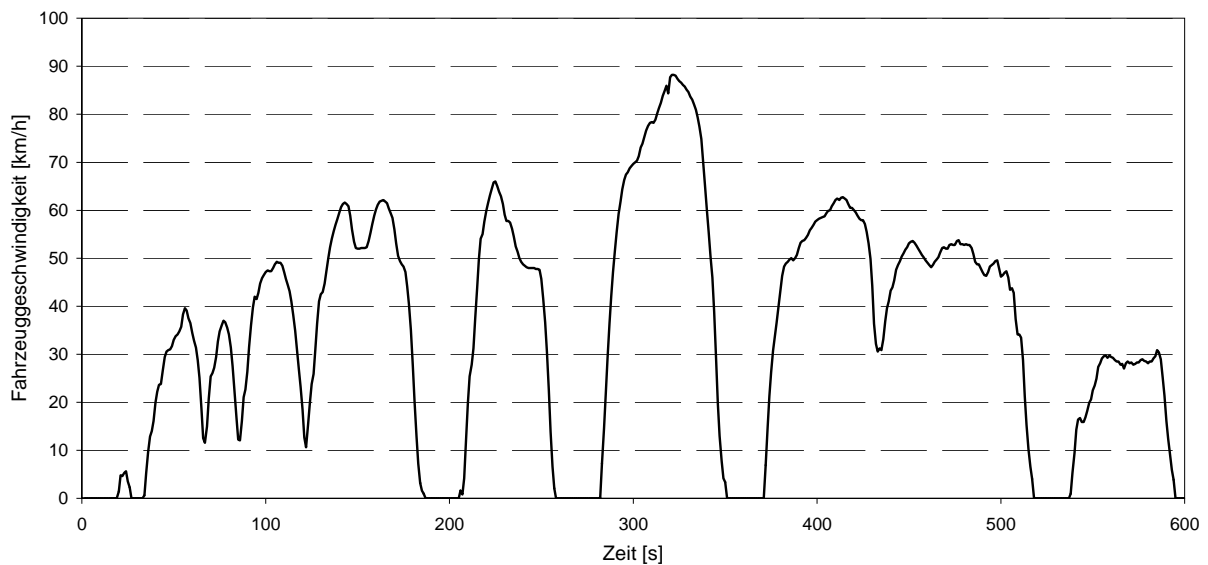


Abbildung 54: Geschwindigkeitsverlauf SC03

Zyklusname	$a_{max}$	$a_{min}$	$a_{pos50}$	$a_{neg50}$	$v_{max}$	$v_{50 \circ St}$	St	Cruise	Weg	Zeit
	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[km/h]	[km/h]	[%]	[%]	[km]	[s]
SC03	2.27	-2.73	0.31	-0.36	88.19	47.15	19.48	22.52	5.76	601

Tabelle 31: Zyklusdaten SC03

### 10.1.4 JC08 – Japanese Cycle

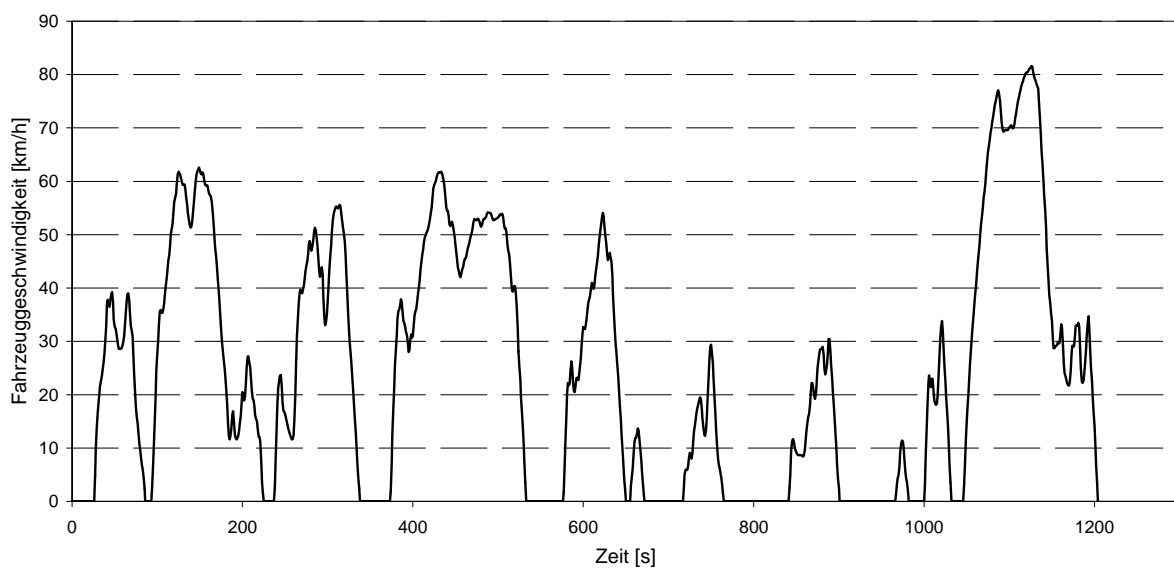


Abbildung 55: Geschwindigkeitsverlauf JC08

Zyklusname	$a_{max}$	$a_{min}$	$a_{pos50}$	$a_{neg50}$	$v_{max}$	$v_{50 \text{ o } St}$	St	Cruise	Weg	Zeit
	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[km/h]	[km/h]	[%]	[%]	[km]	[s]
JC08	1.69	-1.19	0.33	-0.42	81.6	32.44	29.65	19.95	8.17	1204

Tabelle 32: Zyklusdaten JC08

## 10.1.5 IATS – Integrated Austrian Traffic Situations

### Diesel\_IATS\_urban

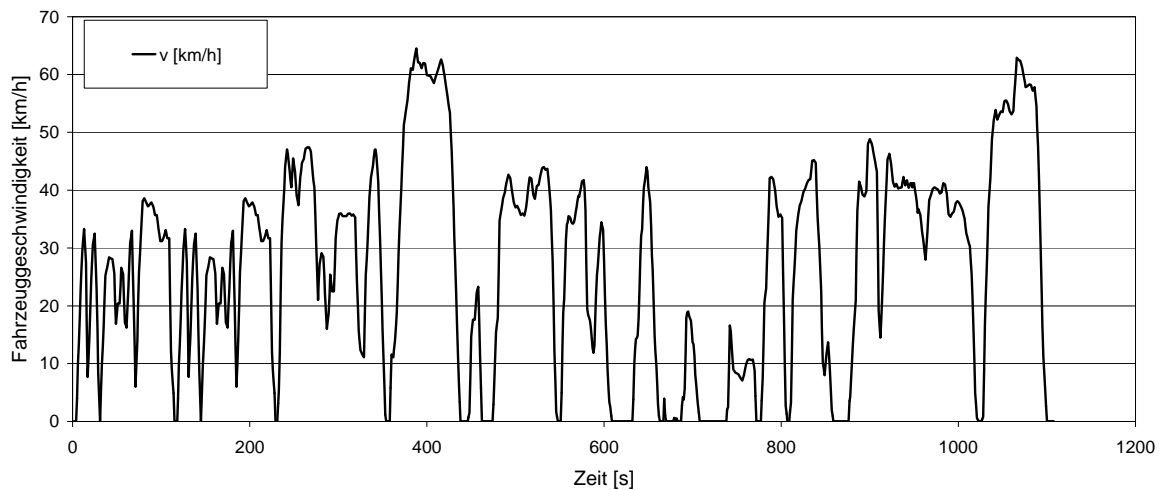


Abbildung 56: Geschwindigkeitsverlauf Diesel\_IATS\_urban

Zyklusname	$a_{max}$	$a_{min}$	$a_{pos50}$	$a_{neg50}$	$v_{max}$	$v_{50 \text{ o } St}$	St	Cruise	Weg	Zeit
	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[km/h]	[km/h]	[%]	[%]	[km]	[s]
IATS_urban	3.17	-3.33	0.35	-0.29	64.5	33.19	13.9	27.67	8.19	1108

Tabelle 33: Zyklusdaten Diesel\_IATS\_urban

### Diesel\_IATS\_rural

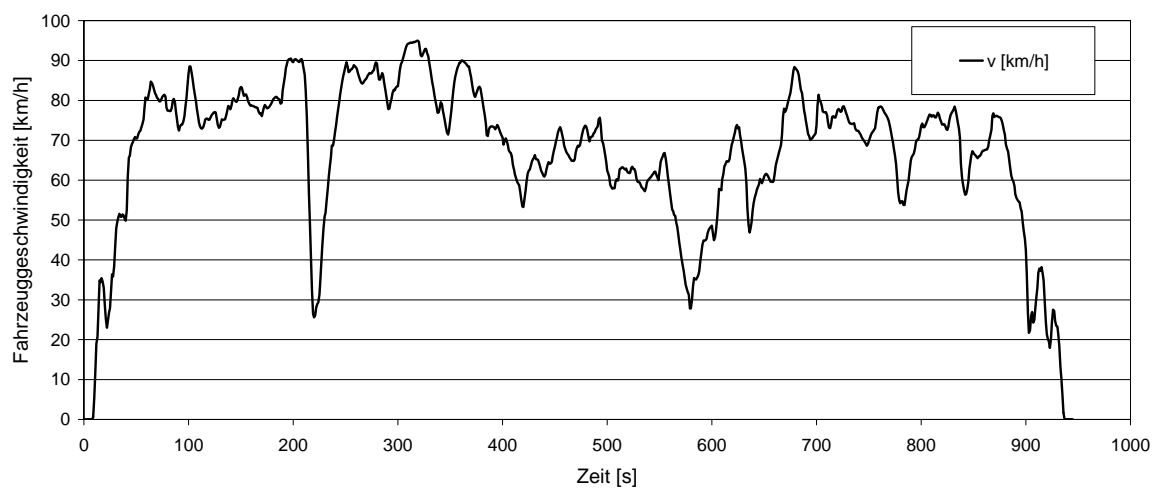


Abbildung 57: Geschwindigkeitsverlauf Diesel\_IATS\_rural

Zyklusname	$a_{max}$	$a_{min}$	$a_{pos50}$	$a_{neg50}$	$v_{max}$	$v_{50 \text{ o } St}$	St	Cruise	Weg	Zeit
	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[km/h]	[km/h]	[%]	[%]	[km]	[s]
IATS_rural	2.32	-2.7	0.23	-0.23	94.99	72.14	1.8	30.39	17.53	945

Tabelle 34: Zyklusdaten Diesel\_IATS\_rural

### Diesel\_IATS\_motorway

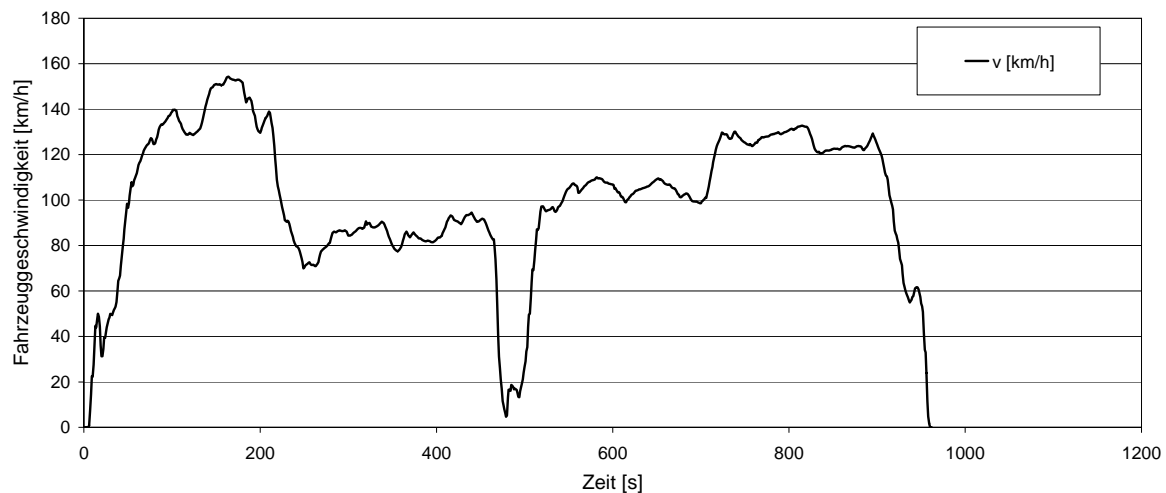


Abbildung 58: Geschwindigkeitsverlauf Diesel\_IATS\_motorway

Zyklusname	$a_{max}$	$a_{min}$	$a_{pos50}$	$a_{neg50}$	$v_{max}$	$v_{50 \text{ o } St}$	St	Cruise	Weg	Zeit
	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[km/h]	[km/h]	[%]	[%]	[km]	[s]
IATS_mw	2.60	-3.9	0.12	-0.15	154.3	103.75	0.83	50.10	26.75	962

Tabelle 35: Zyklusdaten Diesel\_IATS\_motorway

### BAB - Bundesautobahzyklus

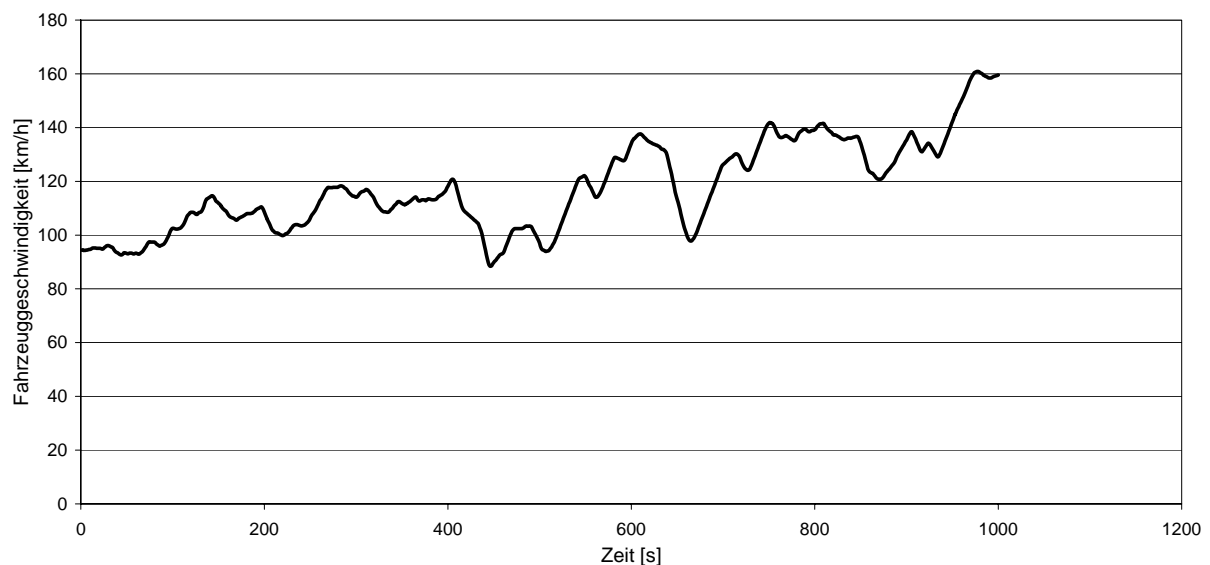


Abbildung 59: Geschwindigkeitsverlauf BAB

Zyklusname	$a_{max}$	$a_{min}$	$a_{pos50}$	$a_{neg50}$	$v_{max}$	$v_{50 \circ St}$	St	Cruise	Weg	Zeit
	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[km/h]	[km/h]	[%]	[%]	[km]	[s]
BAB	0.31	-0.47	0.11	-0.08	160.9	114.5	0.1	59.8	32.63	1001

Tabelle 36: Zyklusdaten BAB

### 10.1.6 Handbuch Emissionsfaktoren

#### HBEFA R1

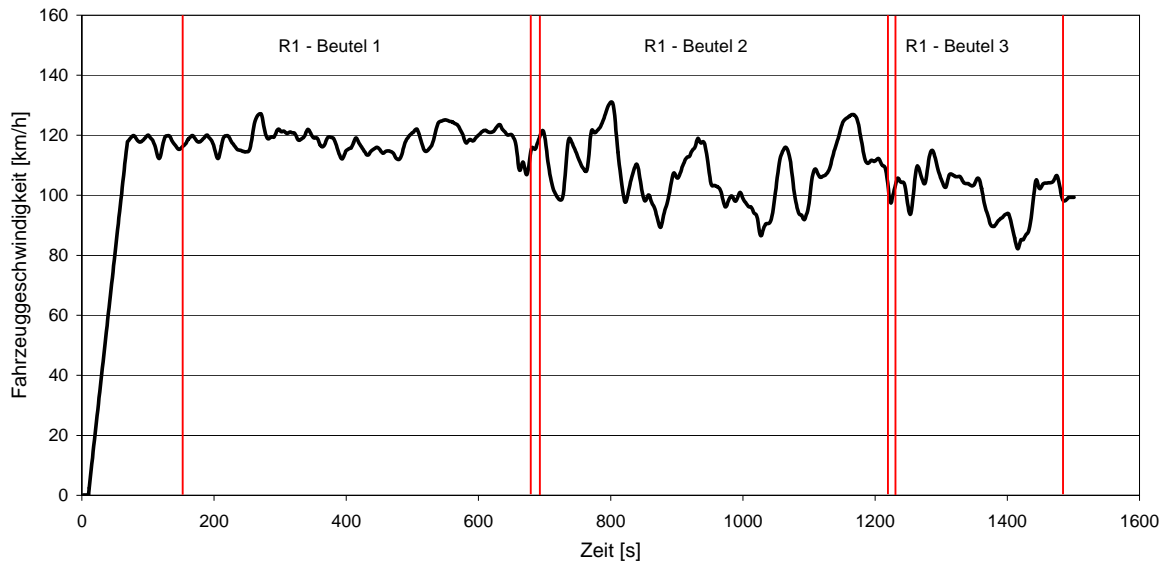


Abbildung 60: Geschwindigkeitsverlauf HBEFA R1

Zyklusname	$a_{max}$	$a_{min}$	$a_{pos50}$	$a_{neg50}$	$v_{max}$	$v_{50 \circ St}$	St	Cruise	Weg	Zeit
	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[km/h]	[km/h]	[%]	[%]	[km]	[s]
HBEFA R1	0.77	-0.72	0.11	-0.11	131.1	113.21	0.6	56.02	45.09	1501

Tabelle 37: Zyklusdaten HBEFA R1

#### HBEFA R2

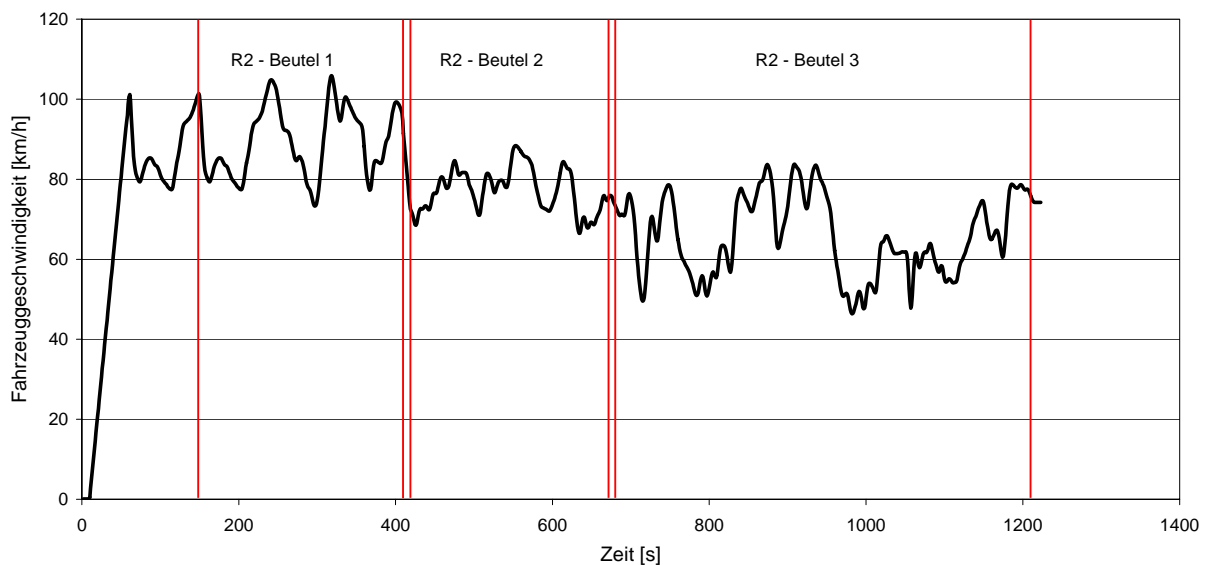


Abbildung 61: Geschwindigkeitsverlauf HBEFA R2

Zyklusname	$a_{max}$	$a_{min}$	$a_{pos50}$	$a_{neg50}$	$v_{max}$	$v_{50 \circ St}$	St	Cruise	Weg	Zeit
	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[km/h]	[km/h]	[%]	[%]	[km]	[s]
HBEFA R2	0.98	-1.16	0.2	-0.14	105.9	76.36	0.74	38.3	25.06	1223

Tabelle 38: Zyklusdaten HBEFA R2

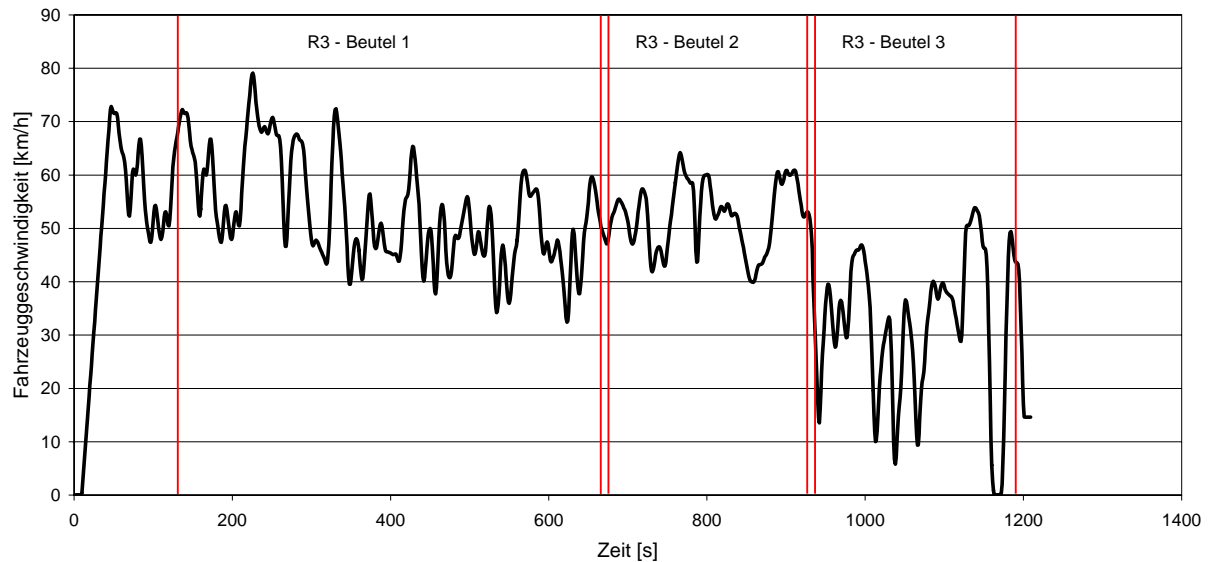
**HBEFA R3**

Abbildung 62: Geschwindigkeitsverlauf HBEFA R3

Zyklusname	$a_{max}$	$a_{min}$	$a_{pos50}$	$a_{neg50}$	$v_{max}$	$v_{50 \circ St}$	St	Cruise	Weg	Zeit
	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[km/h]	[km/h]	[%]	[%]	[km]	[s]
HBEFA R3	1.85	-2.09	0.3	-0.24	79.14	49.07	1.32	28.83	15.91	1209

Tabelle 39: Zyklusdaten HBEFA R3

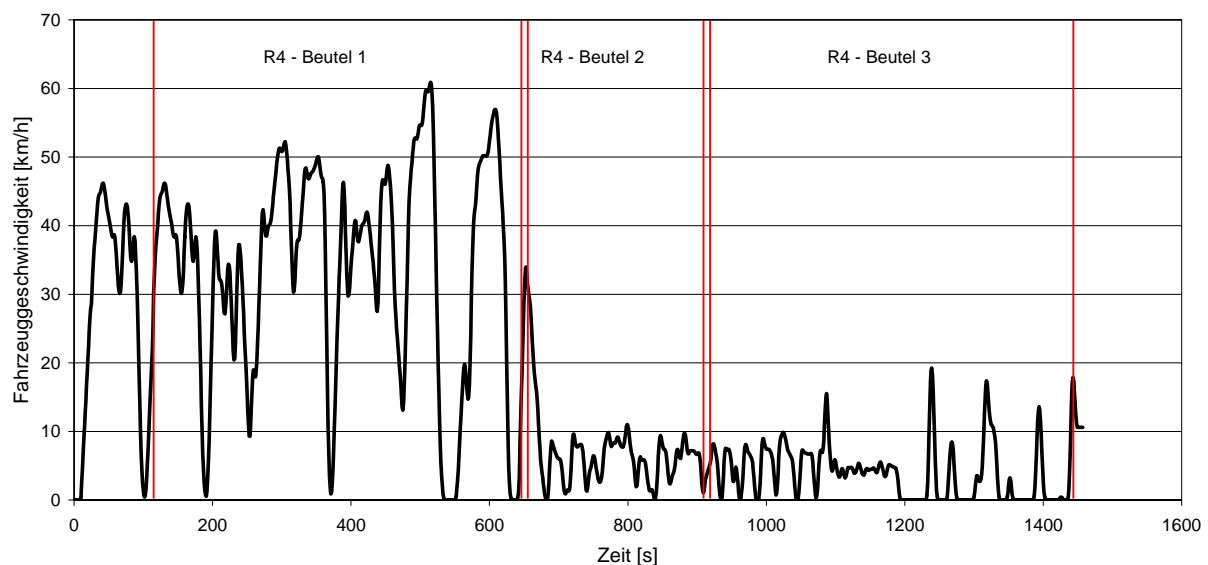
**HBEFA R4**

Abbildung 63: Geschwindigkeitsverlauf HBEFA R4

Zyklusname	$a_{max}$	$a_{min}$	$a_{pos50}$	$a_{neg50}$	$v_{max}$	$v_{50 \text{ o } St}$	St	Cruise	Weg	Zeit
	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	[km/h]	[km/h]	[%]	[%]	[km]	[s]
HBEFA R4	1.39	-1.92	0.21	-0.19	60.91	9.54	10.98	37.63	6.97	1457

Tabelle 40: Zyklusdaten HBEFA R4

## 10.2 Auswertung der Messfahrten im Grazer Stadtgebiet

### 10.2.1 Auswertung der Testfahrten mit dem konventionellen Fahrzeug

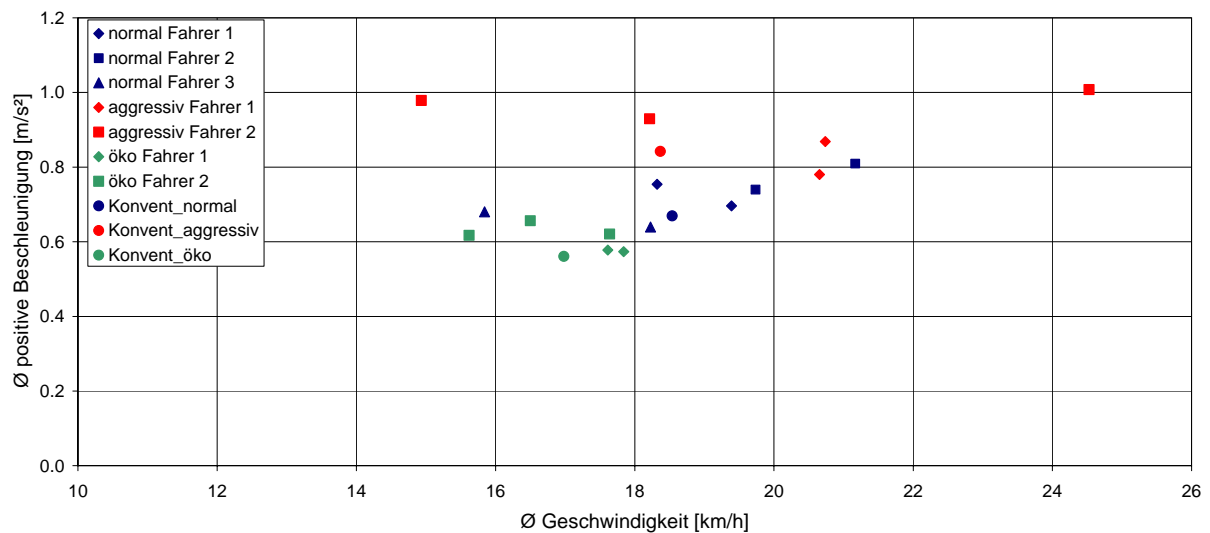


Abbildung 64: durchschnittlich positive Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit

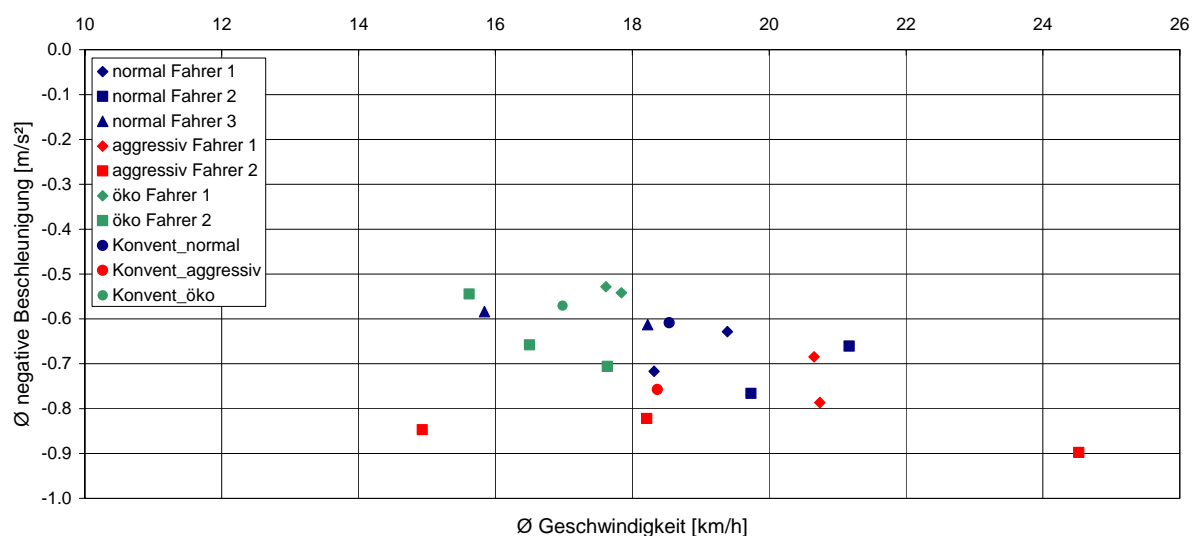
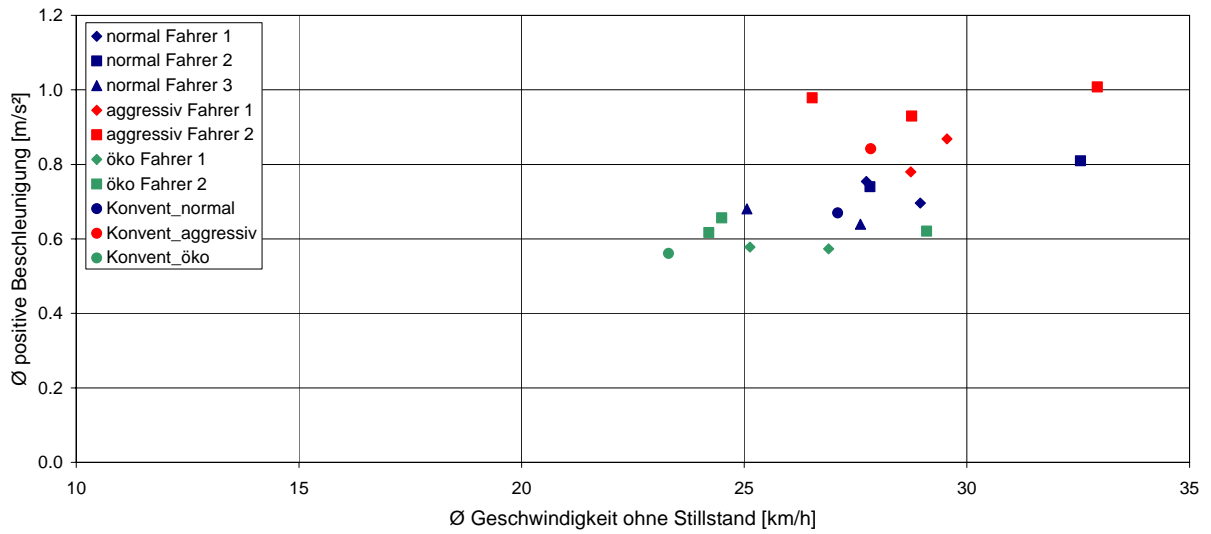
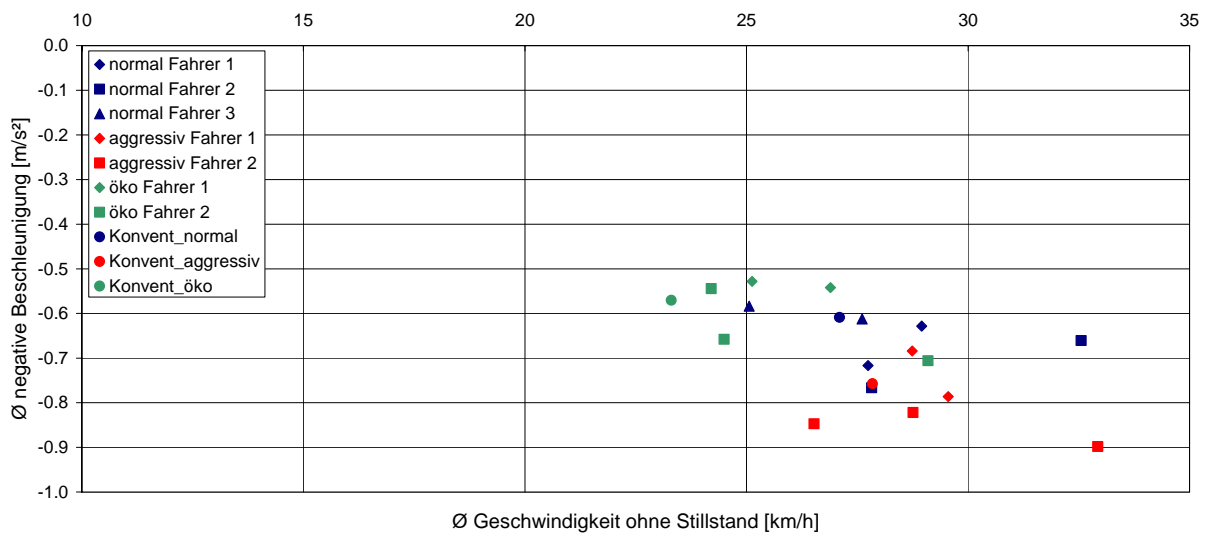


Abbildung 65: durchschnittlich negative Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit





**Abbildung 66:** durchschnittlich positive Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit ohne Stillstand



**Abbildung 67:** durchschnittlich negative Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit ohne Stillstand

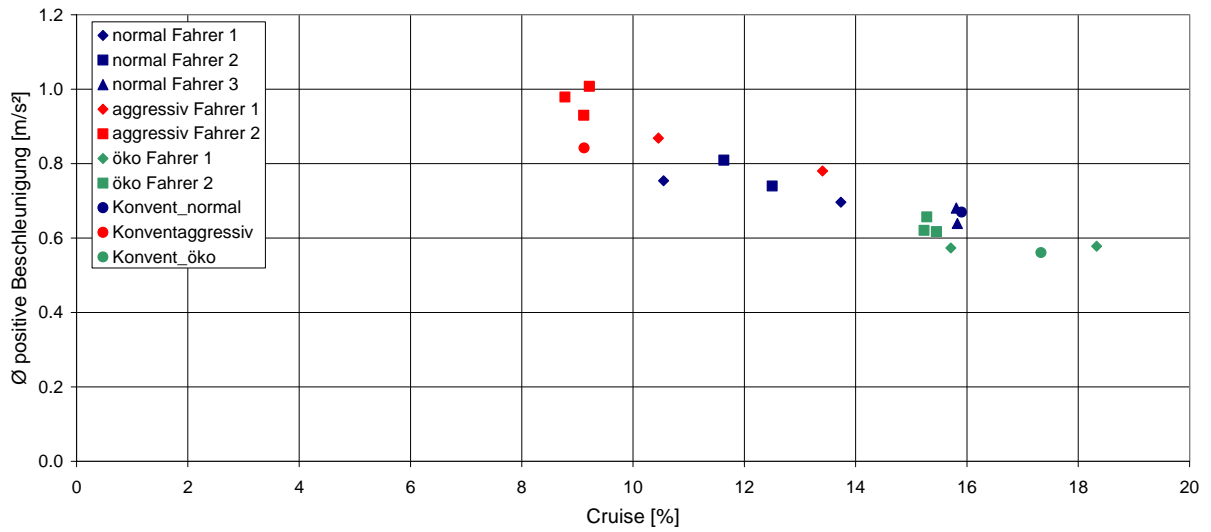


Abbildung 68: durchschnittliche positive Beschleunigung über dem Cruiseanteil

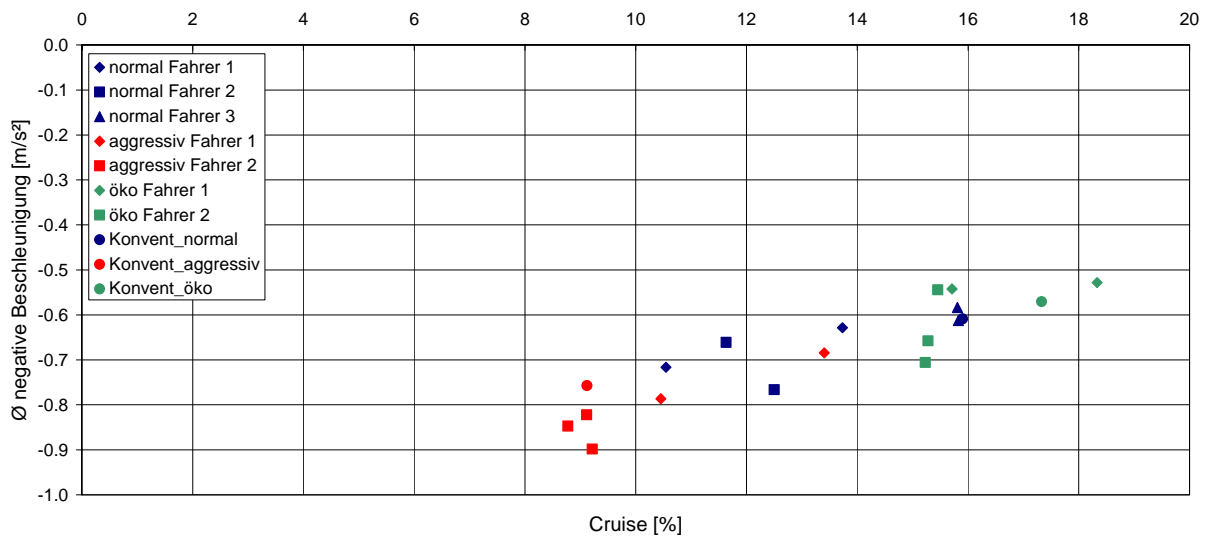


Abbildung 69: durchschnittliche negative Beschleunigung über dem Cruiseanteil

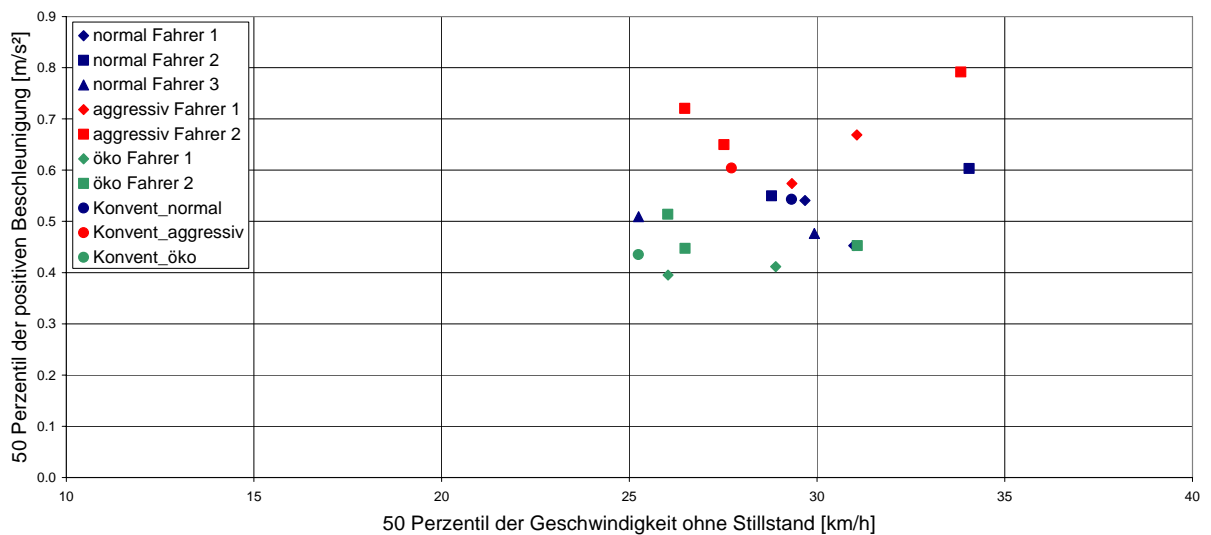


Abbildung 70: Perzentil pos. Beschleunigung über dem Geschwindigkeitsperzentil ohne Stillstand

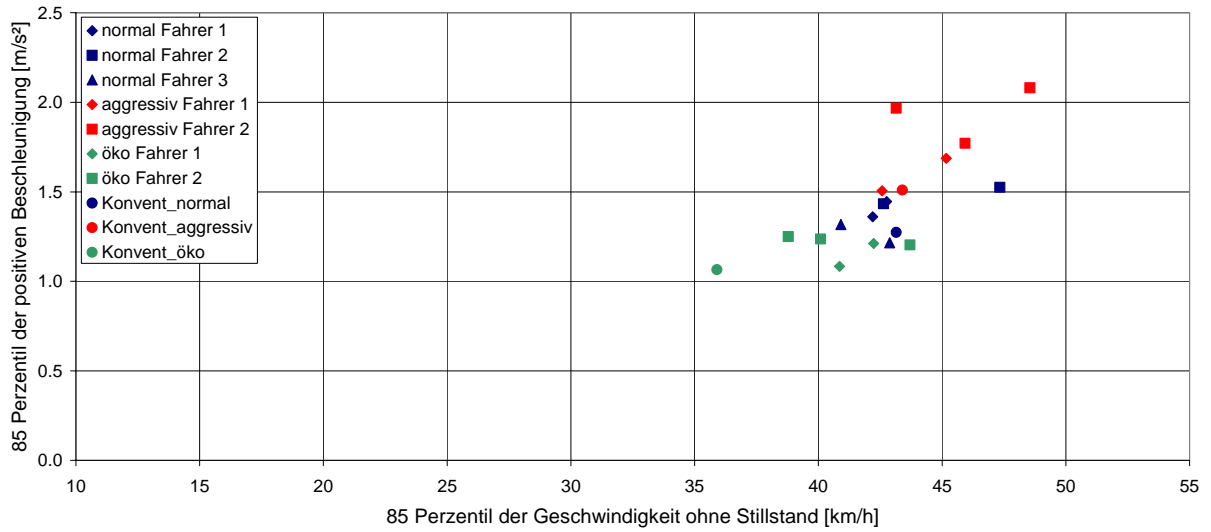


Abbildung 71: Perzentil pos. Beschleunigung über Geschwindigkeitsperzentil ohne Stillstand

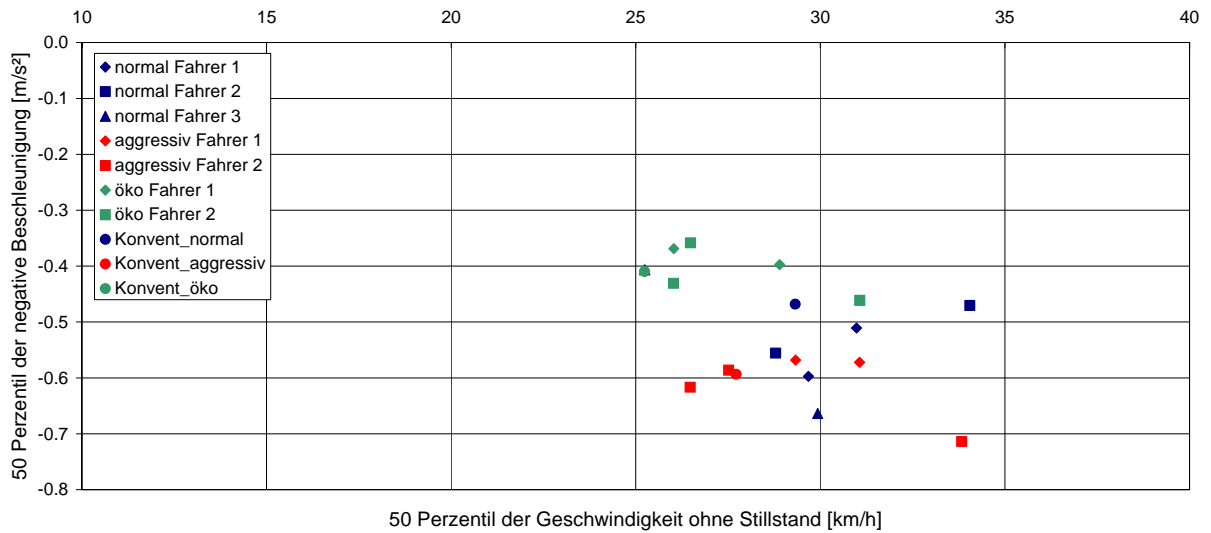


Abbildung 72: Perzentil neg. Beschleunigung über Geschwindigkeitsperzentil ohne Stillstand

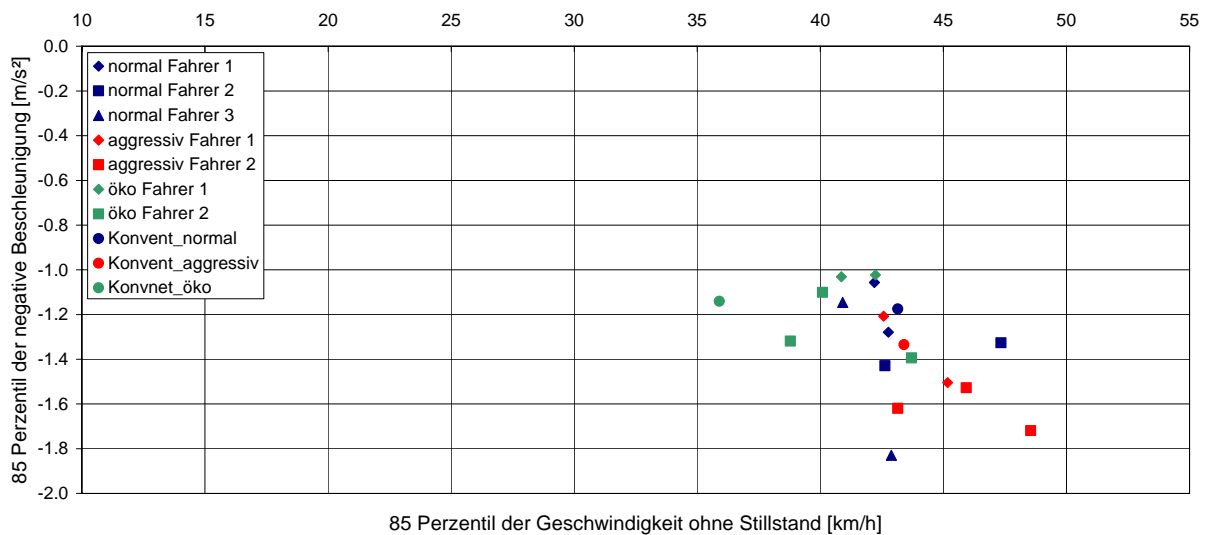


Abbildung 73: Perzentil neg. Beschleunigung über Geschwindigkeitsperzentil ohne Stillstand

Fahrer	1			2		
Fahrweise	Normal	Aggressiv	Öko	Normal	Aggressiv	Öko
Runde 1	1.17	1.5	2.17	1.5	2.17	1.83
Runde 2	1.83	1.5	1.67	2.0	1.83	2.0
Runde 3					2.33	2.33

Abbildung 74: Verkehrsbewertung Messfahrten konventionelles Fahrzeug

### 10.2.2 Auswertung der Testfahrten mit dem Hybridfahrzeug

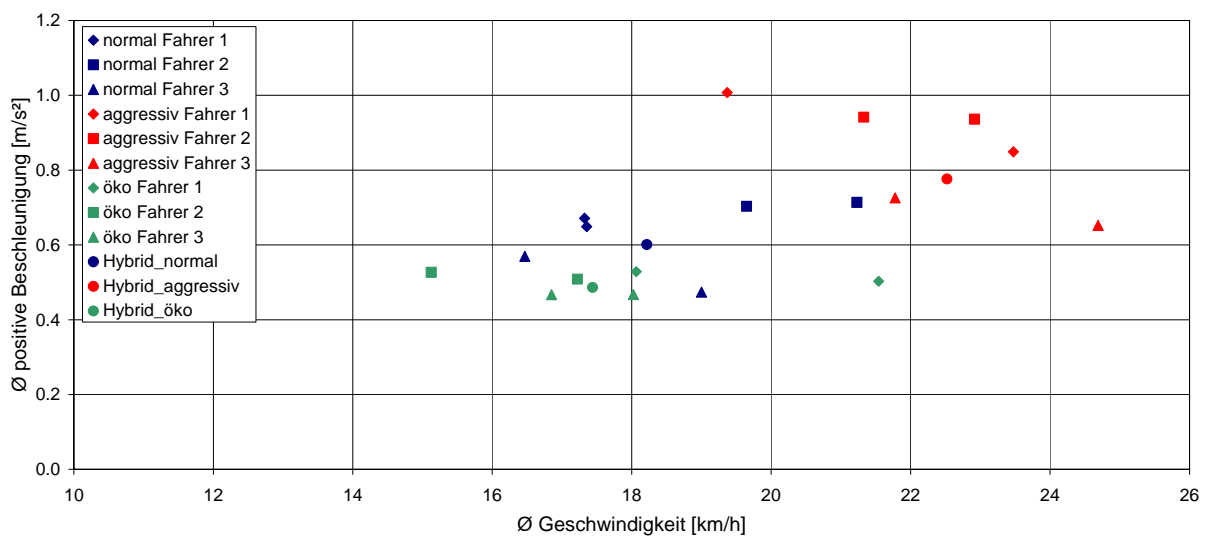


Abbildung 75: durchschnittliche positive Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit

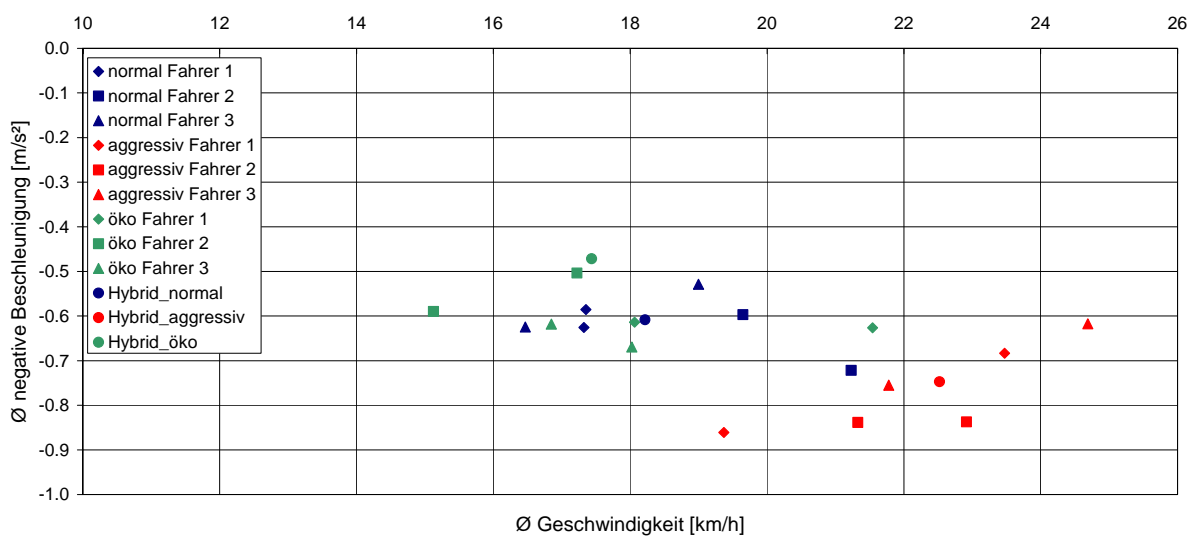
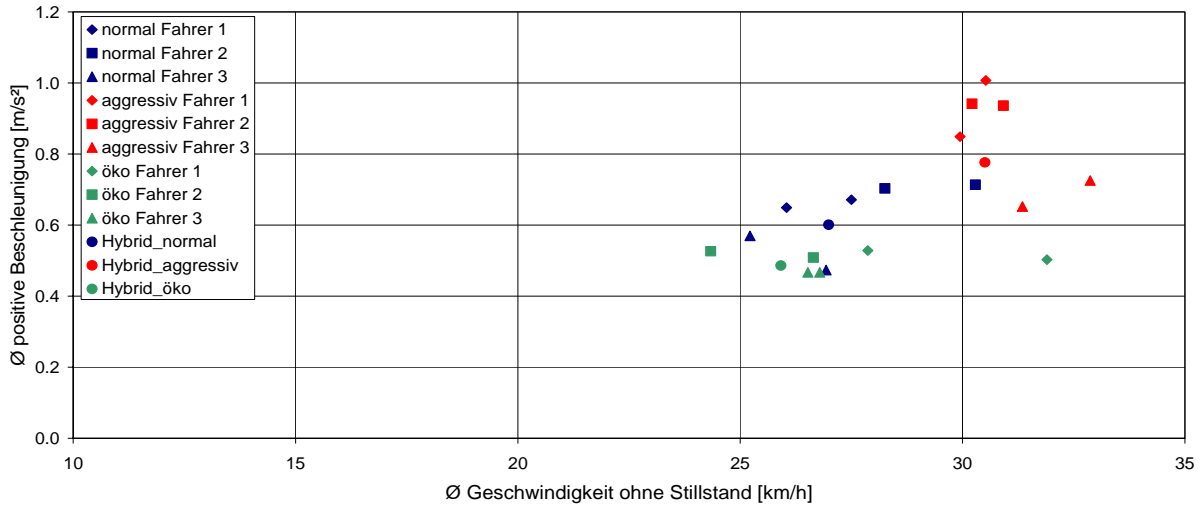
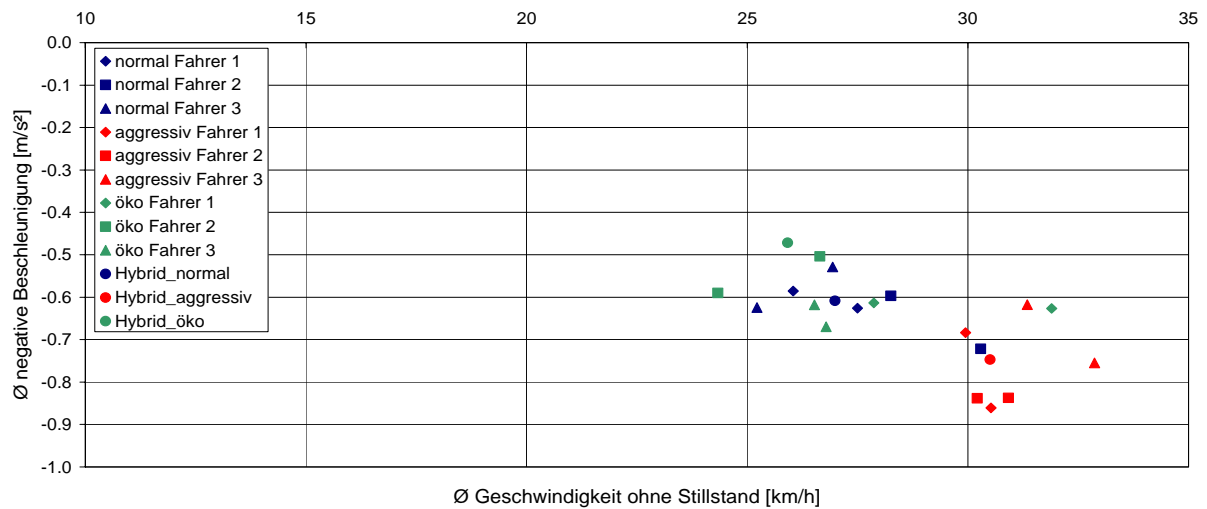


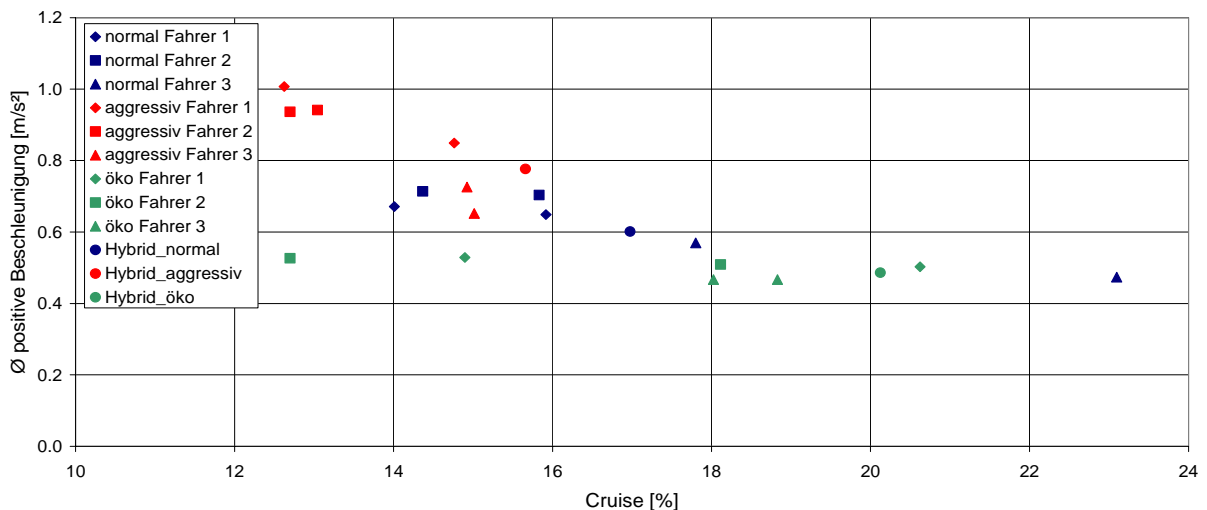
Abbildung 76: durchschnittliche negative Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit



**Abbildung 77:** durchschnittliche positive Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit ohne Stillstand



**Abbildung 78:** durchschnittliche negative Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit ohne Stillstand



**Abbildung 79:** durchschnittliche positive Beschleunigung über dem Cruiseanteil

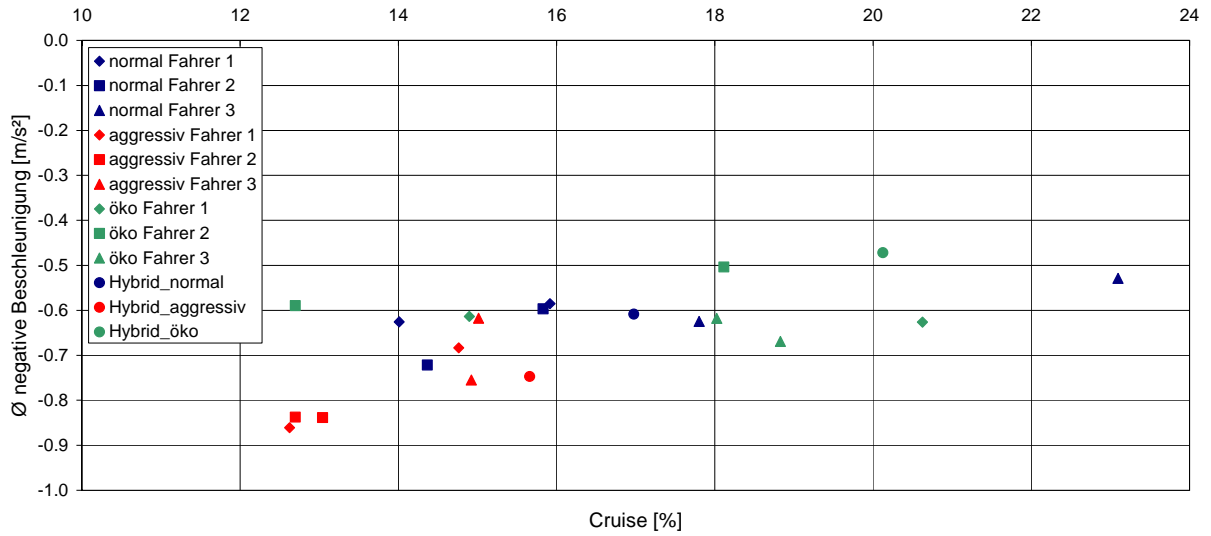


Abbildung 80: durchschnittliche negative Beschleunigung über dem Cruiseanteil

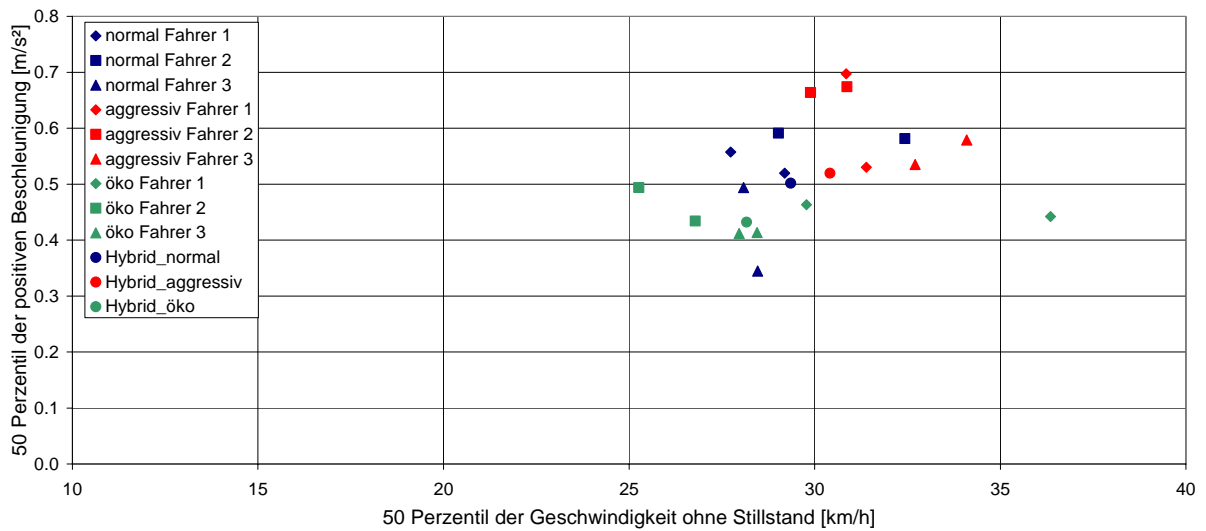


Abbildung 81: Perzentil pos. Beschleunigung über dem Geschwindigkeitsperzentil ohne Stillstand

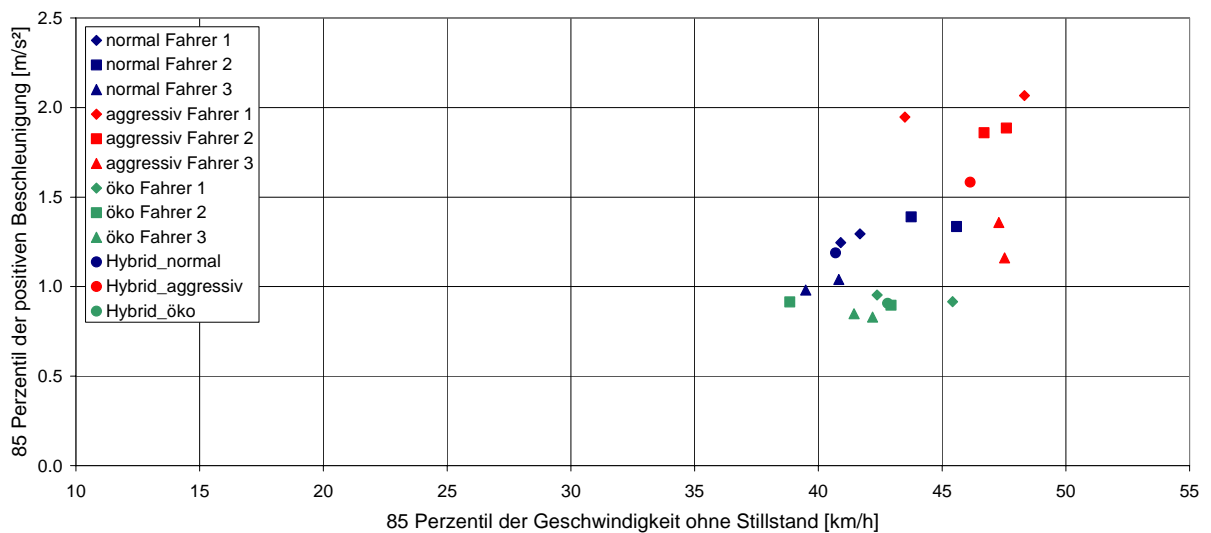


Abbildung 82: Perzentil pos. Beschleunigung über dem Geschwindigkeitsperzentil ohne Stillstand

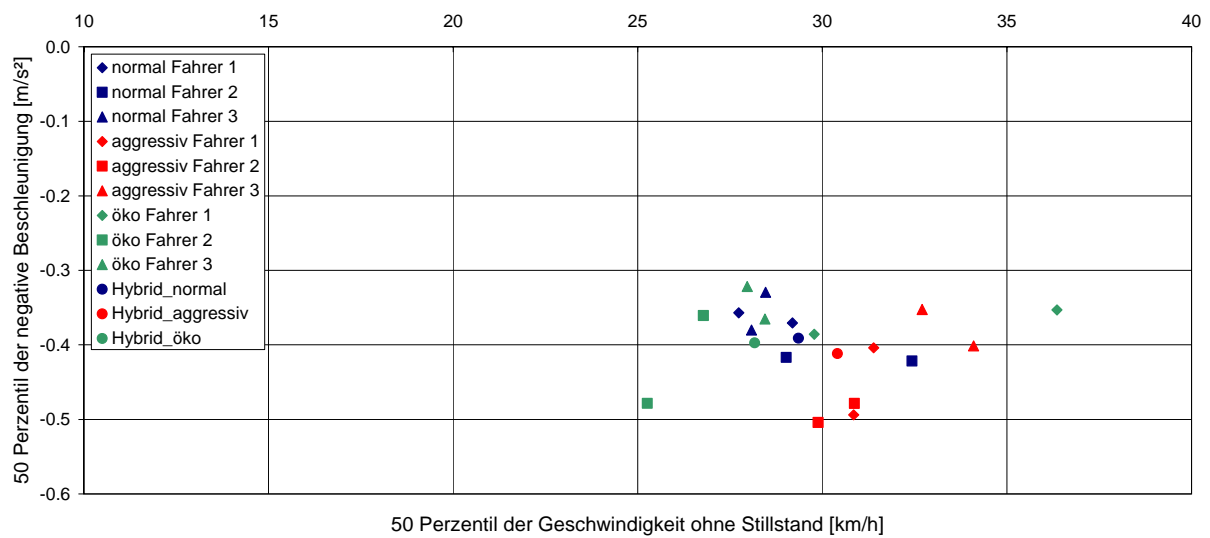


Abbildung 83: Perzentil neg. Beschleunigung über dem Geschwindigkeitsperzentil ohne Stillstand

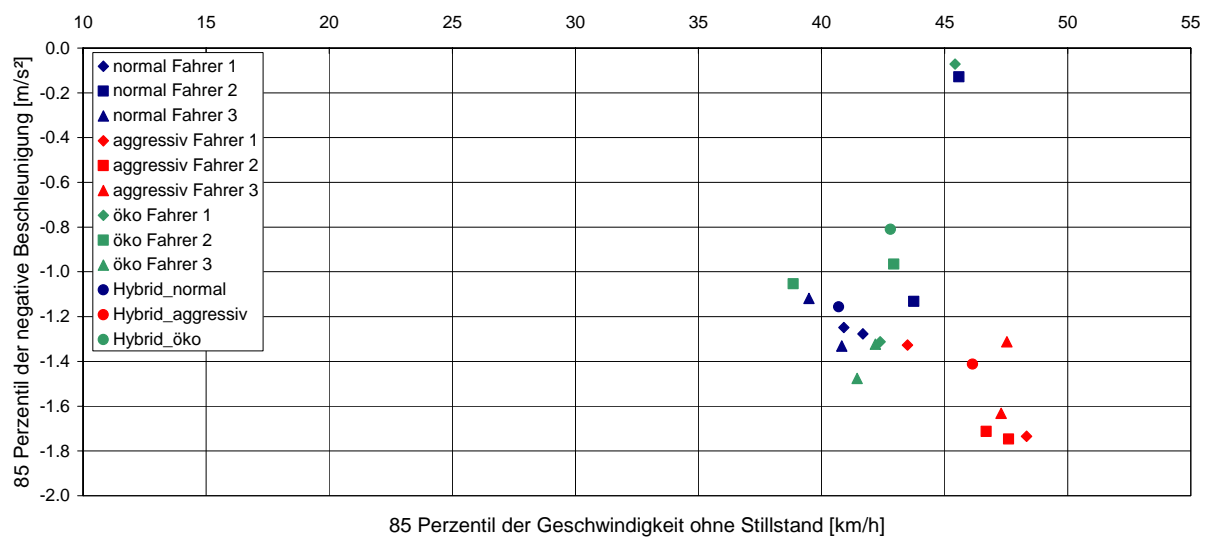


Abbildung 84: Perzentil neg. Beschleunigung über dem Geschwindigkeitsperzentil ohne Stillstand

Fahrer	1			2			3		
Fahrweise	Normal	Aggressiv	Öko	Normal	Aggressiv	Öko	Normal	Aggressiv	Öko
Runde 1	1.92	1.83	1.42	1.83	1.83	1.33	1.67	2.0	1.83
Runde 2	1.67	1.5	1.33	1.33	2.0	1.83	1.75	1.0	1.83

Tabelle 41: Verkehrsbewertung Messfahrten Hybridfahrzeug

### 10.2.3 Auswertung der Testfahrten mit dem Elektrofahrzeug

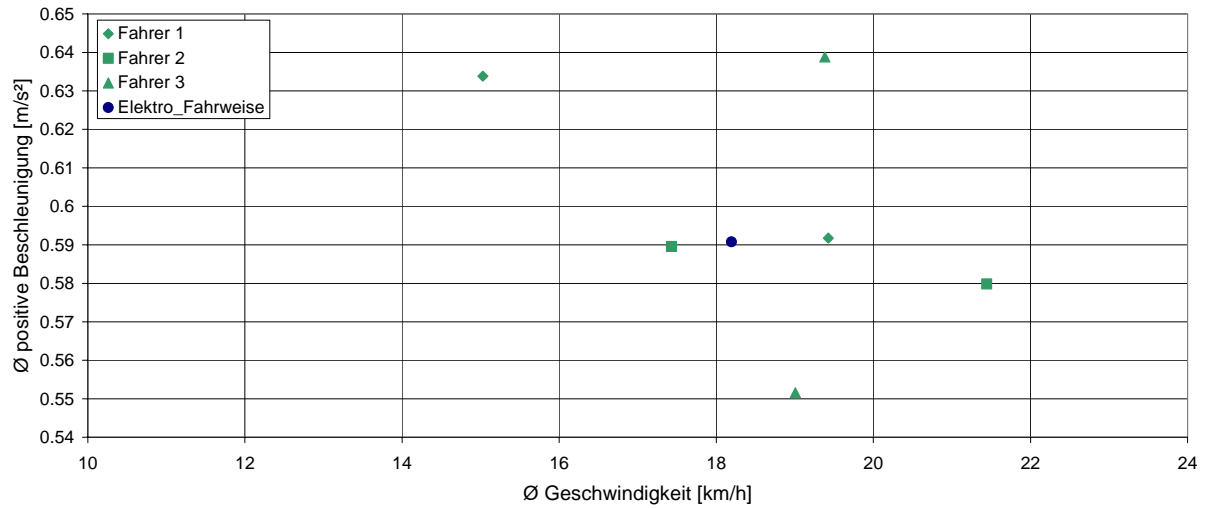


Abbildung 85: durchschnittliche positive Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit

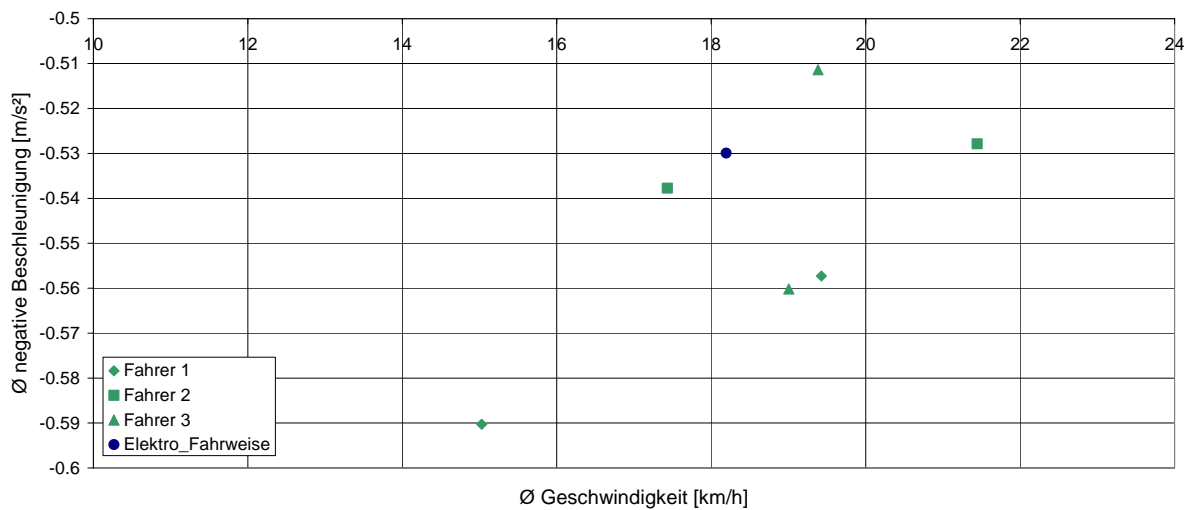
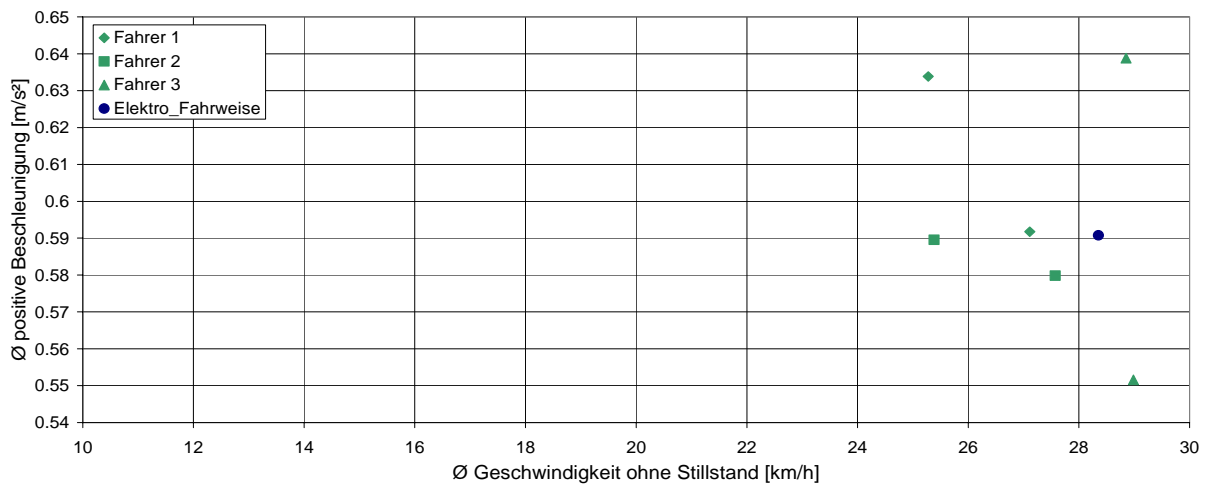
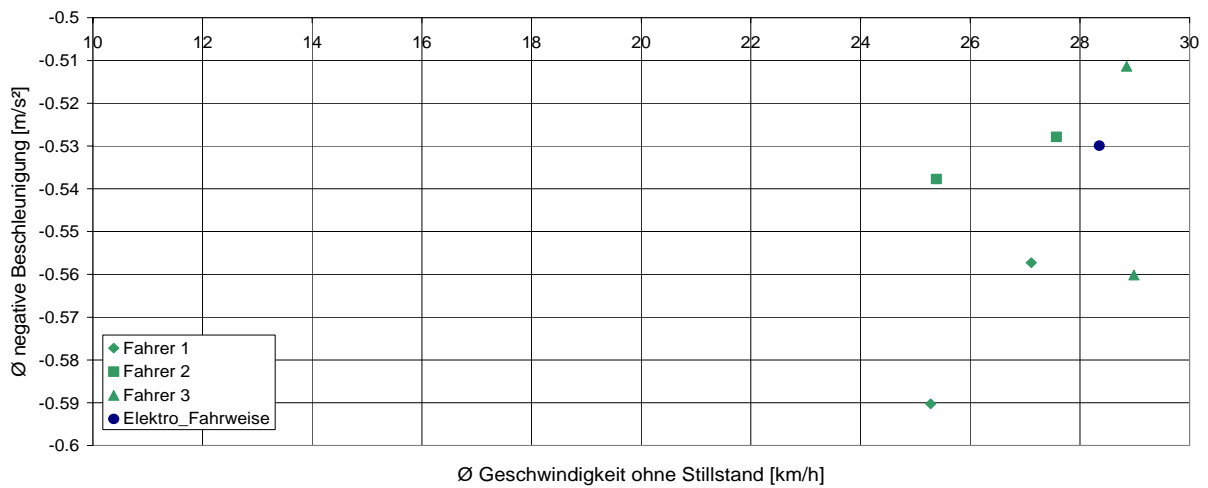


Abbildung 86: durchschnittliche negative Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit

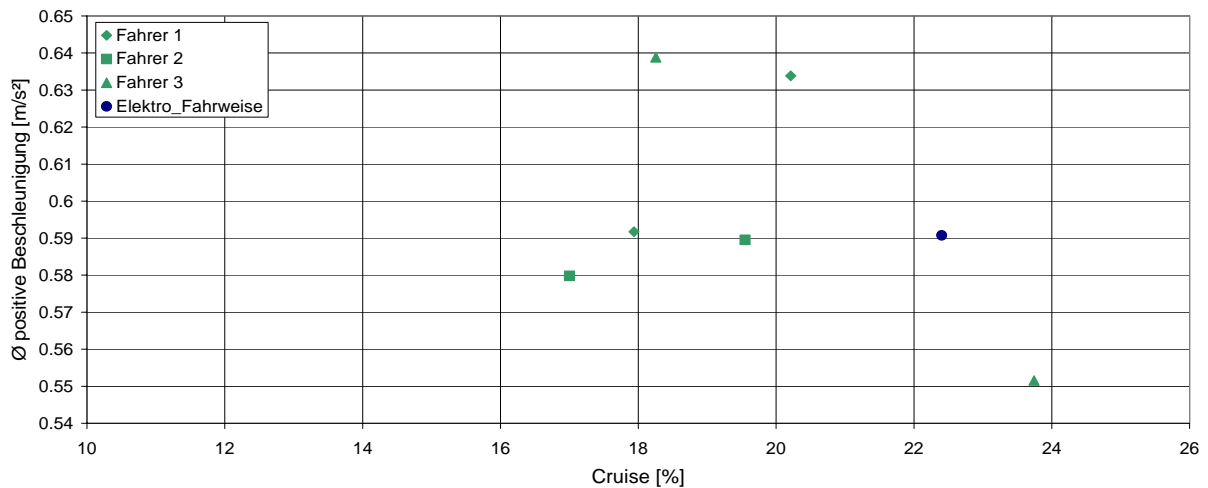




**Abbildung 87:** durchschnittliche positive Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit ohne Stillstand



**Abbildung 88:** durchschnittliche negative Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit ohne Stillstand



**Abbildung 89:** durchschnittliche positive Beschleunigung über Cruiseanteil

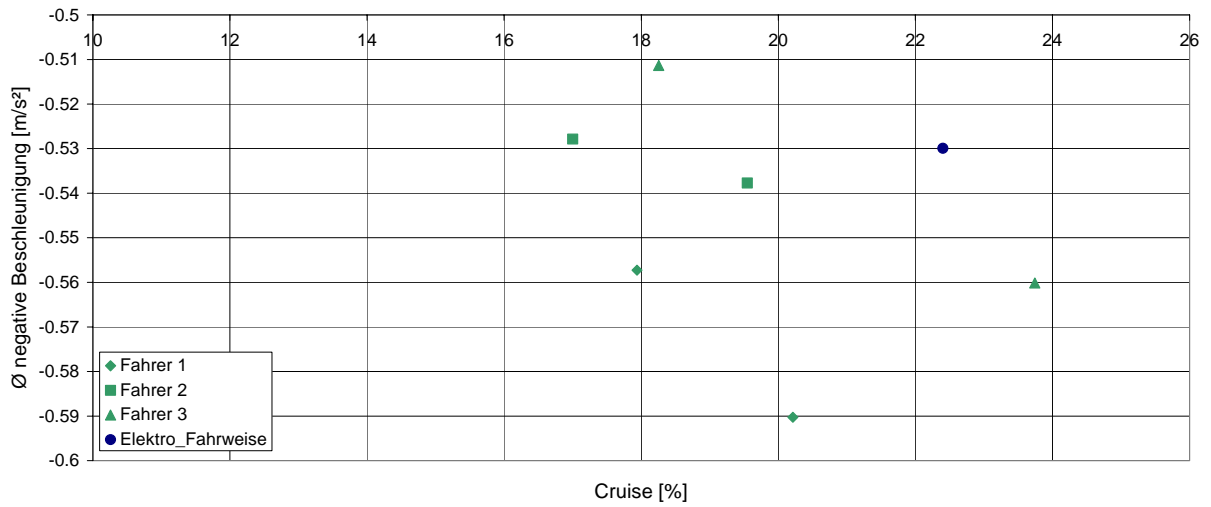


Abbildung 90: durchschnittliche negative Beschleunigung über Cruiseanteil

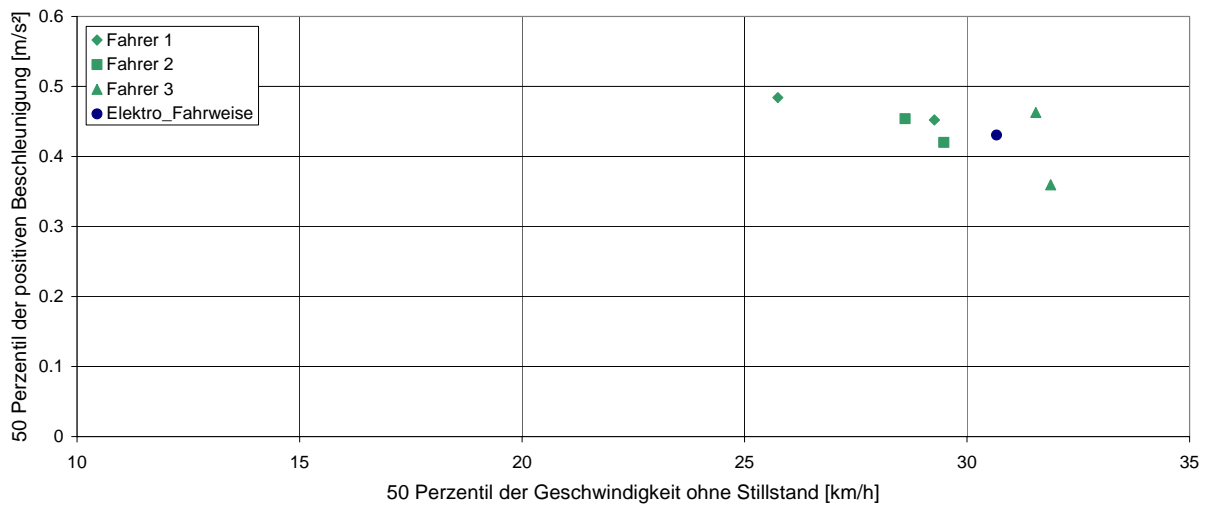


Abbildung 91: Perzentil pos. Beschleunigung über dem Geschwindigkeitsperzentil ohne Stillstand

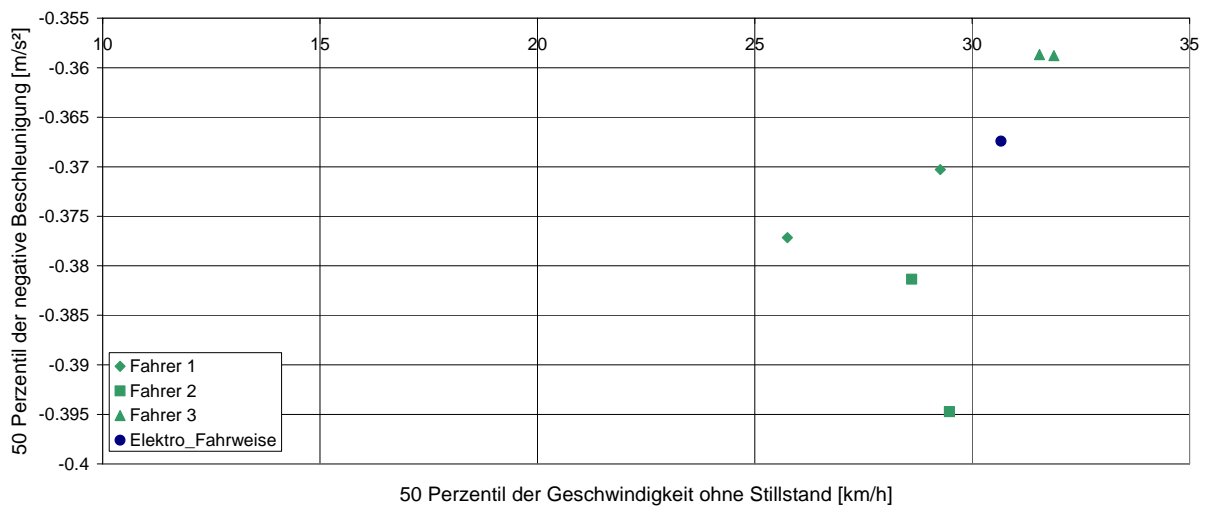


Abbildung 92: Perzentil neg. Beschleunigung über dem Geschwindigkeitsperzentil ohne Stillstand

Fahrer	1			2			3		
	Normal	Aggressiv	Öko	Normal	Aggressiv	Öko	Normal	Aggressiv	Öko
Runde 1	1.67			1.33			1.67		
Runde 2	2.0			1.5			1.33		

Tabelle 42: Verkehrsbewertung Messfahrten Elektrofahrzeug

### 10.3 Vergleich bestehender Zyklen mit den ermittelten Grazer – Stadtzyklen

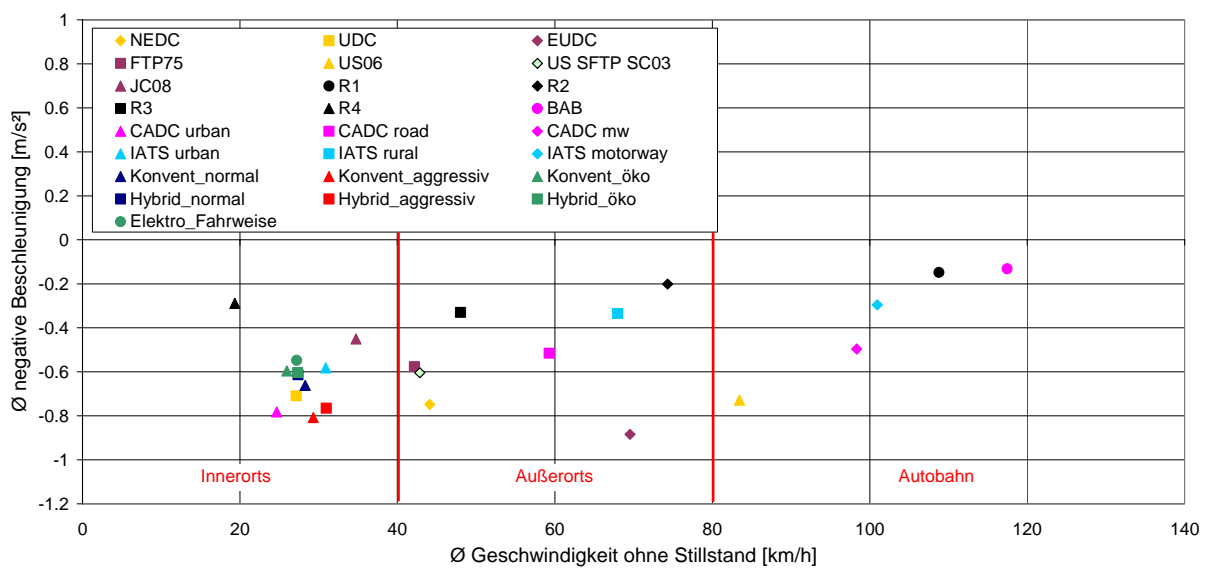


Abbildung 93: durchschnittliche negative Beschleunigung über der durchschnittlichen Geschwindigkeit ohne Stillstand

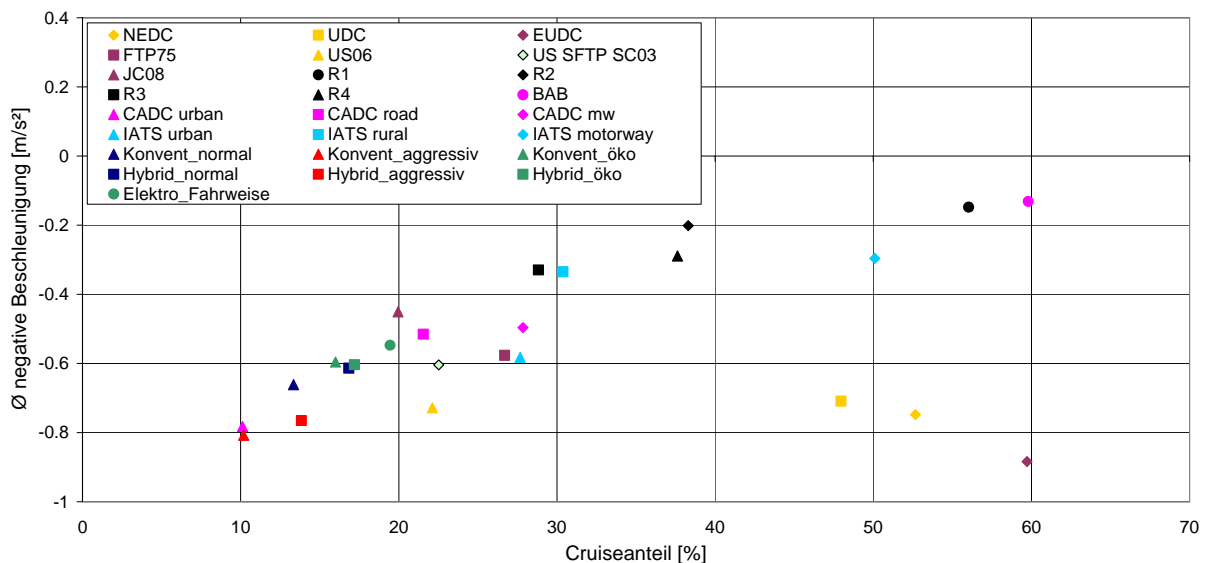


Abbildung 94: durchschnittliche negative Beschleunigung über dem Cruiseanteil

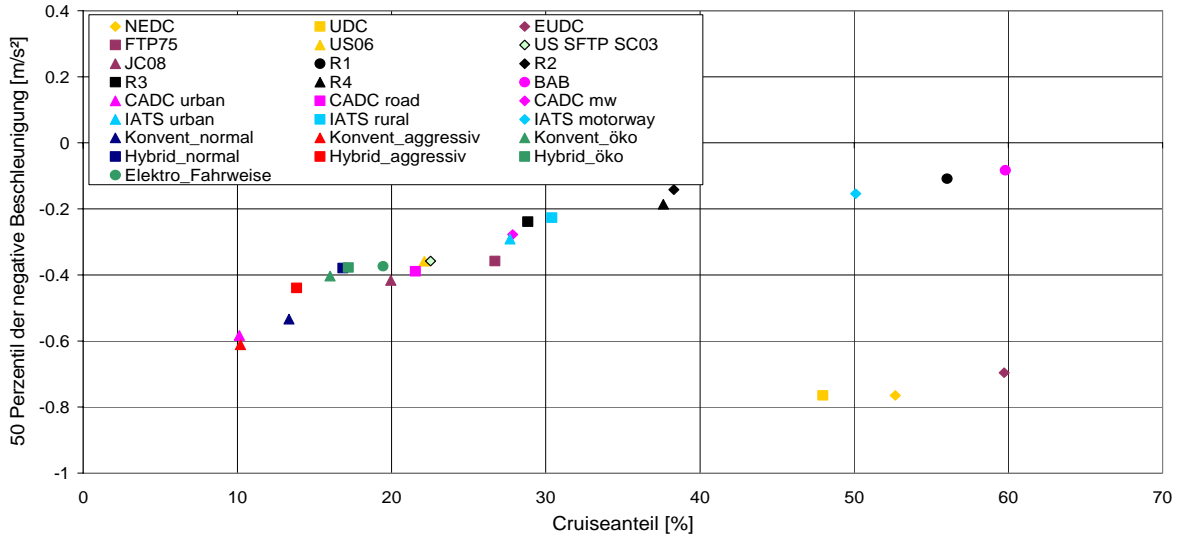


Abbildung 95: 50 Perzentil der negativen Beschleunigung über Cruiseanteil

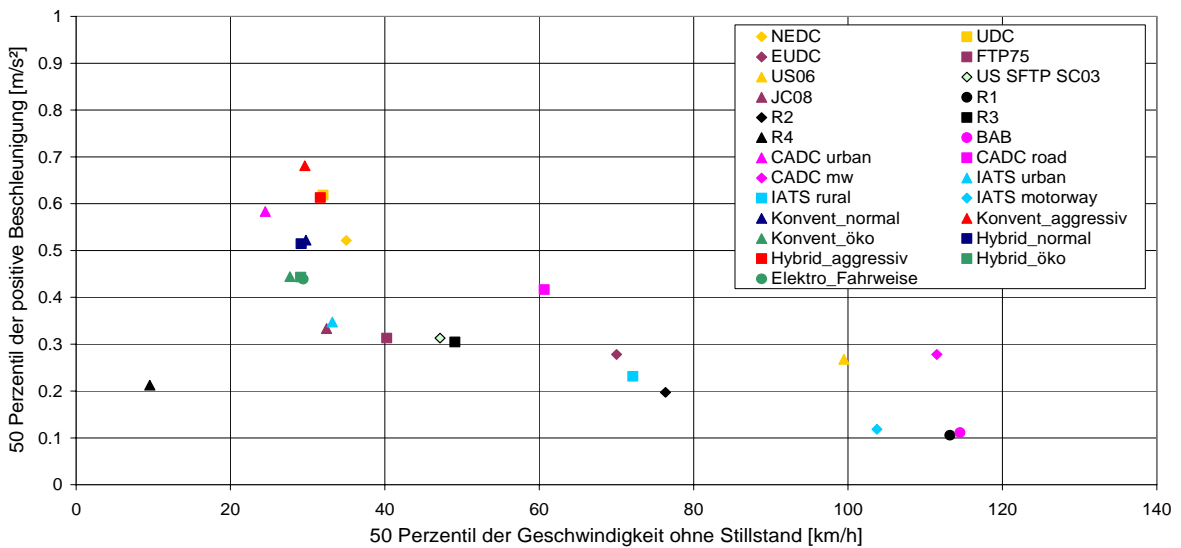


Abbildung 96: 50 Perzentil pos. Beschleunigung über dem 50 Perzentil der Geschwindigkeit ohne Stillstand

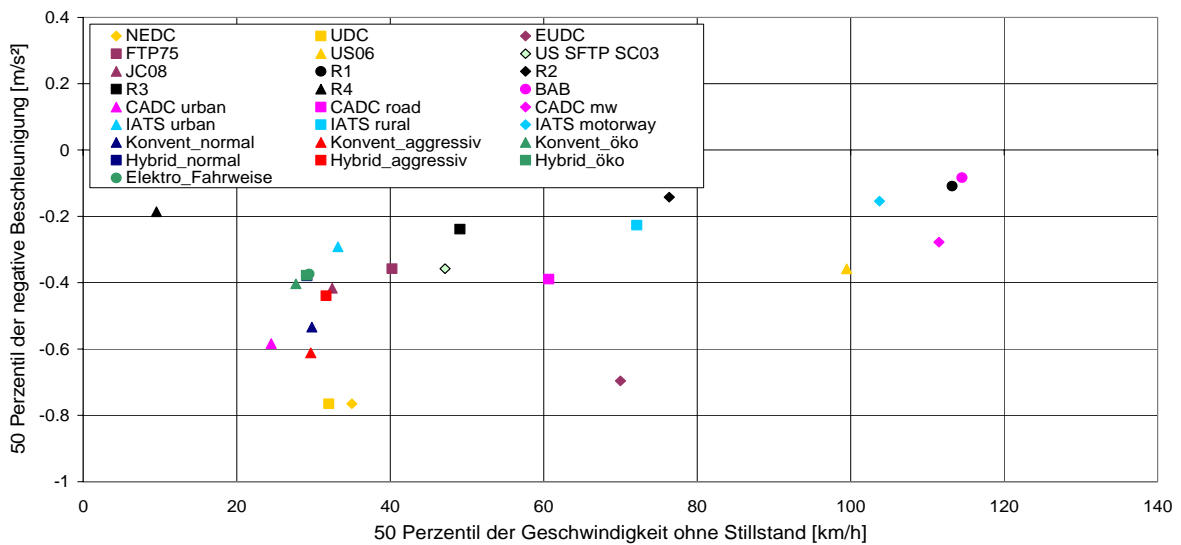
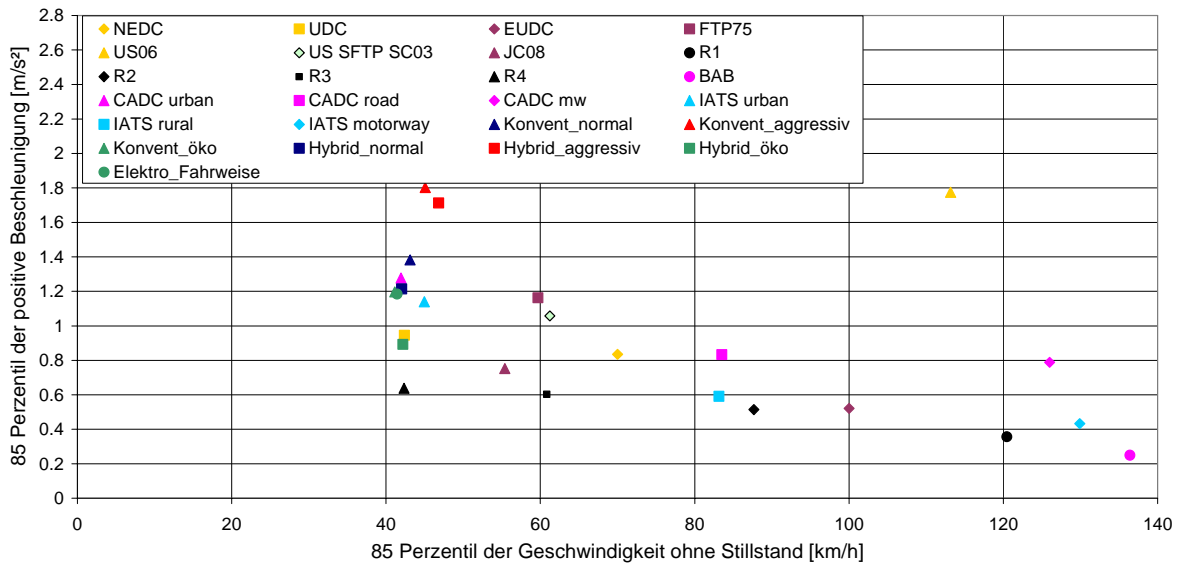
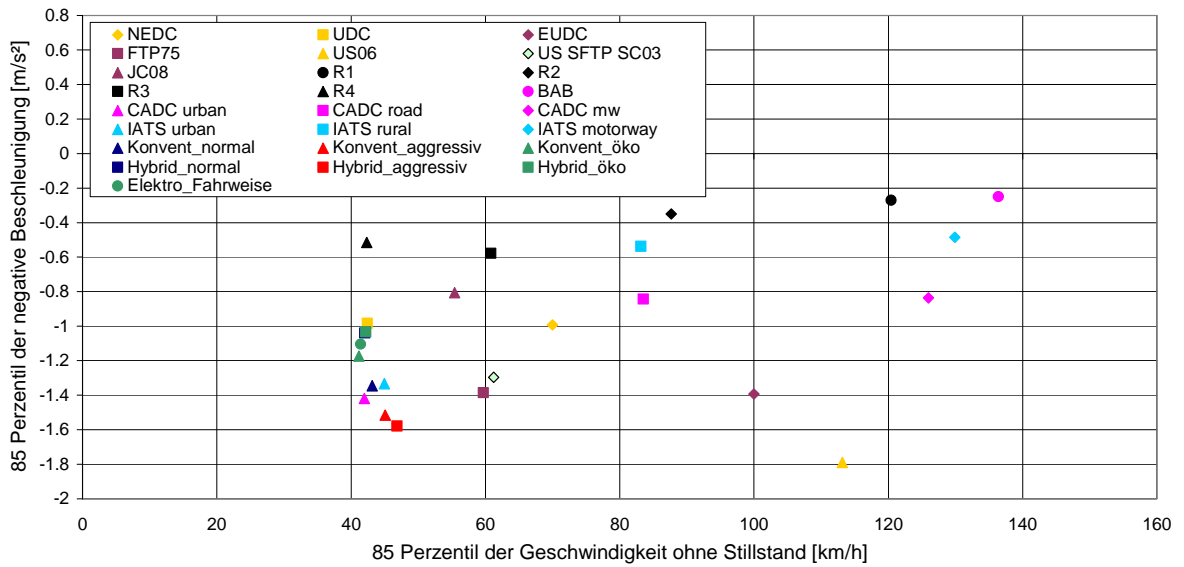


Abbildung 97: 50 Perzentil neg. Beschleunigung über dem 50 Perzentil Geschwindigkeit ohne Stillstand



**Abbildung 98:** 85. Perzentil pos. Beschleunigung über dem 85. Perzentil Geschwindigkeit ohne Stillstand



**Abbildung 99:** 85. Perzentil neg. Beschleunigung über dem 85. Perzentil der Geschwindigkeit ohne Stillstand