

TEXTE

27/2019

Ermittlung der Schadstoff- und Klimagasemissionen von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen durch WLTP und RDE unter Berücksichtigung zukünftiger Kraftstoffe und Antriebskonzepte

Abschlussbericht

TEXTE 27/2019

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3713 45 102
UBA-FB 002507

Ermittlung der Schadstoff- und Klimagasemissionen von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen durch WLTP und RDE unter Berücksichtigung zukünftiger Kraftstoffe und Antriebskonzepte

Abschlussbericht

von

Jens Badur
TÜV NORD Mobilität GmbH und Co. KG, Essen

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

TÜV NORD Mobilität GmbH und Co. KG
Institut für Fahrzeugtechnik und Mobilität
Adlerstr. 7
45307 Essen

Abschlussdatum:

Oktober 2016

Redaktion:

Fachgebiet I 2.2 Schadstoffminderung und Energieeinsparung im Verkehr
Martin Lange

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, März 2019

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung

Das immer höher werdende Verkehrsaufkommen ruft Forderungen auf den Plan, den Verkehr umweltgerecht, sozialverträglich und wirtschaftlich effizient zu gestalten. Dazu wurden gesetzliche Regelungen erarbeitet und Grenzwerte für Schadstoffemissionen festgelegt. Diese Maßnahmen sollen nachhaltig zur Reinhaltung der Luft beitragen. Aus diesem Grund werden die Richtlinien stetig verschärft. Damit verbunden ist zukünftig das Thema WLTP (Worldwide harmonized Light-duty vehicles Test Procedure), als neue Prüfprozedur und RDE (Real Driving Emission), als zusätzliche Hürde der Abgasgesetzgebung.

Gegenstand der Betrachtung in diesem Forschungsprojekt sind die Schadstoffemissionen, CO₂-Ausstoß, Kraftstoffverbrauch sowie die elektrische Reichweite.

Da der Markt der Hybrid-Fahrzeuge rasant wächst und zurzeit noch wenige bis keine Erfahrungen zu Messungen an Elektro-Hybrid Fahrzeugen, im speziellen Plug-In Hybriden (extern aufladbar), vorliegen wird ein eben solches Fahrzeug ausgewählt. Die verschiedenen Tests werden mit einem Toyota Prius Plug-In Hybrid durchgeführt.

In diesem Forschungsprojekt werden die Messverfahren bzw. Richtlinien WLTP, UNECE-R101 und RDE vorgestellt. Darüber hinaus wird eine Beispielberechnung gemäß WLTP und UNECE-R101 aufgezeigt. Abschließend werden die Ergebnisse vorgestellt und diskutiert.

Abstract

The increasing traffic volume demands to make the traffic environmental friendly, socially acceptable and commercial efficient. Therefore there are developed regulations and limits for exhaust emissions. These arrangements should keep the air sustainable clean. This is the reason to tighten measures. Connected to this is to install WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure), as new procedure and RDE (Real Driving Emission), as additional test for the exhaust gas regulation.

In this research project the closer view is on exhaust gas emissions, CO₂, fuel consumption and electric range.

Because of an increasing market of hybrid-vehicles and no experiences with testing of hybrid-vehicle exhaust gas emission regarding to WLTP and RDE, an electric hybrid vehicle was chosen. The several tests were conducted with a Toyota Prius Plug-In Hybrid.

In this research project the procedures WLTP, UNECE-R101 and RDE are introduced. In addition a result calculation for WLTP and UNECE-R101 is shown. Concluding the results were demonstrated and discussed.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis.....	8
Abkürzungsverzeichnis.....	9
Kurzbericht	11
Summary Report.....	19
1 Einleitung.....	26
2 Abgasemissionen von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen	28
2.1 Entwicklung und Zukunft der Abgasgesetzgebung	28
2.2 CO ₂ -Emissionen und Kraftstoffverbrauch.....	30
2.3 Neuer Europäischer Fahrzyklus (NEFZ).....	31
2.4 Worldwide harmonized Light-duty vehicles Test Cycle (WLTC)	32
3 Projektablauf.....	35
3.1 Untersuchungsprogramm und Durchführung	35
3.1.1 Grundvermessung der Batterie	36
3.1.2 Vermessung nach UNECE-R101.....	36
3.1.3 Vermessung nach WLTP (ECE/TRANS/180/Add.15)	37
3.1.4 Real Driving Emissions (RDE)	39
3.2 Auswertung.....	42
3.2.1 Auswertung - UNECE-R101.....	42
3.2.2 Auswertung - WLTP	43
4 Darstellung und Diskussion der Ergebnisse	46
4.1 Grundvermessung der Batterie	46
4.2 Vermessung nach UNECE-R101.....	47
4.3 Vermessung nach WLTP (GTR Entwurf).....	50
4.4 Real Driving Emissions (RDE)	53
4.5 Vergleich der Messungen nach UNECE-R101 und WLTP.....	59
4.6 Vergleich der Messungen nach WLTP bei verschiedenen Temperaturen	64
4.7 Vergleich der Auswirkungen verschiedener „Utility Faktoren“ (UF) im WLTP	67
4.8 Vergleich der Auswirkungen auf den Energieverbrauch verschiedener Messprozeduren bzw. Parameter	68
5 Zusammenfassung.....	73
6 Quellenverzeichnis.....	74

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Personenverkehr.....	26
Abbildung 2:	Fahrzwecke.....	26
Abbildung 3:	Spezifische Emissionen Pkw /8/	30
Abbildung 4:	Fahrkurve des NEFZ /3/	31
Abbildung 5:	Teilzyklus Low ₃ – WLTC /4/	32
Abbildung 6:	Teilzyklus Medium ₃₋₂ – WLTC /4/	33
Abbildung 7:	Teilzyklus High ₃₋₂ – WLTC /4/	33
Abbildung 8:	Teilzyklus Extra High ₃ – WLTC /4/	34
Abbildung 9:	UNECE-R101 Ablauf.....	37
Abbildung 10:	WLTP Ablauf.....	38
Abbildung 11:	WLTP AERCity Ablauf.....	38
Abbildung 12:	PEMS – Fahrtroute.....	39
Abbildung 13:	PEMS – Fahrtroute: Geschwindigkeit und Drehzahl (Beispiel) ...	40
Abbildung 14:	PEMS – Fahrtroute Höhenprofil	40
Abbildung 15:	PEMS Aufbau Außen	40
Abbildung 16:	PEMS Aufbau Innen	41
Abbildung 17:	Batterie und Brenngas.....	42
Abbildung 18:	UF-Kurve.....	43
Abbildung 19:	Ladeenergie.....	46
Abbildung 20:	Vereinfachte Darstellung der Antriebsart im NEFZ – Zustand A..	49
Abbildung 21:	Vereinfachte Darstellung der Antriebsart im NEFZ – Zustand B..	49
Abbildung 22:	Vereinfachte Darstellung der Antriebsart im WLTC – CD-Test	52
Abbildung 23:	Vereinfachte Darstellung der Antriebsart im WLTC - CS-Test	52
Abbildung 24:	Beispielverlauf PEMS mit vollständig geladener Batterie (1)	53
Abbildung 25:	Beispielverlauf PEMS mit vollständig geladener Batterie (2)	54
Abbildung 26:	Beispielverlauf PEMS mit entladener Batterie (1)	54
Abbildung 27:	Beispielverlauf PEMS mit entladener Batterie (2)	55
Abbildung 28:	CO-PEMS	56
Abbildung 29:	CO ₂ -PEMS.....	56
Abbildung 30:	Kraftstoffverbrauch-PEMS.....	57
Abbildung 31:	Elektrische Leistungsentnahme-PEMS	57
Abbildung 32:	Vereinfachte Darstellung der Antriebsart im RDE-Test – geladen	58

Abbildung 33:	Vereinfachte Darstellung der Antriebsart im RDE-Test – ungeladen	58
Abbildung 34:	Vgl. UNECE-R101 und WLTP – HC	60
Abbildung 35:	Vgl. UNECE-R101 und WLTP – CH ₄	60
Abbildung 36:	Vgl. UNECE-R101 und WLTP – NMHC	60
Abbildung 37:	Vgl. UNECE-R101 und WLTP - NO _x	61
Abbildung 38:	Vgl. UNECE-R101 und WLTP – NO.....	61
Abbildung 39:	Vgl. UNECE-R101 und WLTP – CO	61
Abbildung 40:	Vgl. UNECE-R101 und WLTP – Gewichtete CO ₂ -Emissionen	62
Abbildung 41:	Vgl. UNECE-R101 und WLTP – Gewichteter Kraftstoffverbrauch	62
Abbildung 42:	Vgl. UNECE-R101 und WLTP – Gewichteter Energieverbrauch (elektrisch)	62
Abbildung 43:	Vgl. UNECE-R101 und WLTP – Elektrische Reichweite (UNECE) und rein elektrische Reichweite (WLTP)	63
Abbildung 44:	Temperatureinfluss - FC weighted.....	65
Abbildung 45:	Temperatureinfluss - CO ₂ weighted.....	65
Abbildung 46:	Temperatureinfluss - ECEAER	65
Abbildung 47:	Temperatureinfluss - AER.....	66
Abbildung 48:	Temperatureinfluss - EAER	66
Abbildung 49:	Auswirkungen der UF's auf den Kraftstoffverbrauch	67
Abbildung 50:	Auswirkungen der UF's auf CO ₂	68
Abbildung 51:	Auswirkungen der UF's auf den Energieverbrauch (elektrisch)	68
Abbildung 52:	Auswirkungen verschiedener Messprozeduren bzw. Parameter - Kraftstoffverbrauch	69
Abbildung 53:	Auswirkungen verschiedener Messprozeduren bzw. Parameter – CO ₂	69
Abbildung 54:	Auswirkungen verschiedener Messprozeduren bzw. Parameter – Energieverbrauch (elektrisch)	70
Abbildung 55:	Elektrischer Energie- über Kraftstoffverbrauch	71

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Pkw Grenzwerte der Normen Euro 1 bis Euro 6.....	29
Tabelle 2:	Daten zum Testfahrzeug	35
Tabelle 3:	Ladeenergie.....	46
Tabelle 4:	Messergebnisse nach UNECE-R101 (Messung 1).....	47
Tabelle 5:	Messergebnisse nach UNECE-R101 (Messung 2).....	48
Tabelle 6:	Messergebnisse nach WLTP, UF-Kurve: „WLTP“ (Messung 1)	50
Tabelle 7:	Messergebnisse nach WLTP, UF-Kurve: „WLTP“ (Messung 2)	51
Tabelle 8:	PEMS-Ergebnisse – Abgasemissionen	55
Tabelle 9:	PEMS-Ergebnisse – Kraftstoff- und elektrischer Energieverbrauch.....	56
Tabelle 10:	Vergleich UNECE-R101 mit WLTP der Abgasemissionen	59
Tabelle 11:	Vergleich UNECE-R101 mit WLTP der gewichten Verbräuche und der Reichweite	59
Tabelle 12:	Emissionen ermittelt mit WLTP bei verschiedenen Temperaturen	64
Tabelle 13:	Reichweite und Kraftstoffverbrauch ermittelt mit WLTP bei verschiedenen Temperaturen	64
Tabelle 14:	Auswirkungen verschiedener UF's im WLTP	67
Tabelle 15:	Auswirkungen verschiedener Messprozeduren bzw. Parameter	69

Abkürzungsverzeichnis

AER	All Electric Range
CD	Charge Depleting
CH ₄	Methan
CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlendioxid
CS	Charge Sustaining
D _{av}	Durchschnittliche Reichweite zwischen 2 Aufladungen
D _e	Elektrische Reichweite
D _{ovc}	Reichweite - Gesamtstrecke der NEFZ's
EAC	Recharged Energy
EAER	Equivalent All Electric Range
EC	Electric Consumption
EUDC	Extra Urban Driving Cycle
Euro 4	Typprüfung gemäß Richtlinie 98/69/EG, verschärfte Anforderungen gegenüber EURO3 (u.a. niedrigere Grenzwerte im Fahrzyklus, -7°C Test für Pkw mit Fremdzündungsmotor)
Euro 5	Typprüfung gemäß Verordnung (EG) Nr. 715/2007 (Euro 5 und Euro 6), Amtsblatt der Europäischen Union
FC	Fuel Consumption
HC	Kohlenwasserstoffe
MAW	Moving Averaging Windows
NEC	Net Energy Change
NEDC	New European Driving Cycle
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus gemäß Richtlinie 98/69/EG
NMHC	Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe
NO	Stickstoffmonoxid
NO ₂	Stickstoffdioxid
NO _x	Stickoxide
PEMS	Portable Emission Measurement System
RCDA	Charge Depleting Actual Range
RCDC	Charge Depleting Cycle Range
RDE	Real Driving Emission
SPF	Standardized power frequency
THC	Gesamtkohlenwasserstoffe

UBA	Umweltbundesamt
UDC	Urban Driving Cycle
UF	Utility Factor
WLTC	Worldwide harmonized Light-duty vehicles Test Cycle
WLTP	Worldwide harmonized Light-duty vehicles Test Procedure

Kurzbericht

Einleitung

In der Bundesrepublik Deutschland spielt Mobilität eine wichtige Rolle. Dabei ist der motorisierte Individualverkehr mit rund 80% am Personenverkehrsaufwand beteiligt. Geht man von der Gesamtfahrleistung bei Kraftfahrzeugen aus, ist der Pkw-Verkehr die entscheidende Größe. Motorräder und Mopeds spielen eine untergeordnete Rolle.

Die Gründe hierfür sind vielschichtig. Zum einen wird eine hohe Flexibilität im Wirtschaftsleben vorausgesetzt und zum anderen möchten viele Menschen ihre Freizeit möglichst individuell gestalten können. Somit ist der Pkw für die meisten Menschen das Fortbewegungsmittel Nummer eins. /1/

Eine wichtige Aufgabe der EU-Kommission ist es nachhaltige Politik zu gestalten. Der Verkehr soll umweltgerecht, sozialverträglich aber auch gleichzeitig wirtschaftlich effizient sein. Aufgrund des immer höheren Verkehrsaufkommens im Personenverkehr wurden bereits Anfang der 70er Jahre gesetzliche Regelungen erarbeitet und Grenzwerte für Schadstoffemissionen festgelegt. Bis heute wurden diese immer wieder erweitert und angepasst. Die stetige Verschärfung der Abgasgesetzgebung hat die Absenkung der Schadstoffemissionen von Kraftfahrzeugen zum Ziel und soll somit zur Reinhaltung der Luft beitragen.

Um im weiteren Prozess die Senkung der Umweltbelastung durch Pkw voranzutreiben wurde entschieden, ein weltweit einheitliches Verfahren für die Zulassung von Kraftfahrzeugen zu entwickeln. Die Beurteilung der Abgasemissionen von Pkw und leichten Nfz soll in Zukunft mit dem WLTP (Worldwide harmonized Light-duty vehicles Test Procedure) durchgeführt werden. Die Entwicklung des WLTP ist derzeit noch nicht abgeschlossen. Es verbleiben viele offene Punkte und Fragen. Fest steht, dass der WLTP keine Weiterentwicklung der aktuell gültigen Richtlinie darstellt, sondern eine von Grund auf neu konstruierte Richtlinie ist. Für Europa sind nicht nur eine neue Testprozedur und geänderte Rahmenbedingungen sowie ein neuer Fahrzyklus (WLTC - Worldwide harmonized Light-duty vehicles Test Cycle) angedacht, sondern auch die Erfassung (später Reglementierung) der Abgasemissionen im realen Straßenverkehr (RDE – Real Driving Emissions) für Pkw. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass der aktuelle Fahrzyklus, der NEFZ (Neuer Europäischer Fahrzyklus) und der WLTC, nur einen Teil der im realen Betrieb auftretenden Fahrzustände erfassen können. Darüber hinaus liegt der Fokus von RDE auf den NOx-Emissionen, insbesondere von Fahrzeugen mit Kompressionszündungsmotoren.

Das Forschungsprojekt FKZ 3713 45 102 beschäftigt sich mit dem Vergleich der aktuell gültigen Richtlinie (ECE-R83) zur abgasseitigen Zulassung gegenüber der angestrebten Richtlinie, dem WLTP. Insbesondere findet die Betrachtung anhand eines Plug-In Hybrid Fahrzeuges statt („Plug-In“ bedeutet extern aufladbar). Die Vermessung eines Plug-In Hybrid Fahrzeugs ist aktuell separat in der UNECE-R101 (Verbrauch) geregelt. Zukünftig sind die Prüfungen der elektrischen Reichweite, des elektrischen Energie- und Kraftstoffverbrauches und der CO₂-Emissionen von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben im WLTP implementiert. Hauptaugenmerk des Projektes ist die Überprüfung der Anwendbarkeit der neuen Prüfprozedur in Bezug auf Plug-In Hybridfahrzeuge mit besonderem Blick auf die CO₂-Emissionen. Hierzu wird der Einflussfaktor der Konditionierungs- und Prüftemperatur untersucht.

Die Messungen der Abgasemissionen werden auf den Prüfständen des TÜV NORD in Essen durchgeführt bzw. im Falle der RDE-Messungen in dessen näherer Umgebung.

Abgasemissionen von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen

Entwicklung und Zukunft der Abgasgesetzgebung

Seit dem Bestehen der Richtlinie 70/220/EWG und der damit verbundenen Einführung der Abgasnorm (Euro 1) im Jahr 1992, wurde diese immer wieder weiterentwickelt und die in ihr festgelegten Grenzwerte zunehmend verschärft.

Mit der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 vom 20. Juni 2007 wurden die Grenzwertstufen Euro 5 und Euro 6 für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge definiert. Im Fokus dieser Verordnung stehen insbesondere die Absenkung der Partikel und Stickoxidemissionen (Euro 5), sowie eine Angleichung der Grenzwerte für Fahrzeuge mit unterschiedlichen Antriebskonzepten.

Die Abgasgrenzwerte verdeutlichen dabei das bisherige Augenmerk auf die Schadstoffemissionen. Vor dem Hintergrund der globalen Erwärmung gewinnen die Kohlendioxidemissionen (CO₂) und der Energieverbrauch in der Abgasgesetzgebung zunehmend an Bedeutung.

Die Expertengruppe „Abgas und Energie“ („WP.29/GRPE“) der Vereinten Nationen (UNECE) erarbeitet derzeit eine neue Testprozedur, um die Bewertung der Abgasemissionen und des Energieverbrauchs von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen weltweit zu harmonisieren (WLTP). Die Festlegung der Prüfprozedur für die Ermittlung von reproduzierbaren und realitätsnahen Ergebnissen ist von zentraler Bedeutung.

WLTP soll für die Überprüfung heutiger Fahrzeug- und Antriebskonzepte geeignet und offen für zukünftige technische Entwicklungen sein. Daher werden neben den in der aktuellen Abgasgesetzgebung betrachteten Schadstoffen auch die Kohlendioxidemissionen und der Energieverbrauch bestimmt. Außerdem werden nicht nur konventionelle Antriebsarten sondern auch alternative Kraftstoffarten und alternative Antriebe wie Elektro-Hybrid- und Elektroantriebe bei der Entwicklung von WLTP einbezogen.

Im Mittelpunkt von WLTP steht die Entwicklung eines neuen realitätsnahen Fahrzyklus und der Prüfprozedur. Der so genannte WLTC (Worldwide harmonized Light-duty vehicles Test Procedure) ist ein wesentlicher Bestandteil des neuen Prüfverfahrens. Er soll den Fahrbedingungen im realen Straßenverkehr möglichst entsprechen und reproduzierbare Messergebnisse sicherstellen. Dabei spielen neben der Fahrkurve selbst, das zulässige Toleranzband und die verwendeten Getriebeschaltpunkte eine wesentliche Rolle. Die Fahrkurve liegt in der GTR No.15 bereits vor. Sie besteht aus vier verschiedenen Teilzyklen mit unterschiedlich hohen Fahrgeschwindigkeiten.

In der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 ist die EU Kommission dazu aufgefordert, ein Verfahren zur Überprüfung der im realen Verkehr auftretenden Emissionen zu entwickeln. Um die Nutzung der Fahrzeuge im realen Verkehr in den Zulassungsprozess einzubinden, ist die Einführung von RDE, mittels Portable Emission Measurement Systems (PEMS), für das Jahr 2017 geplant. Ziel dieser Methode ist es, die in der Realität im Straßenverkehr auftretenden Emissionen zu ermitteln. PEMS bringt die Messtechnik auf die Straße. Das Fahrzeug unterliegt hier den realen Umwelt- und Verkehrsbedingungen.

Der TÜV NORD ist in den entsprechenden Arbeitsgruppen vertreten und nimmt an der Evaluierung der Prüfmethoden, WLTP und RDE, aktiv, durch die Umsetzung von Forschungsvorhaben, teil.

CO₂-Emissionen und Kraftstoffverbrauch

Konnten durch zahlreiche technische Neuerungen die Emissionen der limitierten Schadstoffe deutlich reduziert werden, ist dies bei den Kohlendioxidemissionen nur bedingt gelungen. Die Stickoxidemissionen (NO_x) sind beispielsweise im Zeitraum von 1991 bis 2009 erheblich gesunken

(um 73,5%). Bei den Kohlendioxidemissionen (CO₂) hingegen wurde im gleichen Zeitraum eine deutlich geringere Absenkung erreicht (18,1%).

Wichtige Gründe hierfür sind die erhebliche Zunahme des Fahrzeuggewichtes und die Erhöhung der Motorleistung. Wog ein VW Golf 1991 noch um die 900 kg, so sind es heute über 1300 kg. Dies ist eine Gewichtsteigerung von über 40%. Gründe hierfür sind die gestiegenen Sicherheitsanforderungen und die damit verbundenen zahlreichen Assistenzsysteme, die zur passiven und aktiven Fahrsicherheit beitragen. Aber auch zahlreiche Komforteinrichtungen haben zu einer deutlichen Gewichtszunahme geführt. Die Gewichtszunahme führt letztendlich dazu, dass die Fortschritte bei der Effizienz der Motoren und des Antriebsstrangs teilweise kompensiert werden. Dies stellt auch die Erklärung für die oben genannte geringe Kohlendioxidemissionsenkung dar. Gleiches gilt auch für den Kraftstoffverbrauch, da dieser annähernd proportional zu CO₂ ist.

Obwohl Kohlendioxid für den Treibhauseffekt mitverantwortlich und die klimaschädliche Wirkung bekannt ist, wird es nicht als Schadstoff eingestuft, da es in „normaler“ Konzentration auf den menschlichen Organismus keine toxischen Auswirkungen hat. Gleichwohl wird durch die Einführung von Flottenzielwerten versucht die CO₂-Emissionen der Fahrzeuge auch zukünftig weiter zu reduzieren. Der Gesamtverkehr ist in Deutschland mit rund 19% am CO₂-Ausstoß beteiligt, wobei allein der Kfz-Verkehr 12% ausmacht.

Mit Hilfe von WLTP und RDE sollen die Hersteller angehalten werden, weitere Entwicklungen zur Reduzierung der Stickoxide vorzunehmen. Zusätzlich ist eine weitere Reduktion der CO₂-Emissionen erwünscht. /1/,/2/,/3/

Neuer Europäischer Fahrzyklus (NEFZ)

Als Basis für die Ermittlung der Abgasemissionen dient der Neue Europäische Fahrzyklus (NEFZ), welcher auch als NEDC (New European Driving Cycle) bezeichnet wird.

Dieser ist für die Typgenehmigung in Europa vorgeschrieben. Der Fahrzyklus ist in der europäischen Richtlinie 98/69/EG bzw. in der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 beschrieben. Der NEFZ besteht aus zwei Teilzyklen, einem innerstädtischen Teil und einem außerstädtischen Teil wobei sich der Stadtfahrzyklus aus 4 hintereinander gefahrenen Grundstadtfahrzyklen zusammensetzt. Insgesamt wird in 1180 Sekunden eine Strecke von rund 11 km zurückgelegt. Die Probenentnahme beginnt sofort mit dem Motorstart und endet nach 1180 Sekunden. /3/

Worldwide harmonized Light-duty vehicles Test Cycle (WLTC)

Die Basis für den WLTP stellt der dazugehörige Fahrzyklus WLTC dar. Der WLTC besteht insgesamt aus 4 Abschnitten: Low, Medium, High und Extra High. Je nach Fahrzeugkategorie werden die entsprechend vorgeschriebenen Teilzyklen ausgewählt. Bei leistungsschwächeren Fahrzeugen wird auf den Extra High – Abschnitt verzichtet. Insgesamt wird in 1800 Sekunden eine Strecke von ca. 23,3 km zurückgelegt./4/

Projektablauf

Die Messungen der Abgasemissionen und des Energieverbrauchs erfolgen im Abgaslabor des TÜV NORD in Essen bzw. im Falle der RDE-Messungen in dessen näherer Umgebung. Dabei werden alle Messungen entsprechend der zugehörigen Richtlinie bzw. Verordnung und im Falle der WLTP Messung nach aktuellem Entwurf (ECE/TRANS/180/Add.15) durchgeführt. Das Testfahrzeug ist ein Toyota Prius Plug-In Hybrid.

Untersuchungsprogramm und Durchführung

Aufgrund sehr hoher Steigerungsraten in den Zulassungsstatistiken von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben, wie Gas-, Hybrid- und Elektrofahrzeugen und der nicht vorhandenen Erfahrung bezüglich

der Vermessung dieser Fahrzeuge mittels WLTP oder RDE, wird die Notwendigkeit eines Forschungsvorhabens zum Thema „Fahrzeuge mit alternativen Antrieben“, gesehen. Das Forschungsvorhaben FKZ 3713 45 102 basiert auf Abgasmessungen an einem Toyota Prius Plug-In Hybrid Fahrzeug. Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die Durchführbarkeit der WLTP-Richtlinie in Bezug auf alternative Antriebssysteme, in diesem Fall, Elektro-Hybridfahrzeuge festzustellen. Ferner wird ein Vergleich zur aktuell gültigen Prüfvorschrift, UNECE-R83 und UNECE-R101 (Verordnung (EG) Nr. 715/2007 verweist auf ECE-Richtlinie), gezogen. Zusätzliches Augenmerk wird hierbei auf die CO₂-Emissionen gelegt. Darüber hinaus wird der Einfluss der Test- und Konditionierungstemperatur untersucht. Die Tests nach WLTP werden jeweils bei 20°C, 5°C sowie -7°C gefahren, nach UNECE-R101 nur bei 20°C. Die Konditionierung sowie die Ladung der Batterie erfolgen ebenfalls bei entsprechenden Temperaturen. Bei den Abgasmessungen auf dem Abgasrollenprüfstand werden die Schadstoffkomponenten (Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe, Stickoxide, Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe und die Partikelmasse sowie Partikelanzahl) bestimmt. Zusätzlich wird Kohlendioxid gemessen. Dabei werden die Abgasemissionen während der Tests in Beuteln gesammelt und anschließend analysiert. Außerdem werden die oben genannten gasförmigen Abgaskomponenten während der gesamten Dauer des Zyklus kontinuierlich im Sekundentakt erfasst (Modalmessung).

In Bezug auf den RDE-Prozess wird der Toyota Prius Plug-In Hybrid auch mittels PEMS (Portable Emission Measurement System) vermessen. Die dadurch gesammelten Erfahrungen sollen zur Erarbeitung von Vorschlägen, bei der Richtliniengestaltung, dienen.

Hinzu kommt eine Grundvermessung der Batterie um die ordnungsgemäße Funktion und Ladeenergie festzustellen.

Vor Beginn der Prüfungen wird das Fahrzeug auf ordnungsgemäßen Zustand und Mängel überprüft. Alle Abgas- und Verbrauchsmessungen werden mit handelsüblichem Kraftstoff durchgeführt.

Grundvermessung der Batterie

Die Grundvermessung der Batterie stellt die Funktionskontrolle dar. Die notwendige Ladeenergie wird durch definiertes Entladen und Aufladen mit Messung der elektrischen Energieaufnahme ermittelt. Die Entladung findet, wie mit Toyota besprochen, auf dem Fahrleistungsprüfstand statt.

Die Grundvermessung erfolgt einmal je Prüftemperatur.

Vermessung nach UNECE-R101

Die Vermessung nach UNECE-R101 erfolgt zweimal zu Beginn des Projekts. Bestimmt werden der Kraftstoffverbrauch sowie die Emissionen für Zustand A (volle Batterie) und Zustand B (leere Batterie) sowie der Gesamt-Verbrauch bzw. -Emissionen. Zusätzlich wird die elektrische Reichweite ermittelt.

Die Tests werden gemäß Richtlinie bei ca. 22°C durchgeführt. Das Fahrprofil entspricht dem NEFZ.

Die Prüfstands- bzw. Lasteinstellung erfolgt mit den vorliegenden Straßenlastwerten der Typprüfung.

Vermessung nach WLTP (ECE/TRANS/180/Add.15)

Die Vermessung nach WLTP erfolgt auf Grundlage des WLTP-Entwurfs (ECE/TRANS/180/Add.15). Dieser beinhaltet die Vermessung im Charge-Depleting Mode (CD) und im Charge-Sustaining Mode (CS). Der CD-Test stellt die Messung eines Fahrzeuges mit geladener Batterie sowie der CS-Test eine Messung mit entladener Batterie dar. Die Auswertung kombiniert beide Fahrzustände zu einem Gesamtergebnis. Dieses gibt sowohl den Kraftstoffverbrauch als auch die Emissionen an. Zusätzlich wird der elektrische Verbrauch ausgewiesen.

Das Fahrprofil entspricht dem o.g. WLTC.

Außerdem wird im WLTP mit dem AERCity (All Electric Range City) die elektrische Reichweite und der elektrische Energieverbrauch im Stadtverkehr bestimmt. Das Fahrprofil setzt sich aus dem Low- und Medium-Teil des o.g. WLTC zusammen (Low₃, Medium₃₋₂).

Die Tests werden jeweils zweimal gemäß Richtlinienentwurf bei ca. 23°C, aber auch bei 5°C und -7°C durchgeführt.

Da Toyota für den Toyota Prius Plug-In Hybrid keine nach WLTP ausgerollten Straßenlasten liefern konnte (Fahrzeug wurde noch nicht nach WLTP ausgerollt), erfolgt die Lasteinstellung des Prüfstands mit den zum WLTP umgerechneten Straßenlasten. Die Last und die Schwungmasse sind gegenüber den Typprüfbedingungen erhöht.

Real Driving Emissions (RDE)

Die Vermessung mittels PEMS findet auf Grundlage der in der RDE-Gruppe diskutierten Vorgehensweise statt. Dem entsprechend wird die Messung nach aktuellem Diskussionsstand durchgeführt.

Die Messfahrten werden auf öffentlichen Straßen und unter Einfluss wechselnder Verkehrssituationen durchgeführt. Die Fahrtroute ist ein Rundkurs und besteht jeweils zu ca. einem Drittel aus Stadt-, Land- und Autobahn-Anteilen. Die Strecke umfasst ca. 78km und eine Fahrzeit von ca. 90 Minuten. Abbildung 14 Die Abgasmessung wird mittels eines Sensors Semtech Ecostar und die energetische Messung mittels eines Hioki-Messgerätes durchgeführt.

Es werden jeweils 3 Messfahrten mit voller Batterie sowie 3 mit leerer Batterie durchgeführt.

Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

Grundvermessung der Batterie

Die nach vollständiger Entladung zur Vollladung notwendige Ladeenergie zeigt eine Veränderung der notwendigen Ladeenergie bei unterschiedlichen Temperaturen. Die Differenz der gemessenen Ladeenergien ist jedoch mit ca. 0,2kW moderat. Gemessen wurde eine Ladeenergie bei 20°C von ~3,1kW, bei 5°C von ~2,9kW und bei -7°C von ~3,0kW.

Vermessung nach UNECE-R101

Die Eingangsmessung des Toyota Prius Plug-In Hybrid nach Vorschrift UNECE-R101 verlief positiv. Die in der ECE-R83: Anhang 14, Punkt 1.4 geforderte Bedingung: „Die bei der Emissionsprüfung ermittelten Werte dürfen unter allen in dieser Regelung angegebenen Prüfbedingungen die Grenzwerte nicht überschreiten.“ wird eingehalten. Das Fahrzeug hält in allen notwendigen Zyklen die vorgeschriebenen Grenzwerte ein. Somit wies auch das Gesamtergebnis keine Überschreitung eines Grenzwertes auf. Der ermittelte CO₂-Ausstoß und der Verbrauch entsprechen in etwa den vom Hersteller angegebenen Werten, die durch die Typprüfung bestätigt sind (CO₂-Angabe: 49 g/km, Messwert: 51 g/km).

Vermessung nach WLTP (GTR Entwurf)

Die Vermessung des Toyota Prius Plug-In Hybrid nach WLTP zeigt, dass das Fahrzeug in der Gesamtbetrachtung die Grenzwerte nach 715/2007, EURO5 auch nach WLTP geprüft einhält.

Ein gewichtetes Ergebnis für PN (Particle Number – Partikel Anzahl) ist zurzeit nach WLTP nicht vorgesehen.

Real Driving Emissions (RDE)

Die Auswertung der RDE-Messungen wird auf Grundlage der Modaldaten durchgeführt. Die dargestellten Ergebnisse sind die aus den sekundlichen Messdaten ermittelten Werte.

Eine Auswertung mit Emroad (MAW) vom JRC (Joint Research Center) ist zurzeit noch nicht möglich. Die Anwendung der MAW-Methode (Moving Avaraging Windows) steht für Hybrid-Fahrzeuge noch nicht zur Verfügung. Diese ist laut JRC noch in der Entwicklung.

Eine Auswertung mit dem Clear-Tool (SPF – standardized power frequency) der TU-Graz ist ebenfalls aufgrund der noch nicht zur Verfügung stehenden Version für Hybrid-Fahrzeuge nicht möglich. Insgesamt steigt CO₂, CO und der Kraftstoffverbrauch in der Messung mit leerer Batterie an. Dazu passend sinkt die Entnahme von elektrischer Energie aus der Batterie auf ein Minimum (Nahe 0). In der Messung mit vollständig geladener Batterie werden über die gesamte PEMS-Fahrt ca. 29Wh/km aus dem Batterie entnommen wobei bilanziell die Entnahme ca. in den ersten 30 Minuten erfolgt.

Der relativ große Temperaturbereich während der Messungen (ca. 18°C – 32°C) hat in der Praxis keine Relevanz. Dies liegt vermutlich daran, dass sowohl 18°C als auch 32°C noch keine Extremtemperaturen darstellen, die mit drastischen Eingriffen in die Motorsteuerung kompensiert werden müssen. Des Weiteren ist der Temperatureinfluss im Vergleich zum Einfluss der Fahrweise und Verkehrssituation, etc. gering.

Vergleich der Messungen nach UNECE-R101 und WLTP

Der Vergleich der Ergebnisse der Abgasemissionsmessung nach UNECE-R101 und WLTP zeigt Unterschiede auf. Allgemein sinken die Abgasemissionen HC, CH₄, NMHC und CO nach WLTP ab. Auch die elektrische Reichweite sinkt. Diese deutliche Reduktion der Reichweite ist auf die unterschiedlichen Ermittlungsmethoden zurückzuführen. Im Gegenzug steigen die Abgasemissionen NO_x, NO und CO₂ sowie der Kraftstoffverbrauch und der elektrische Energieverbrauch an. Hervorzuheben ist, dass die Änderung der Werte nicht nur durch den geänderten Fahrzyklus, sondern auch durch die geänderte Vorgehensweise und Berechnung zustande kommen. Der Vergleich bezieht sich ausschließlich auf die faktisch ermittelten Endergebnisse der jeweiligen Prüfvorschrift (ohne Betrachtung/Berücksichtigung der Ermittlungsmethoden).

Vergleich der Messungen nach WLTP bei verschiedenen Temperaturen

Zusammenfassend ist zu erkennen, dass die Emissionen mit sinkender Temperatur steigen. Die Erhöhung der Emissionen bei kälteren Temperaturen ist deutlich. Jedoch wird der jeweilige Grenzwert (Grenzwert für aktuelle Regelung 715/2007) auch bei -7°C eingehalten.

Der gewichtete Kraftstoffverbrauch (FC weighted) und der gewichtete CO₂-Ausstoß (CO₂ weighted) steigen bei sinkender Temperatur. Der elektrische Energieverbrauch (EC weighted) bleibt konstant. Der äquivalente elektrische Energieverbrauch (ECEAER) steigt bei 5°C leicht und bei -7°C deutlich an. Dies folgt aus der sinkenden äquivalenten Reichweite (EAER): bei 20°C ca. 17km und bei -7°C ca. 13km.

Die elektrische Reichweite nach WLTP (AER) liegt bei 20°C bei 10km, bei 5°C noch bei 8km und bei -7°C bei 0km. Die elektrische Reichweite gibt die Fahrstrecke bis zum ersten Start des Verbrennungsmotors an. Da bei -7°C unmittelbar der Verbrennungsmotor zugeschaltet wird, ergibt sich eine elektrische Reichweite von 0km.

Vergleich der Auswirkungen verschiedener „Utility Faktoren“ (UF) im WLTP

Die Betrachtung der Auswirkungen verschiedener UF's findet nur auf Basis des elektrischen Energie- und Kraftstoffverbrauchs statt. Bei ihr handelt es sich um eine rein rechnerische Nachbereitung der Messwerte für den Betrieb in den beiden Modi („charge depleting“ und „charge sustaining“); d.h. die Gewichtung der beiden Werte erfolgt anders. Die Reichweiten werden von den verschiedenen UF's nicht beeinflusst und werden daher nicht dargestellt. Die Betrachtung der Ergebnisse, ermittelt mit den zwei verschiedenen UF-Kurven zeigt, dass die Berechnung mit der „NEDC corrected to WLTP“ Kurve weniger Emissionen, CO₂-Ausstoß sowie Verbrauch gegenüber der WLTP-Kurve aufweist.

Lediglich die elektrische Energieaufnahme ist größer. Dies resultiert aus der parallelen Nutzung von elektrischer Energie und fossilem Brennstoff bei Hybridfahrzeugen.

Vergleich der Auswirkungen auf den Energieverbrauch verschiedener Messprozeduren bzw. Parameter

Im Folgenden werden die Auswirkungen verschiedener Messprozeduren bzw. Parameter auf den Kraftstoffverbrauch sowie des elektrischen Energieverbrauchs aufgezeigt. Für den Vergleich werden die Mittelwerte der jeweiligen Messungen herangezogen. Der CO₂-Ausstoß bzw. der Kraftstoffverbrauch und auch der elektrische Energieverbrauch im WLTP nimmt im Vergleich zur UNECE-R101 zu. Dies kann durch die erhöhte Last (Road Load) im WLTP und dem durchaus dynamischeren Fahrzyklus mit höheren Leistungsanforderungen begründet werden.

Im realen Straßenverkehr (RDE) steigen die Kraftstoffverbräuche im Vergleich zum WLTP weiter an. Die Messungen mit vollständig geladener Batterie zeigen einen weiteren geringen Anstieg. Die Messergebnisse mit entladener Batterie weisen jedoch stark erhöhte Werte auf. Dies kann definitiv auf die entladene Batterie zurück geführt werden. Wird in allen anderen Messungen Energie aus der Batterie zum Bewegen des Fahrzeugs genutzt, wird in dieser Messung die Batterie im Fahrbetrieb minimal geladen.

Wird nun der elektrische Energieverbrauch „RDE vollständig geladen“ mit der Messung nach UNECE-R101 oder WLTP verglichen, fällt auf, dass der Verbrauch an elektrischer Energie deutlich kleiner ist. Dies hängt jedoch nicht von einer geringeren Lastanforderung auf der Straße ab. Die Begründung besteht darin, dass nach UNECE-R101 und auch im WLTP, anteilig nur ein kleiner Teil mit ganz entladener Batterie gefahren werden muss. Während der RDE-Messung hingegen wird ein Großteil der Messung mit entleerter Batterie bewältigt, da nach Entleerung dieser, nur durch Rekuperation (Rückgewinnung von Energie durch Einsatz des Elektro-Motors als Generator) erneut Energie eingespeist wird.

Die zusätzlichen Messungen im WLTP bei 5 und -7°C ergeben jeweils eine zusätzliche Erhöhung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen im Vergleich zur Ausgangsmessung bei 20°C. Bei -7°C beträgt die Erhöhung ca. 50% gegenüber der Messung bei 20°C.

Der elektrische Energieverbrauch beträgt bei allen gemessenen Temperaturen im WLTP 59,5Wh/km bis 63Wh/km. Es ist somit keine signifikante Änderung zu erkennen.

Bei der Betrachtung des elektrischen Energie- über dem Kraftstoffverbrauch ist zu erkennen, dass die einzelnen Messpunkte der jeweiligen Prüfungen auf einer Geraden liegen. Die unterste „Gerade“ stellt die Messungen nach UNECE-R101 dar, dies folgt aus den geringsten Anforderungen an das Prüffahrzeug. Die Gerade für den WLTP liegt aufgrund der erhöhten Lastanforderung etwas darüber.

Die RDE-Ergebnisse liegen in diesem Fall zwischen den beiden Abgasrollenprüfstandsergebnissen. Dies bedeutet in diesem Fall jedoch nicht, dass die Lastanforderung an das Fahrzeug auch zwischen der des WLTP und der nach UNECE-R101 liegen. Diese Darstellung ist, wie oben bereits beschrieben, aufgrund der deutlich anderen Verteilung des Ladezustands der Batterie, verzerrt.

Erwartungsgemäß erhöht sich im WLTP bei 5°C und ein weiteres Mal bei -7°C der Gesamtenergiebedarf, somit liegen die Datenpunkte dieser beiden Messungen höher als die anderen Messungen.

Zusammenfassung

Das Forschungsvorhaben „Ermittlung der Schadstoff- und Klimagasemissionen von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen durch WLTP und RDE unter Berücksichtigung zukünftiger Kraftstoffe und Antriebskonzepte“ wird am Beispiel eines Toyota Prius Plug-In Hybrides durchgeführt.

Die verschiedenen Tests werden auf Grundlage der entsprechenden Richtlinie oder im Falle von WLTP und RDE des aktuell „gültigen“ Richtlinienentwurfs durchgeführt.

Die Grundvermessung der Batterie ergibt eine notwendige Ladeenergie von ca. 3kWh. Die Ladeenergie schwankt bei veränderter Umgebungstemperatur.

Die Eingangsmessung, nach UNECE-R101, des Toyota Prius Plug-In Hybrid zeigt, dass sich das Fahrzeug in einwandfreiem Zustand befindet und alle Grenzwerte einhält. Der Verbrauch und die Reichweite entsprechen den vom Hersteller angegebenen Werten.

Das Fahrzeug hält auch nach WLTP geprüft, die Grenzwerte nach 715/2007 EURO5 ein.

Die RDE-Messungen zeigen die negative Korrelation von Kraftstoffverbrauch (auch CO₂ und CO) und elektrischem Energieverbrauch auf.

Der Vergleich von UNECE-R101 und WLTP zeigt Unterschiede. Die Stickoxide, CO₂, der Kraftstoff und elektrische Energieverbrauch steigen im WLTC an. Die Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid dagegen sinken.

Die Überprüfung des Temperatureinflusses im WLTP zeigt, dass bei niedrigeren Temperaturen höhere Emissionen auftreten. Die Grenzwerte für Regelung 715/2007 EURO5 werden jedoch eingehalten.

Die WLTP-Berechnung mit zwei verschiedenen UF-Kurven zeigt eine negative Korrelation von Kraftstoffverbrauch und CO₂ gegenüber dem elektrischen Energieverbrauch auf.

Die spezifischen Energieanforderungen der durchgeführten Tests durch verschiedener Messprozeduren sortieren sich aufsteigend wie folgt: UNECE-R101, RDE, WLTP, WLTP 5°C und WLTP -7°C.

Summary Report

Introduction

Mobility plays an important role in the Federal Republic of Germany. Motorised individual transportation accounts for about 80 percent of passenger traffic expenditure. Judging from the total mileage of motor vehicles, automobile traffic is the decisive factor. Motorcycles and mopeds play a lesser role.

The reasons for this are complex. On one hand, our economy demands a high degree of flexibility; on the other hand, many people want to spend their free time as independently as possible. Thus, the car is the number one means of transportation for most people. /1/

An important task of the EU Commission is to set sustainability policy. Transportation should be environmentally friendly, socially compatible and at the same time economically efficient. Due to ever increasing passenger traffic in the early 70s, legal regulations were drawn up and limits established for pollution. To date, these have been repeatedly extended and adapted. The steady tightening of exhaust legislation attempts to reduce emissions from motor vehicles and thereby contribute to keeping the air clean.

To further the process of advancing the reduction of environmental pollution from passenger-cars, it has been decided to develop a globally uniform procedure for the registration of motor vehicles. The evaluation of exhaust emissions from passenger-cars and light duty vehicles shall be conducted in the future by the WLTP (Worldwide harmonized Light-duty vehicle Test Procedure). The development of WLTP has not yet been completed. There remain many open issues and questions. It is clear that the WLTP does not represent a further development of the currently valid guidelines, but rather a fundamentally redesigned guideline. For Europe, not only a new test procedure and changed conditions are being considered, as well as a new driving cycle (WLTC - Worldwide harmonized Light-duty vehicles Test Cycle), but also the monitoring (and later regulating) of exhaust emissions of passenger-cars in actual traffic (RDE - Real Driving Emissions). This is due to the fact that the current driving cycle, the NEDC (New European Driving Cycle) and the WLTC gather only part of the driving conditions encountered in real operation. In addition, the focus of RDE is on the NO_x-emissions, in particular from vehicles with compression ignition engines.

The research project FKZ 3713 45 102 deals with the comparison of the currently applicable guideline for exhaust-gas-pollution regulation (ECE-R83) with the desired policy, the WLTP. In particular, a plug-in hybrid vehicle is being considered ("plug-in" meaning externally chargeable). The measurement of a plug-in hybrid vehicle is currently regulated separately by UNECE-R101 (Consumption). In the future, tests of electric range, electric power and fuel consumption as well as CO₂ emissions from vehicles with alternative fuels will be implemented in WLTP. The main focus of the project is to test the applicability of the new testing procedure in terms of plug-in hybrid vehicles, with a particular view to CO₂ emissions. For this purpose, the influencing factors of conditioning and testing temperature are examined.

The exhaust-gas emissions tests are performed on the test benches of TÜV NORD in Essen or, in the case of RDE measurements, in the immediate vicinity.

Exhaust Emissions from Passenger-cars and Light duty Trucks

Development and the Future of Exhaust Legislation

Since the existence of Directive 70/220/EEC and the related introduction of emissions standard (Euro 1) in 1992, this has evolved over and over again as the limits become increasingly stringent.

The Commission Regulation (EC) No. 715/2007 of 20 June 2007 defined the limit levels Euro 5 and 6 for passenger-cars and light duty trucks. The focus of this regulation in particular is lowering particulate and nitrogen oxide emissions (Euro 5), as well as an adjustment of the limit for vehicles with alternative fuel concepts.

The emission limits illustrate the previous focus on pollution. Against the background of global warming, carbon dioxide (CO₂) emissions and energy consumption are becoming increasingly important in exhaust legislation.

The United Nations (UNECE) Expert Group "Exhaust and Energy" ("WP.29/GRPE") is preparing a new test procedure to harmonise the evaluation of exhaust-gas emissions and energy consumption for passenger-cars and light duty trucks worldwide (WLTP). Establishing the test procedure for the determining reproducible and realistic results is central.

WLTP should be well-suited to reviewing today's vehicle and fuel concepts and be open for future technological developments. Therefore, in addition to the pollutants currently under consideration in exhaust legislation, carbon dioxide emissions and energy consumption are also specified. Moreover, not only conventional types of fuel but also alternative fuel types and alternative drivetrains such as hybrid and electric drivetrains are considered in the development of WLTP.

At the centre of WLTP is the development of a new real-world driving cycle and test procedure. The so-called WLTC (Worldwide harmonized Light-duty vehicles Test Cycle) is an essential part of the new procedure. It should match the driving conditions in real traffic as closely as possible to ensure reproducible results. In addition to the travel curve, the allowable tolerance band and the transmission shift points used play an essential role. The travel curve already appears in the GTR No.15. It consists of four different sub-cycles with varying high speeds.

In Regulation (EC) no. 715/2007, the EU has prompted the Commission to develop a process for monitoring emissions occurring in real traffic. In order to integrate the use of vehicles in real traffic in the approval process, the introduction of RDE using Portable Emissions Measurement Systems (PEMS) is planned for 2017. The aim of this method is to determine the road transport emissions occurring in reality. PEMS brings measurement to the streets. The vehicle is subject to real environmental and traffic conditions.

TÜV NORD is represented in the relevant working groups and takes an active part in the evaluation of testing methods, WLTP and RDE, through the implementation of research projects.

CO₂ Emissions and Fuel Consumption

If numerous technical innovations could significantly reduce emissions of regulated pollutants, this is only partially successful for carbon dioxide emissions. The nitrogen oxide emissions (NO_x) have fallen considerably, for example, from 1991 to 2009 (by 73.5 percent). For carbon dioxide (CO₂) during the same period, however, a significantly weaker reduction was achieved (18.1 percent).

Major reasons for this are the considerable increase of vehicle weight and increasing engine performance. A VW Golf that weighed 900 kg in 1991 weighs over 1,300 kg today. This is an increase of over 40 percent. Reasons for this are the increased security requirements and the associated numerous assistance systems that contribute to passive and active safety. But numerous luxury features have also led to significant weight gain. This weight gain causes progress in engine and powertrain efficiency to be partially diluted. This also explains the low carbon dioxide emission reduction mentioned above. The same applies to fuel consumption, since it is approximately proportional to CO₂.

Although carbon dioxide is partially responsible for the greenhouse effect and the climate damage is recognised, it is not classified as a pollutant, since it has no toxic effect on the human body in

"normal" concentration. Nevertheless, the introduction of fleet targets will attempt to further reduce CO₂ emissions from vehicles in the future. All transportation traffic in Germany accounts for approximately 19 percent of its CO₂ emissions; motor traffic alone accounts for 12 percent.

Using WLTP and RDE, manufacturers should be encouraged to make further progress towards reducing nitrogen oxides. In addition, a further reduction of CO₂ emissions is desired. /1/,/2/,/3/

New European Driving Cycle (NEDC)

The New European Driving Cycle (NEDC) serves as the basis for determining exhaust-gas emissions.

This is required for type approval in Europe. The driving cycle is described in the European Directive 98/69/EC and in Regulation (EC) No. 715/2007. The NEDC consists of two cycles, an urban part and a suburban part, whereby the city driving cycle consists of four consecutively-driven basic urban cycles. Overall, a distance of 11 km is covered in 1,180 seconds. The sampling begins immediately when the engine starts and ends after 1,180 seconds. /3/

Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Cycle (WLTC)

The basis for the WLTP represents the corresponding driving cycle WLTC. The WLTC as a whole consists of four sections: Low, Medium, High and Extra High. Depending on the vehicle category, the corresponding prescribed partial cycles are selected. For less powerful vehicles, the extra-high portion is omitted. In total a distance of about 23.3 kilometres is travelled in 1,800 seconds. /4/

Project Schedule

Measuring the exhaust emissions and energy consumption takes place in the laboratory of TÜV NORD in Essen or, in the case of RDE measurements, in the immediate vicinity. Here all measurements are performed according to the relevant guidelines or regulations and, in the case of the WLTP measurement, according to the current draft (ECE/TRANS/180/Add.15). The test vehicle is a Toyota Prius plug-in hybrid.

Inspection Program and Execution

Due to very high rates of increase in the registration statistics of vehicles with alternative fuel systems, such as natural gas, hybrid and electric vehicles, and the lack of experience regarding the measurement of these vehicles using WLTP or RDE, the need for a research project on 'new energy vehicles' becomes evident. The research project FKZ 3713 45 102 is based on exhaust-gas measurements on a Toyota Prius plug-in hybrid vehicle. The aim of this research is to determine the feasibility of the WLTP guideline in relation to alternative fuel systems, in this case, electric hybrid vehicles. Furthermore, a comparison is made with the currently valid test program, UNECE R83 and UNECE R101 (Regulation [EC] no. 715/2007 refers to the ECE guideline). Extra attention is given to CO₂ emissions. Furthermore, the influence of the test and the conditioning temperature is examined. The tests according to WLTP are driven each at 20° C, 5° C and -7° C; according to UNECE R101, only at 20° C. The conditioning and the charge of the battery are also performed at appropriate temperatures. When measuring the exhaust-gas on the chassis-dyno, the polluting components are determined (carbon monoxide, hydrocarbons, nitrogen oxides, non-methane hydrocarbons, as well as particulate mass and particle number). Additionally, carbon dioxide is measured. During the tests, the exhaust-gas emissions are collected in bags and then analysed. The aforementioned gaseous exhaust components are measured continuously and recorded each second throughout the duration of the cycle (modal measurement).

Regarding the RDE process, the Toyota Prius plug-in hybrid is measured by means of PEMS (Portable Emission Measurement System). The resulting accumulated experience should serve to help develop recommendations when drafting the policy.

In addition, there is a basic measurement of the battery to ensure proper function and determine charging power.

Prior to testing, the vehicle will be checked for proper condition and defects.

All emissions and fuel consumption measurements are performed with market fuel.

Basic Battery Measurement

The basic measurement of the battery represents the function check. The necessary charging power is determined by a defined discharging and recharging and measuring the electric power consumption. The discharge takes place, as discussed with Toyota, on the chassis dynamometer.

The basic calibration is performed once per test temperature.

Measurement according to UNECE-R101

Measurement according to UNECE-R101 takes place twice at the beginning of the project. The fuel consumption and emissions for Condition A (full battery) and Condition B (low battery) as well as the total consumption or emissions are measured. In addition, the electric range is determined.

The tests are conducted in accordance with guidelines at about 22° C. The operating curve corresponds to the NEDC.

The load settings are set with the present road-load values for homologation testing.

Measurement according to WLTP (ECE/TRANS/180/Add.15)

The measurement according to WLTP is made on the basis of the WLTP draft (ECE/TRANS/180/Add.15). This includes the measurement in Charge Depleting mode (CD) and in Charge Sustaining mode (CS). The CD test is the measurement of a vehicle with a charged battery, and the CS test is a measurement with a discharged battery. The analysis combines both driving states into an overall result. This indicates both fuel consumption and emissions. Electrical consumption is also reported.

The travel profile corresponds to the above-mentioned WLTC.

Moreover, the electric range and the electric power consumption in city traffic are determined in WLTP with the AERCity (All Electric Range City). The operation curve is made up of the low and medium part of the above-mentioned WLTC together (Low3, Medium3-2).

The tests are conducted twice according to guideline draft at about 23° C, but also at 5° C and -7° C.

Since Toyota could not provide coast-down road loads for the Prius plug-in hybrid according to WLTP (vehicle was not yet rolled according to WLTP), the load setting of the dynamometer is performed with the road loads converted to WLTP. The load and the inertial mass are increased compared to the homologation test conditions.

Real Driving Emissions (RDE)

The measurement by PEMS takes place on the basis of the procedure discussed in the RDE Group. Accordingly, the measurement is performed according to the current state of discussion.

The test drives are performed on public roads and under the influence of changing traffic situations. The route is a circular course and consists of about a third each of urban, rural and motorway driving. The route covers about 78 km and a driving time of about 90 minutes. Exhaust-gas measurement is performed by a Semtech Ecostar sensor and energy measurement by a Hioki meter.

There are three test drives with a full battery and three with a flat battery.

Presentation and Discussion of Results

Basic Battery Measurement

The charging power needed for a full charge after complete discharge shows a change at different temperatures. The difference of about 0.2 kW between the measured charging power levels is moderate, however. Charging power of ~3.1 kW was measured at 20° C, ~2.9 kW at 5° C and ~3.0 kW at -7° C.

Measurement according to UNECE-R101

The measurement, to check correct operation, of the Toyota Prius plug-in hybrid according to Regulation UNECE R101 was positive. The required condition in the ECE R83, Appendix 14, Point 1.4 is adhered to: "The values determined in the emissions test must not exceed the limits under any test conditions specified in this regulation." The vehicle maintains the prescribed limits in all the necessary cycles. Thus, the overall results showed no limit exceeded. The calculated CO₂ emissions and fuel consumption match the values stated by the manufacturer, which are confirmed by the homologation test (CO₂ reading: 49 g/km; measured value: 51 g/km).

Measurement according to WLTP (GTR Draft)

The measurement of the Toyota Prius plug-in hybrid according to WLTP shows that all things considered, the vehicle maintains the limit according to 715/2007, EURO5, also tested according to WLTP.

A weighted result for PN (Particle Number) is currently not provided by WLTP.

Real Driving Emissions (RDE)

The evaluation of the RDE measurements is performed on the basis of the modal data. The results shown are those determined from the second-by-second data values.

An evaluation with Emroad (MAW) from JRC (Joint Research Centre) is currently not yet possible. The application of the MAW method (Moving Averaging Windows) is not yet available for hybrid vehicles. According to JRC, this is still developing.

An evaluation with Clear Tool (SPF - standardized power frequency) from the Technical University of Graz is also not possible because the version for hybrid vehicles is not yet available.

In the measurement overall, CO₂, CO, and fuel consumption increase with a flat battery. Correspondingly, the depletion of electric power from the battery sinks to a minimum (close to 0). In the measurement with a fully charged battery, about 29Wh/km is drawn from the battery during the entire PEMS ride; on balance, most of the depletion takes place in about the first 30 minutes.

The relatively large temperature range during measurements (about 18° C to 32° C) has no practical relevance. This is probably because neither 18° C nor 32° C represent extreme temperatures that must be compensated for with drastic interventions in the engine control. Furthermore, the influence of temperature in comparison with driving style and traffic conditions is low.

Comparison of the Measurements according to UNECE-R101 and WLTP

Comparison of the results of the exhaust-gas emission measurement according to UNECE R101 and WLTP shows differences. Exhaust emissions HC, CH₄, NMHC and CO from WLTP generally decline. The electric range is also reduced. This significant reduction in range is due to the different methods of investigation. By contrast, the exhaust-gas emissions NO_x, NO and CO₂ as well as fuel consumption and electric power consumption increase.

It should be emphasised that the change in the values arise not only due to the changed driving cycle, but also due to the changed procedure and calculation. The comparison refers only to the ascertained final results for each test (without consideration of the methods of investigation).

Comparison of the Measurements according to WLTP at Various Temperatures

In summary, it is evident that emissions increase with decreasing temperature. The increase in emissions in colder temperatures is evident. However, a limit is complied with (limit on current regulation 715/2007) even at -7° C.

The weighted fuel consumption (FC weighted) and the weighted CO₂ emissions (CO₂ weighted) increase with decreasing temperature. The electric power consumption (EC weighted) remains constant. The equivalent electric power consumption (ECEAER) rises slightly at 5° C and significantly at -7° C. This follows from the declining equivalent range (EAER): at 20° C about 17 km and at -7° C about 13 km.

The electric range according to WLTP (AER) is 10 km at 20° C, still 8 km at 5° C and 0 km at -7° C. The electric range is the length of the route until the engine first starts. Since at -7° C the engine is immediately switched on, there is an electric range of 0 km.

Comparison of the Effects of Various "Utility Factors" (UF) in WLTP

Consideration of the effects of different UFs will take place only on the basis of electric power and fuel consumption. For UFs it is a purely mathematical post-processing of measured values for operation in the two modes ("charge depleting" and "charge sustaining"), i.e. the weighting of the two values are different. The ranges are not affected by the various UFs and are therefore not shown. Consideration of the results, calculated with two different UF curves, shows that the calculation with the "NEDC corrected to WLTP" curve has lower emissions, CO₂ emissions and fuel consumption compared with the WLTP curve. Only the electric power consumption is greater. This results from the parallel use of electric power and fossil fuel in hybrid vehicles.

Comparison of the effects on energy consumption of different measurement procedures and parameters

In this section, the effects of various test procedures and parameters on fuel consumption as well as electric power consumption are presented. For comparison purposes, mean values of the respective measurements are used. The CO₂ emissions and fuel consumption, as well as the electric power consumption in WLTP, increases compared to UNECE R101. This may be due to the increased road load in WLTP and the thoroughly dynamic driving cycle with higher performance requirements.

In real traffic (RDE), fuel consumption increases further compared to WLTP. The measurements with a fully charged battery show a further slight increase. However, the measurement results with a discharged battery show highly elevated levels. This can definitely be traced back to the discharged battery. If power from the battery is used to move the vehicle in all other measurements, the battery is minimally charged in this measurement while driving.

Now if the electric power consumption "RDE fully charged" is compared with the measurement according to UNECE R101 or WLTP, it becomes apparent that electric power consumption is significantly smaller. However, this is not dependent upon lower road load. The reasoning is that according to UNECE R101 and also according to WLTP, only a small portion needs to be driven with a completely discharged battery. During the RDE measurement, however, a large part of the measurement is accomplished with a flat battery because after it is empty, power is supplied again only by recuperation (recovery of power by using the electric motor as a generator).

The additional measurements in WLTP at 5 and -7° C each yield an additional increase of fuel consumption and CO₂ emissions, compared to the initial measurement at 20° C. At -7° C, the increase is approximately 50 percent compared to the measurement at 20° C.

The electric power consumption is 59.5 Wh/km to 63 Wh/km at all measured temperatures in WLTP. Thus no significant change is recognised.

When considering electric power consumption over fuel consumption, it must be recognised that the individual measuring points of the respective tests are on a straight line. The bottom "line" represents the measurements according to UNECE R101; this results from the least load demand on the test vehicle. The line for WLTP is somewhat higher due to increased load demand.

The RDE results in this case fall between the two exhaust dynamometer results. This does not mean, however, that the load requirement of the vehicle falls between that of WLTP and that of UNECE R101. As already described above, this representation is distorted due to the significantly different distribution of the charge state of the battery.

As expected, the total energy demand increases in WLTP at 5° C and a second time at -7° C; thus the data points of these two measurements are higher than the other measurements.

Summary

The research project "Determination of pollutants and greenhouse gas emissions from passenger-cars and light duty trucks by WLTP and RDE with consideration of future fuels and propulsion concepts" is performed using the example of a Toyota Prius plug-in hybrid.

The various tests are performed on the basis of the corresponding guidelines or, in the case of WLTP and RDE, of the currently "valid" draft guideline.

The basic battery measurement results in a necessary charging power of about 3kWh. The charging power varies with changes in ambient temperature.

The measurement, to check correct operation of the Toyota Prius plug-in hybrid, according to UNECE R101, shows that the vehicle is in perfect condition and maintains all limits. The fuel consumption and range match the values indicated by the manufacturer.

The vehicle also maintains limits according to 715/2007 EURO5, tested according to WLTP.

The RDE measurements show the negative correlation of fuel consumption (including CO₂ and CO) and electric power consumption.

The comparison of UNECE R101 and WLTP shows differences. The nitrogen oxides, CO₂, fuel and electric power consumption increase in WLTP. By contrast, the hydrocarbons and carbon monoxide decrease.

The verification of temperature influence on WLTP shows that at lower temperatures higher emissions occur. However, the limits for Regulation 715/2007 EURO5 are maintained.

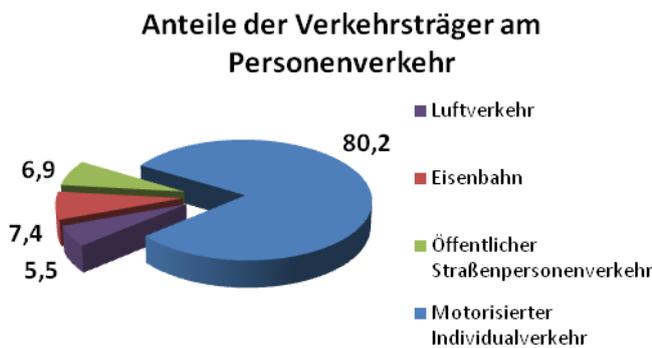
The WLTP calculation with two different UF curves points to a negative correlation between fuel consumption and CO₂ compared to the electric power consumption.

The specific energy requirements of the tests performed by different measurement procedures sort in ascending order as follows: UNECE R101, RDE, WLTP, WLTP 5° C and WLTP -7° C.

1 Einleitung

In der Bundesrepublik Deutschland spielt Mobilität eine wichtige Rolle. Dabei ist der motorisierte Individualverkehr mit rund 80% am Personenverkehrsaufwand beteiligt (Abbildung 1). Geht man von der Gesamtfahrleistung bei Kraftfahrzeugen aus, ist der Pkw-Verkehr die entscheidende Größe. Motorräder und Mopeds spielen eine untergeordnete Rolle.

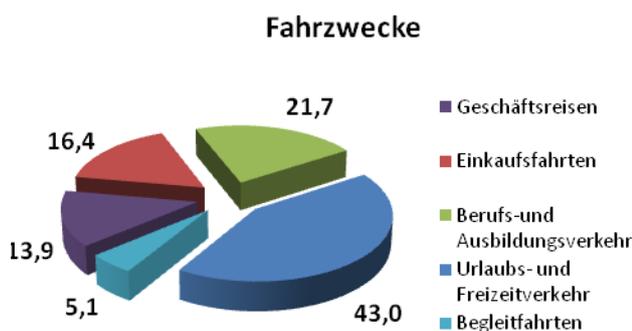
Abbildung 1: Personenverkehr



/1/ Datengrundlage 2010

Die Gründe hierfür sind vielschichtig. Zum einen wird eine hohe Flexibilität im Wirtschaftsleben vorausgesetzt und zum anderen möchten viele Menschen ihre Freizeit möglichst individuell gestalten können. Somit ist der Pkw für die meisten Menschen das Fortbewegungsmittel Nummer eins. Die prozentuale Verteilung der jeweiligen Fahrzwecke ist in Abbildung 2 dargestellt. /1/

Abbildung 2: Fahrzwecke



/1/ Datengrundlage 2010

Eine wichtige Aufgabe der EU-Kommission ist es nachhaltige Politik zu gestalten. Der Verkehr soll umweltgerecht, sozialverträglich aber auch gleichzeitig wirtschaftlich effizient sein. Aufgrund des immer höheren Verkehrsaufkommens im Personenverkehr wurden bereits Anfang der 70er Jahre gesetzliche Regelungen erarbeitet und Grenzwerte für Schadstoffemissionen festgelegt. Bis heute wurden diese immer wieder erweitert und angepasst. Die stetige Verschärfung der Abgas-

gesetzgebung hat die Absenkung der Schadstoffemissionen von Kraftfahrzeugen zum Ziel und soll somit zur Reinhaltung der Luft beitragen.

Um im weiteren Prozess die Senkung der Umweltbelastung durch Pkw voranzutreiben wurde entschieden, ein weltweit einheitliches Verfahren für die Zulassung von Kraftfahrzeugen zu entwickeln. Die Beurteilung der Abgasemissionen von Pkw und leichten Nfz soll in Zukunft mit dem WLTP (Worldwide harmonized Light-duty vehicles Test Procedure) durchgeführt werden. Die Entwicklung des WLTP ist derzeit noch nicht abgeschlossen. Es verbleiben viele offene Punkte und Fragen. Fest steht, dass der WLTP keine Weiterentwicklung der aktuell gültigen Richtlinie darstellt, sondern eine von Grund auf neu konstruierte Richtlinie ist. Für Europa sind nicht nur eine neue Testprozedur und geänderte Rahmenbedingungen sowie ein neuer Fahrzyklus (WLTC - Worldwide harmonized Light-duty vehicles Test Cycle) angedacht, sondern auch die Erfassung (später Reglementierung) der Abgasemissionen im realen Straßenverkehr (RDE – Real Driving Emissions) für Pkw. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass der aktuelle Fahrzyklus, der NEFZ (Neuer Europäischer Fahrzyklus) und der WLTC, nur einen Teil der im realen Betrieb auftretenden Fahrzustände erfassen können. Darüber hinaus liegt der Fokus von RDE auf den NO_x-Emissionen, insbesondere von Fahrzeugen mit Kompressionszündungsmotoren.

Das Forschungsprojekt FKZ 3713 45 102 beschäftigt sich mit dem Vergleich der aktuell gültigen Richtlinie (ECE-R83) zur abgasseitigen Zulassung gegenüber der angestrebten Richtlinie, dem WLTP. Insbesondere findet die Betrachtung anhand eines Plug-In Hybrid Fahrzeuges statt („Plug-In“ bedeutet extern aufladbar). Die Vermessung eines Plug-In Hybrid Fahrzeuges ist aktuell separat in der UNECE-R101 (Verbrauch) geregelt. Zukünftig sind die Prüfungen der elektrischen Reichweite, des elektrischen Energie- und Kraftstoffverbrauches und der CO₂-Emissionen von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben im WLTP implementiert. Hauptaugenmerk des Projektes ist die Überprüfung der Anwendbarkeit der neuen Prüfprozedur in Bezug auf Plug-In Hybridfahrzeuge mit besonderem Blick auf die CO₂-Emissionen. Hierzu wird der Einflussfaktor der Konditionierungs- und Prüftemperatur untersucht.

Die Messungen der Abgasemissionen werden auf den Prüfständen des TÜV NORD in Essen durchgeführt bzw. im Falle der RDE-Messungen in dessen näherer Umgebung.

2 Abgasemissionen von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen

2.1 Entwicklung und Zukunft der Abgasgesetzgebung

Seit dem Bestehen der Richtlinie 70/220/EWG und der damit verbundenen Einführung der Abgasnorm (Euro 1) im Jahr 1992, wurde diese immer wieder weiterentwickelt und die in ihr festgelegten Grenzwerte zunehmend verschärft. Die entsprechenden Grenzwerte der einzelnen Emissionsbestandteile sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Mit der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 vom 20. Juni 2007 wurden die Grenzwertstufen Euro 5 und Euro 6 für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge definiert. Im Fokus dieser Verordnung stehen insbesondere die Absenkung der Partikel und Stickoxidemissionen (Euro 5), sowie eine Angleichung der Grenzwerte für Fahrzeuge mit unterschiedlichen Antriebskonzepten.

Die Tabelle 1 verdeutlicht dabei das bisherige Augenmerk auf die Schadstoffemissionen. Vor dem Hintergrund der globalen Erwärmung gewinnen die Kohlendioxidemissionen (CO₂) und der Energieverbrauch in der Abgasgesetzgebung zunehmend an Bedeutung.

Tabelle 1: Pkw Grenzwerte der Normen Euro 1 bis Euro 6

Euro-Norm			Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6
Jahr			1992	1996	2000	2005	2009	2014
Richtlinie/Verordnung			91/441	94/12	98/69	98/69	715/ 2007	715/ 2007
für neue Fahrzeugtypen ab Monat/Jahr			07/92	01/96	01/00	01/05	09/09	09/14
für alle Fahrzeuge ab Monat/Jahr				01/97	01/01	01/06	01/11	09/15
Schadstoffe			Grenzwerte					
Fremdzündungsmotor	CO	in g/km	2,72	2,20	2,30	1,00	1,000	1,000
	HC; THC	in g/km	-	-	0,20	0,10	0,100	0,100
	NO _x	in g/km	-	-	0,15	0,08	0,060	0,060
	HC+NO _x	in g/km	0,97	0,50	-	-	-	-
	THC+NO _x	in g/km	-	-	-	-	-	-
	NMHC	in g/km	-	-	-	-	0,068	0,068
	Partikelmasse	in mg/km	-	-	-	-	5,0/4,5	4,5
	Partikelanzahl	in 1/km	-	-	-	-	-	6x10 ¹² / 10 ¹¹
Kompressionszündungsmotor	CO	in g/km	2,72	1,0	0,64	0,50	0,50	0,50
	HC; THC	in g/km	-	-	-	-	-	-
	NO _x	in g/km	-	-	0,56	0,25	0,18	0,08
	HC+NO _x	in g/km	0,97	0,7	0,56	0,30	0,23	0,17
	THC+NO _x	in g/km	-	-	-	-	-	-
	NMHC	in g/km	-	-	-	-	-	-
	Partikelmasse	in mg/km	140	80	50	25	5,0/4,5	5,0/4,5
	Partikelanzahl	in 1/km	-	-	-	-	6x10 ¹¹	6x10 ¹¹

Die Expertengruppe „Abgas und Energie“ („WP.29/GRPE“) der Vereinten Nationen (UNECE) erarbeitet derzeit eine neue Testprozedur, um die Bewertung der Abgasemissionen und des Energieverbrauchs von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen weltweit zu harmonisieren (WLTP). Die Festlegung der Prüfprozedur für die Ermittlung von reproduzierbaren und realitätsnahen Ergebnissen ist von zentraler Bedeutung.

WLTP soll für die Überprüfung heutiger Fahrzeug- und Antriebskonzepte geeignet und offen für zukünftige technische Entwicklungen sein. Daher werden neben den in der aktuellen Abgasgesetzgebung betrachteten Schadstoffen (s. Tabelle 1) auch die Kohlendioxidemissionen und der Energieverbrauch bestimmt. Außerdem werden nicht nur konventionelle Antriebsarten sondern auch alternative Kraftstoffarten und alternative Antriebe wie Elektro-Hybrid- und Elektroantriebe bei der Entwicklung von WLTP einbezogen.

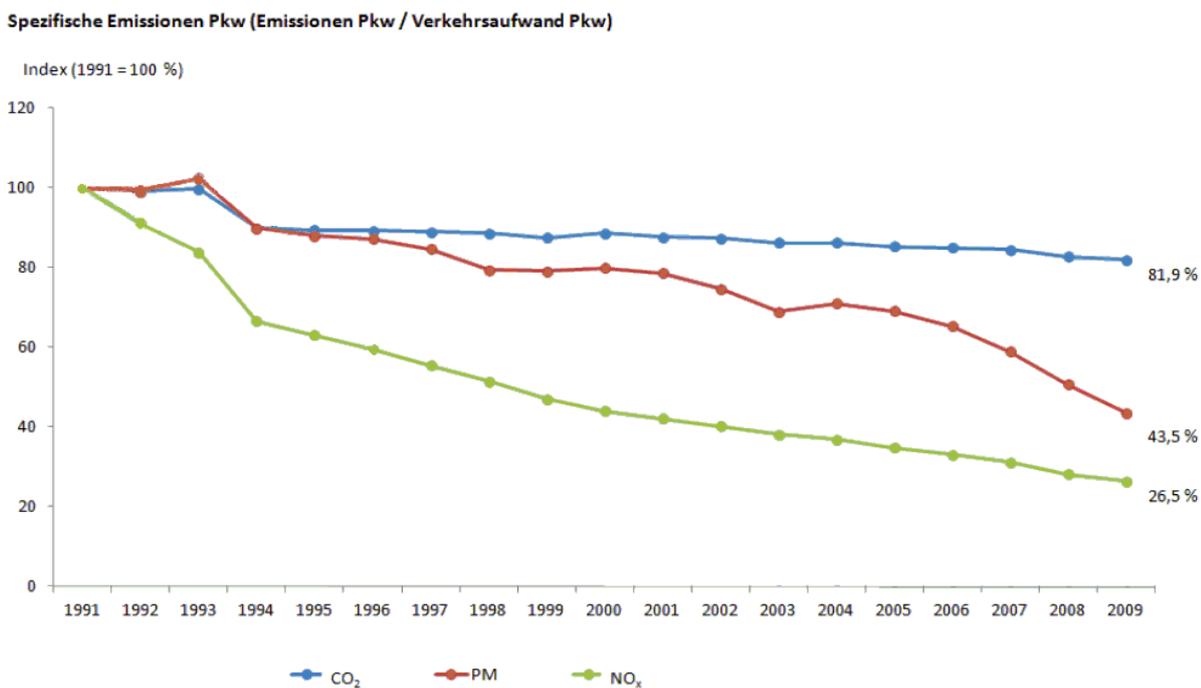
Im Mittelpunkt von WLTP steht die Entwicklung eines neuen realitätsnahen Fahrzyklus und der Prüfprozedur. Der so genannte WLTC ist ein wesentlicher Bestandteil des neuen Prüfverfahrens. Er soll den Fahrbedingungen im realen Straßenverkehr möglichst entsprechen und reproduzierbare Messergebnisse sicherstellen. Dabei spielen neben der Fahrkurve selbst, das zulässige Toleranzband und die verwendeten Getriebebeschaltunkte eine wesentliche Rolle. Die Fahrkurve liegt in der GTR No.15 bereits vor. Sie besteht aus vier verschiedenen Teilzyklen mit unterschiedlich hohen Fahrgeschwindigkeiten.

In der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 ist die EU Kommission dazu aufgefordert, ein Verfahren zur Überprüfung der im realen Verkehr auftretenden Emissionen zu entwickeln. Um die Nutzung der Fahrzeuge im realen Verkehr in den Zulassungsprozess einzubinden, ist die Einführung von RDE, mittels Portable Emission Measurement Systems (PEMS), für das Jahr 2017 geplant. Ziel dieser Methode ist es, die in der Realität im Straßenverkehr auftretenden Emissionen zu ermitteln. PEMS bringt die Messtechnik auf die Straße. Das Fahrzeug unterliegt hier den realen Umwelt- und Verkehrsbedingungen.

Der TÜV NORD ist in den entsprechenden Arbeitsgruppen vertreten und nimmt an der Evaluierung der Prüfmethoden, WLTP und RDE, aktiv, durch die Umsetzung von Forschungsvorhaben, teil.

2.2 CO₂-Emissionen und Kraftstoffverbrauch

Abbildung 3: Spezifische Emissionen Pkw /8/



Konnten durch zahlreiche technische Neuerungen die Emissionen der limitierten Schadstoffe deutlich reduziert werden, ist dies bei den Kohlendioxidemissionen nur bedingt gelungen. In der oben gezeigten Abbildung 3 wird veranschaulicht, dass beispielsweise die Stickoxidemissionen (NO_x) im Zeitraum von 1991 bis 2009 erheblich gesenkt werden konnten (um 73,5%). Bei den Kohlendioxidemissionen (CO₂) hingegen wurde im gleichen Zeitraum eine deutlich geringere Absenkung erreicht (18,1%).

Wichtige Gründe hierfür sind die erhebliche Zunahme des Fahrzeuggewichtes und die Erhöhung der Motorleistung. Wog ein VW Golf 1991 noch um die 900 kg, so sind es heute über 1300 kg. Dies ist eine Gewichtsteigerung von über 40%. Gründe hierfür sind die gestiegenen Sicherheits-

anforderungen und die damit verbundenen zahlreichen Assistenzsysteme, die zur passiven und aktiven Fahrsicherheit beitragen. Aber auch zahlreiche Komforteinrichtungen haben zu einer deutlichen Gewichtszunahme geführt. Die Gewichtszunahme führt letztendlich dazu, dass die Fortschritte bei der Effizienz der Motoren und des Antriebsstrangs teilweise kompensiert werden. Dies stellt auch die Erklärung für die oben genannte geringe Kohlendioxidemissionssenkung dar. Gleiches gilt auch für den Kraftstoffverbrauch, da dieser annähernd proportional zu CO₂ ist.

Obwohl Kohlendioxid für den Treibhauseffekt mitverantwortlich und die klimaschädliche Wirkung bekannt ist, wird es nicht als Schadstoff eingestuft, da es in „normaler“ Konzentration auf den menschlichen Organismus keine toxischen Auswirkungen hat. Gleichwohl wird durch die Einführung von Flottenzielwerten versucht die CO₂-Emissionen der Fahrzeuge auch zukünftig weiter zu reduzieren. Der Gesamtverkehr ist in Deutschland mit rund 19% am CO₂-Ausstoß beteiligt, wobei allein der Kfz-Verkehr 12% ausmacht.

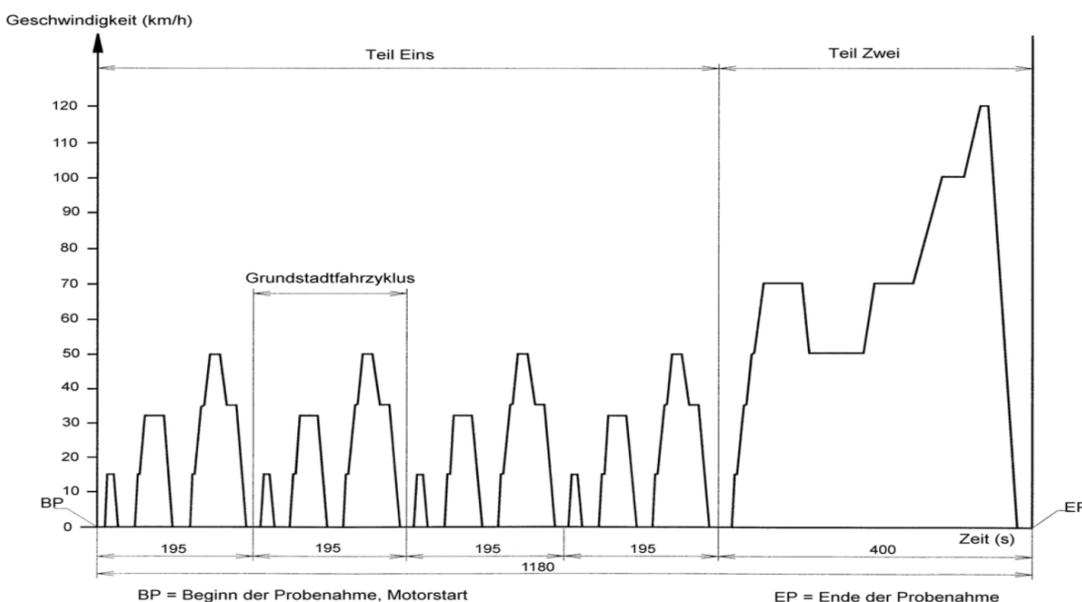
Mit Hilfe von WLTP und RDE sollen die Hersteller angehalten werden, weitere Entwicklungen zur Reduzierung der Stickoxide vorzunehmen. Zusätzlich ist eine weitere Reduktion der CO₂-Emissionen erwünscht. /1/,/2/,/3/

2.3 Neuer Europäischer Fahrzyklus (NEFZ)

Als Basis für die Ermittlung der Abgasemissionen dient der Neue Europäische Fahrzyklus (NEFZ), welcher auch als NEDC (New European Driving Cycle) bezeichnet wird.

Dieser ist für die Typgenehmigung in Europa vorgeschrieben. Der Fahrzyklus ist in der europäischen Richtlinie 98/69/EG bzw. in der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 beschrieben. Der NEFZ besteht aus zwei Teilzyklen, einem innerstädtischen Teil (Teil Eins oder Urban Driving Cycle, UDC) und einem außerstädtischen Teil (Teil Zwei oder Extra Urban Driving Cycle, EUDC) wobei sich der Stadtfahrzyklus aus 4 hintereinander gefahrenen Grundstadtfahrzyklen zusammensetzt. Insgesamt wird in 1180 Sekunden eine Strecke von rund 11 km zurückgelegt. Die Probenentnahme beginnt sofort mit dem Motorstart und endet nach 1180 Sekunden. Die Abbildung 4 zeigt das Geschwindigkeits-Zeit-Profil des NEFZ. /3/

Abbildung 4: Fahrkurve des NEFZ /3/



2.4 Worldwide harmonized Light-duty vehicles Test Cycle (WLTC)

Die Basis für den WLTP stellt der dazugehörige Fahrzyklus WLTC dar. Der WLTC besteht insgesamt aus 4 Abschnitten: Low, Medium, High und Extra High. Je nach Fahrzeugkategorie (vehicle class / Ausgewählt nach „Power to Mass Ratio“) werden die entsprechend vorgeschriebenen Teilzyklen ausgewählt. Bei leistungsschwächeren Fahrzeugen (Stichwort: Power to Mass Ratio) wird auf den Extra High – Abschnitt verzichtet. Insgesamt wird in 1800 Sekunden eine Strecke von ca. 23,3 km (vehicle class 3b) zurückgelegt.

Die Abbildung 5 bis Abbildung 8 zeigen das Geschwindigkeits-Zeit-Profil der WLTC-Teilzyklen passend zu in diesem Forschungsvorhaben getesteten Toyota Prius Plug-In Hybrid (Tabelle 2). /4/

Abbildung 5: Teilzyklus Low₃ – WLTC /4/

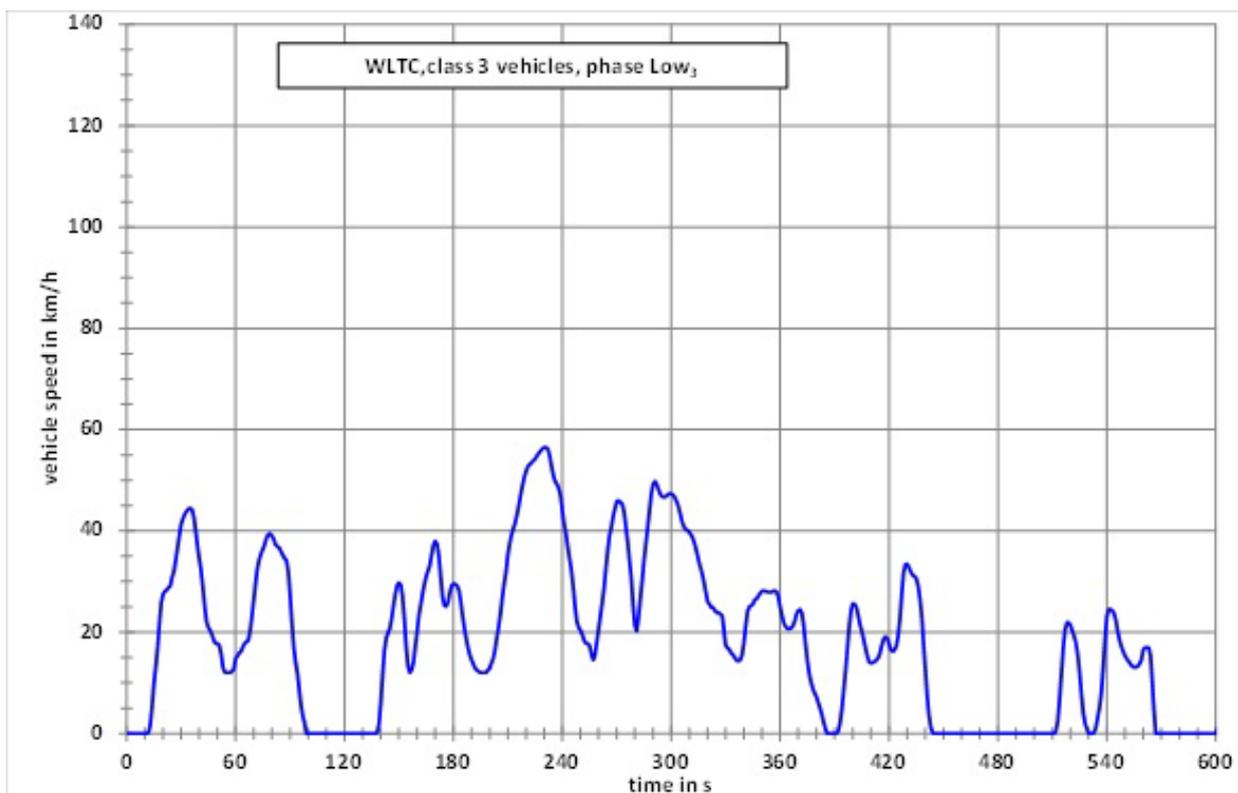


Abbildung 6: Teilzyklus Medium₃₋₂ – WLTC /4/

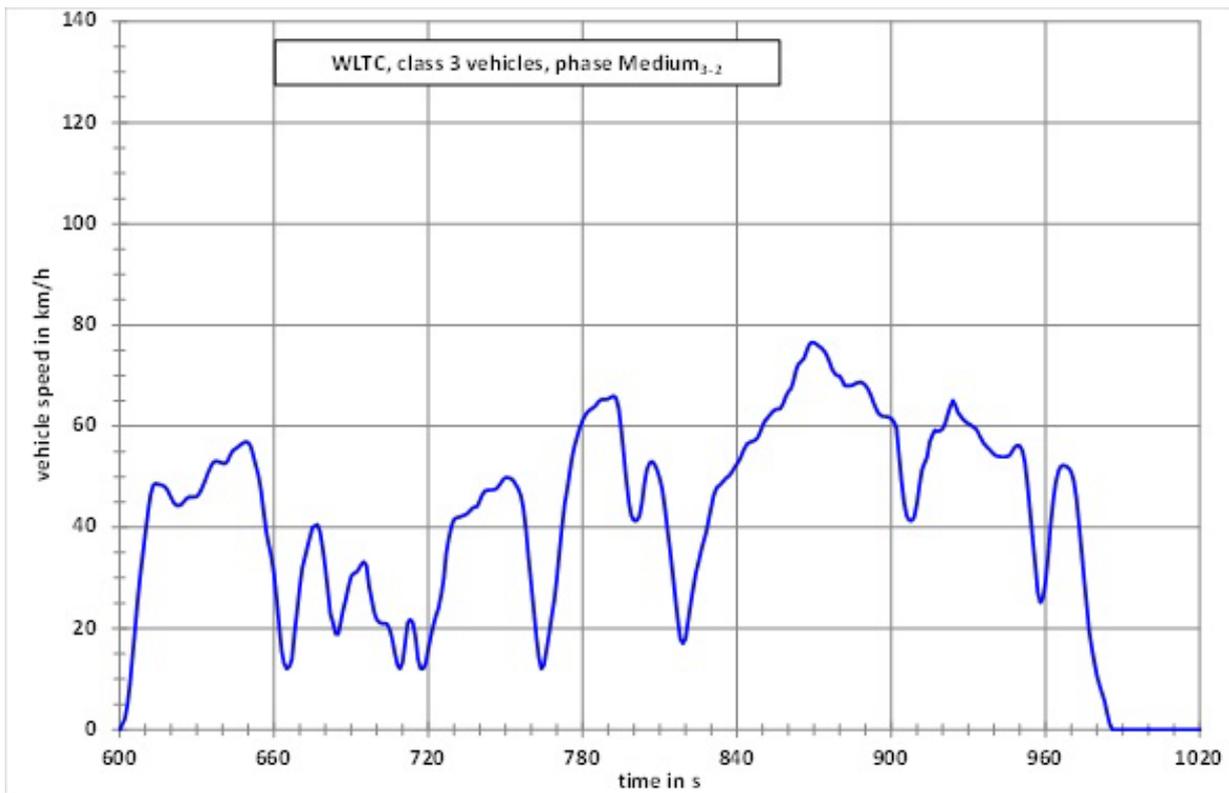


Abbildung 7: Teilzyklus High₃₋₂ – WLTC /4/

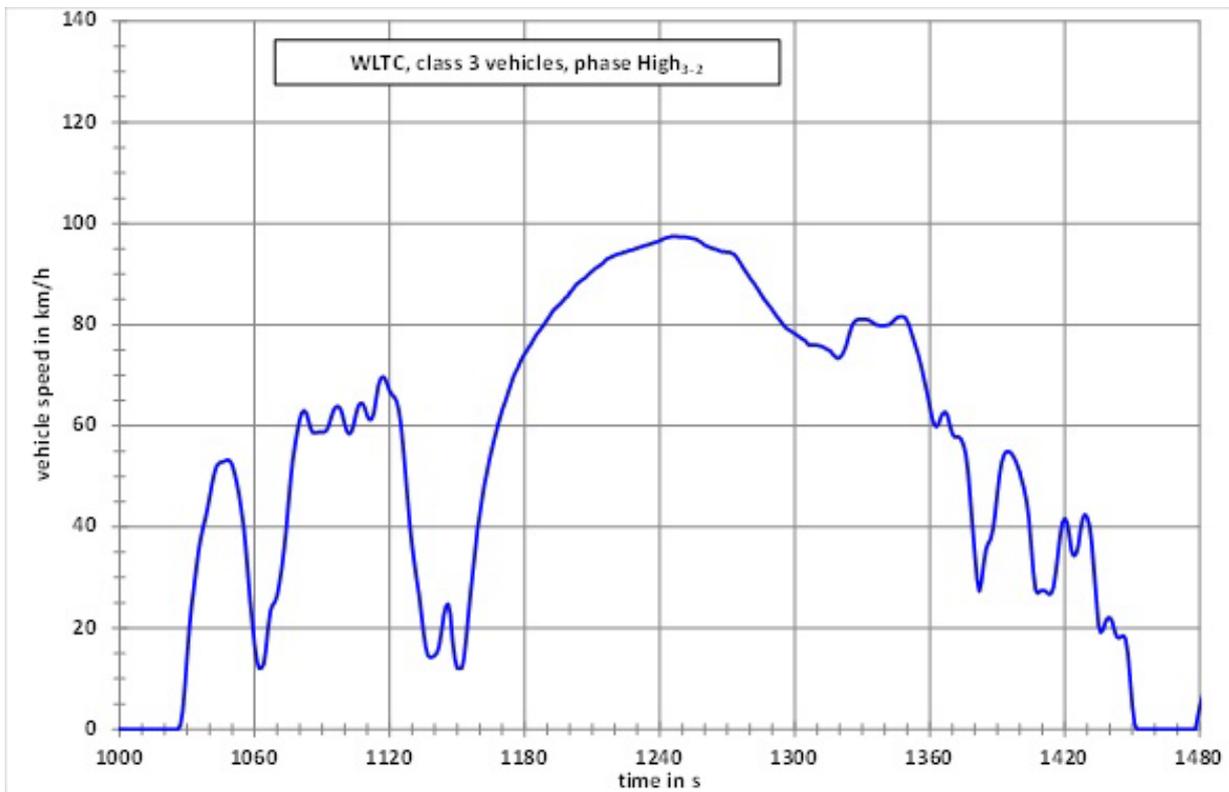
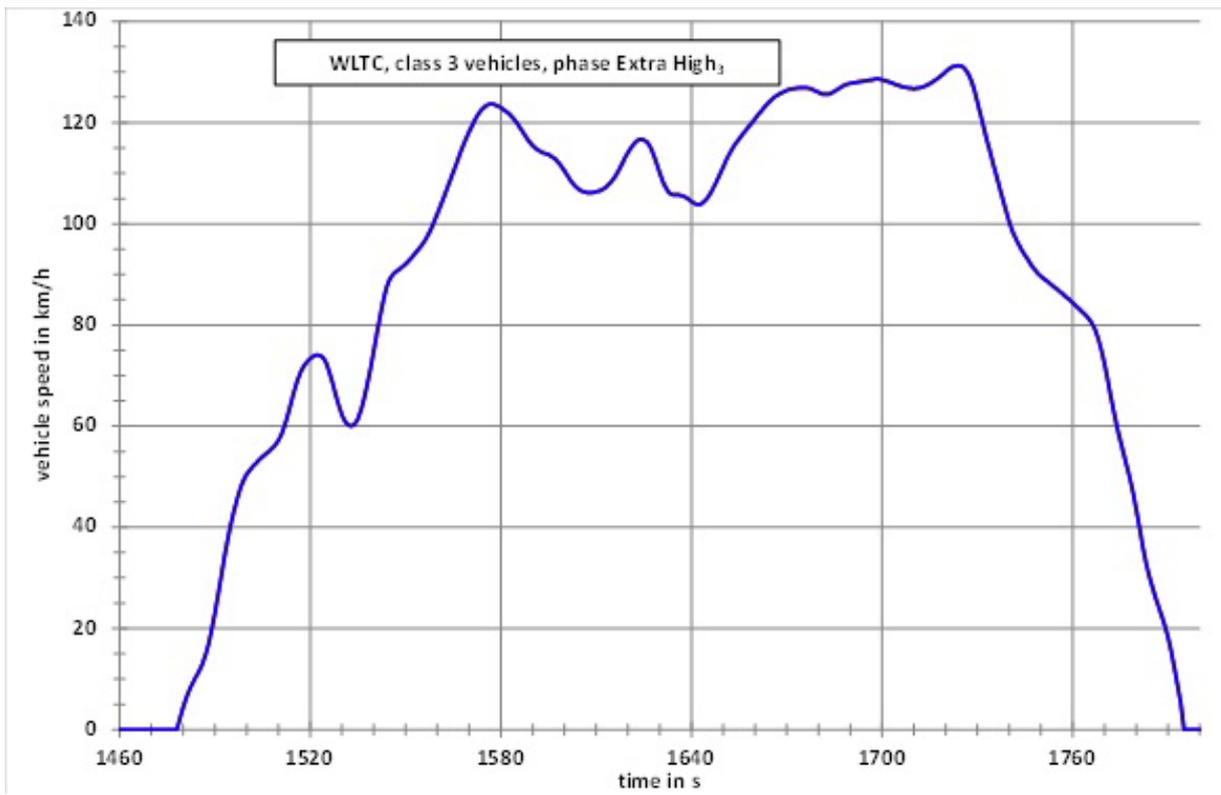


Abbildung 8: Teilzyklus Extra High₃ – WLTC /4/



3 Projektablauf

Die Messungen der Abgasemissionen und des Energieverbrauchs erfolgen im Abgaslabor des TÜV NORD in Essen bzw. im Falle der RDE-Messungen in dessen näherer Umgebung. Dabei werden alle Messungen entsprechend der zugehörigen Richtlinie bzw. Verordnung und im Falle der WLTP Messung nach aktuellem Entwurf (ECE/TRANS/180/Add.15) durchgeführt. Das Testfahrzeug ist in Tabelle 2 beschrieben.

Tabelle 2: Daten zum Testfahrzeug

Fahrzeughersteller:	Toyota
Hersteller-Schlüsselnummer:	5013
Typ:	XW3P
Handelsbezeichnung:	Prius Plug-In Hybrid
Typ-Schlüsselnummer:	AHW
Arbeitsprinzip:	Hybrid: Fremdzündungs- und Elektromotor
Hubraum:	1798 cm ³
Leistung des Verbrennungsmotors:	73 kW
Leistung des Elektromotors:	60 kW
Stand der Abgasgenehmigung:	Euro 5
EG Typgenehmigung:	E11*2007/46*0015*02
Laufleistung bei Testbeginn:	ca. 15 tkm
Erstzulassungsdatum:	08.10.2012

3.1 Untersuchungsprogramm und Durchführung

Aufgrund sehr hoher Steigerungsraten in den Zulassungsstatistiken von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben, wie Gas-, Hybrid- und Elektrofahrzeugen und der nicht vorhandenen Erfahrung bezüglich der Vermessung dieser Fahrzeuge mittels WLTP oder RDE, wird die Notwendigkeit eines Forschungsvorhabens zum Thema „Fahrzeuge mit alternativen Antrieben“, gesehen. Das Forschungsvorhaben FKZ 3713 45 102 basiert auf Abgasmessungen an einem Toyota Prius Plug-In Hybrid Fahrzeug. Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die Durchführbarkeit der WLTP-Richtlinie in Bezug auf alternative Antriebssysteme, in diesem Fall, Elektro-Hybridfahrzeuge festzustellen. Ferner wird ein Vergleich zur aktuell gültigen Prüfvorschrift, UNECE-R83 und UNECE-R101 (Verordnung (EG) Nr. 715/2007 verweist auf ECE-Richtlinie), gezogen. Zusätzliches Augenmerk wird hierbei auf die CO₂-Emissionen gelegt. Darüber hinaus wird der Einfluss der Test- und Konditionierungstemperatur untersucht. Die Tests nach WLTP werden jeweils bei 20°C, 5°C sowie -7°C gefahren, nach UNECE-R101 nur bei 20°C. Die Konditionierung sowie die Ladung der Batterie erfolgen ebenfalls bei entsprechenden Temperaturen. Bei den Abgasmessungen auf dem Abgasrollenprüfstand werden die Schadstoffkomponenten (Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe, Stickoxide, Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe und die Partikelmasse sowie Partikelanzahl) bestimmt. Zusätzlich wird Kohlendioxid gemessen. Dabei werden die Abgasemissionen während der Tests in Beuteln gesammelt und anschließend analysiert. Außerdem werden die oben genannten gasförmigen Abgaskomponenten während der gesamten Dauer des Zyklus kontinuierlich im Sekundentakt erfasst (Modalmessung).

In Bezug auf den RDE-Prozess wird der Toyota Prius Plug-In Hybrid auch mittels PEMS (Portable Emission Measurement System) vermessen. Die dadurch gesammelten Erfahrungen sollen zur Erarbeitung von Vorschlägen, bei der Richtliniengestaltung, dienen.

Hinzu kommt eine Grundvermessung der Batterie um die ordnungsgemäße Funktion und Ladeenergie festzustellen.

Vor Beginn der Prüfungen wird das Fahrzeug auf ordnungsgemäßen Zustand und etwaige Mängel überprüft.

Alle Abgas- und Verbrauchsmessungen werden mit handelsüblichem Kraftstoff durchgeführt.

3.1.1 Grundvermessung der Batterie

Die Grundvermessung der Batterie stellt die Funktionskontrolle dar. Die notwendige Ladeenergie wird durch definiertes Entladen und Aufladen mit Messung der elektrischen Energieaufnahme ermittelt. Die Entladung findet, wie mit Toyota besprochen, auf dem Fahrleistungsprüfstand statt.

Die Grundvermessung erfolgt einmal je Prüftemperatur.

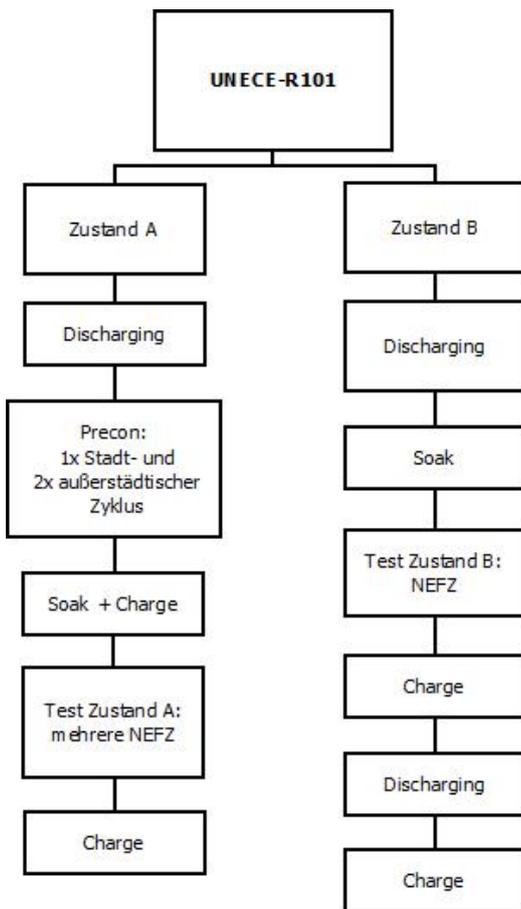
3.1.2 Vermessung nach UNECE-R101

Die Vermessung nach UNECE-R101 erfolgt zweimal zu Beginn des Projekts. Bestimmt werden der Kraftstoffverbrauch sowie die Emissionen für Zustand A (volle Batterie) und Zustand B (leere Batterie) sowie der Gesamtverbrauch bzw. die Gesamtemissionen (Abbildung 9). Zusätzlich wird die elektrische Reichweite ermittelt.

Die Tests werden gemäß Richtlinie bei ca. 22°C durchgeführt. Das Fahrprofil entspricht dem o.g. NEFZ (Abbildung 4).

Die Prüfstands- bzw. Lasteinstellung erfolgt mit den vorliegenden Straßenlastwerten der Typprüfung.

Abbildung 9: UNECE-R101 Ablauf

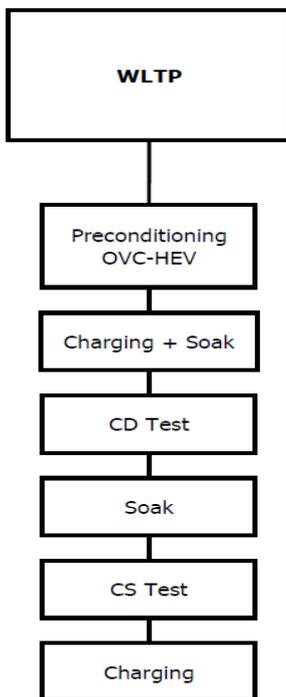


3.1.3 Vermessung nach WLTP (ECE/TRANS/180/Add.15)

Die Vermessung nach WLTP erfolgt auf Grundlage des WLTP-Entwurfs (ECE/TRANS/180/Add.15) (Abbildung 10 und Abbildung 11). Dieser beinhaltet die Vermessung im Charge-Depleting Mode (CD) und im Charge-Sustaining Mode (CS). Der CD-Test stellt die Messung eines Fahrzeuges mit geladener Batterie sowie der CS-Test eine Messung mit entladener Batterie dar. Die Auswertung kombiniert beide Fahrzustände zu einem Gesamtergebnis. Dieses gibt sowohl den Kraftstoffverbrauch als auch die Emissionen an. Zusätzlich wird der elektrische Verbrauch ausgewiesen.

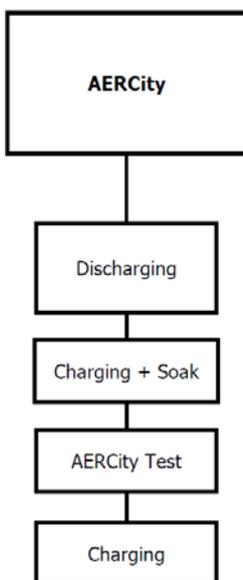
Das Fahrprofil entspricht dem o.g. WLTC (Abbildung 5 bis Abbildung 8).

Abbildung 10: WLTP Ablauf



Außerdem wird im WLTP mit dem AERCity (All Electric Range City) die elektrische Reichweite und der elektrische Energieverbrauch im Stadtverkehr bestimmt. Das Fahrprofil setzt sich aus dem Low- und Medium-Teil des o.g. WLTC zusammen (Low₃, Medium₃₋₂).

Abbildung 11: WLTP AERCity Ablauf



Die Tests werden jeweils zweimal gemäß Richtlinienentwurf bei ca. 23°C, aber auch bei 5°C und -7°C durchgeführt.

Da Toyota für den Toyota Prius Plug-In Hybrid keine nach WLTP ausgerollten Straßenlasten liefern konnte (Fahrzeug wurde noch nicht nach WLTP ausgerollt), erfolgt die Lasteinstellung des Prüfstands mit den zum WLTP umgerechneten Straßenlasten. Die Last und die Schwungmasse sind gegenüber den Typprüfbedingungen erhöht.

3.1.4 Real Driving Emissions (RDE)

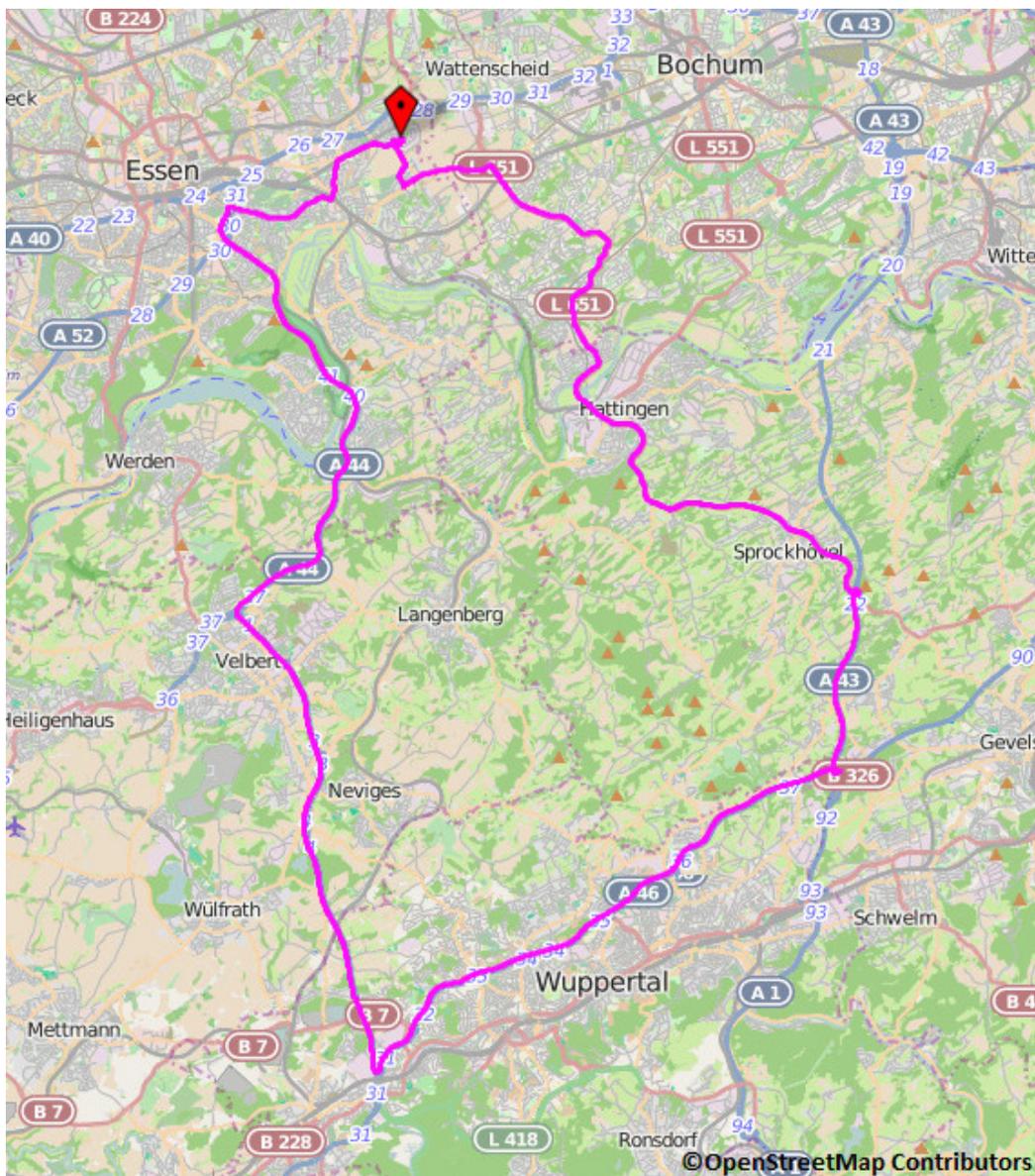
Die Vermessung mittels PEMS findet auf Grundlage der in der RDE-Gruppe diskutierten Vorgehensweise statt. Dem entsprechend wird die Messung nach aktuellem Diskussionsstand durchgeführt.

Die Messfahrten werden auf öffentlichen Straßen und unter Einfluss wechselnder Verkehrssituationen durchgeführt. Die Fahrtroute ist ein Rundkurs und besteht jeweils zu ca. einem Drittel aus Stadt-, Land- und Autobahn-Anteilen. Die Strecke umfasst ca. 78km und eine Fahrzeit von ca. 90 Minuten. Die Fahrtroute ist in Abbildung 12 abgebildet. In Abbildung 13 ist die Drehzahl und Geschwindigkeit über der Fahrstrecke für ein konventionelles Fahrzeug mit Kompressionszündungsmotor abgebildet. Abbildung 14 zeigt das geografische Höhenprofil. Die Abgasmessung wird mittels eines Sensors Semtech Ecostar und die energetische Messung mittels eines Hioki-Messgerätes durchgeführt.

Es werden jeweils 3 Messfahrten mit voller Batterie sowie 3 mit leerer Batterie durchgeführt.

Der Messaufbau ist in Abbildung 15 bis Abbildung 17 dargestellt.

Abbildung 12: PEMS – Fahrtroute



©OpenStreetMap Contributors /5/

Abbildung 13: PEMS – Fahrtroute: Geschwindigkeit und Drehzahl (Beispiel)

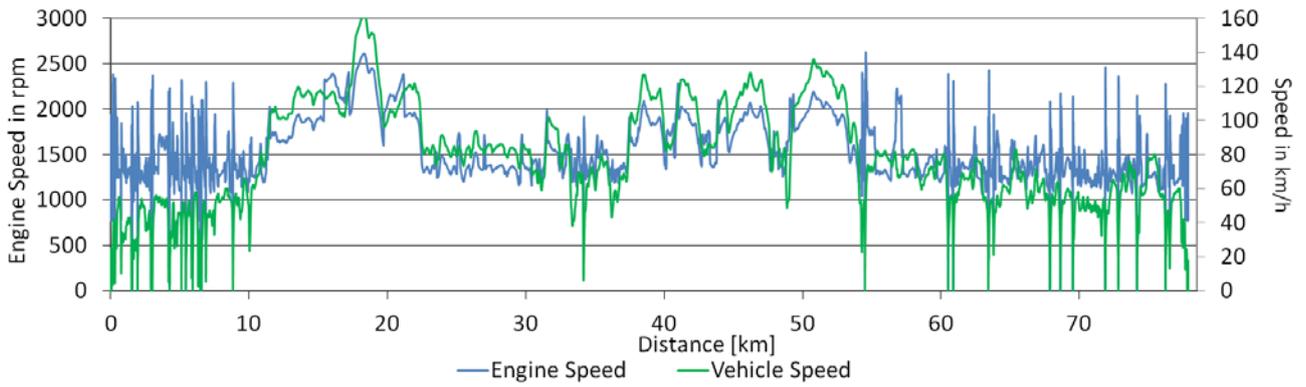


Abbildung 14: PEMS – Fahrtroute Höhenprofil

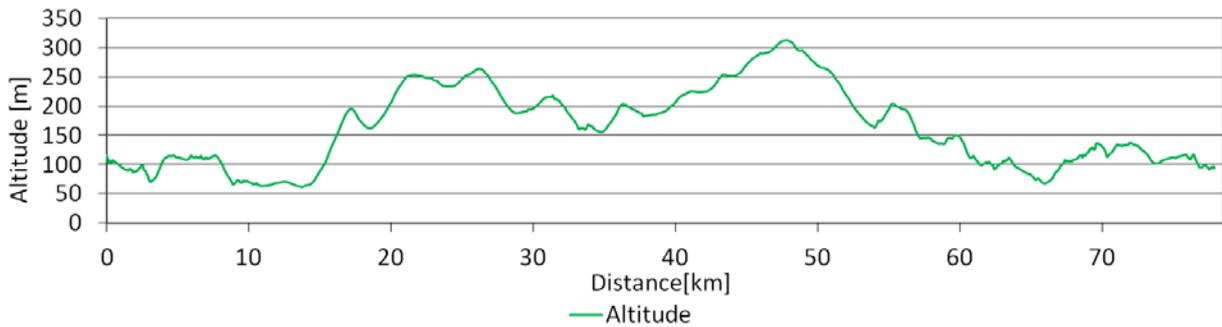


Abbildung 15: PEMS Aufbau Außen



Abbildung 16: PEMS Aufbau Innen

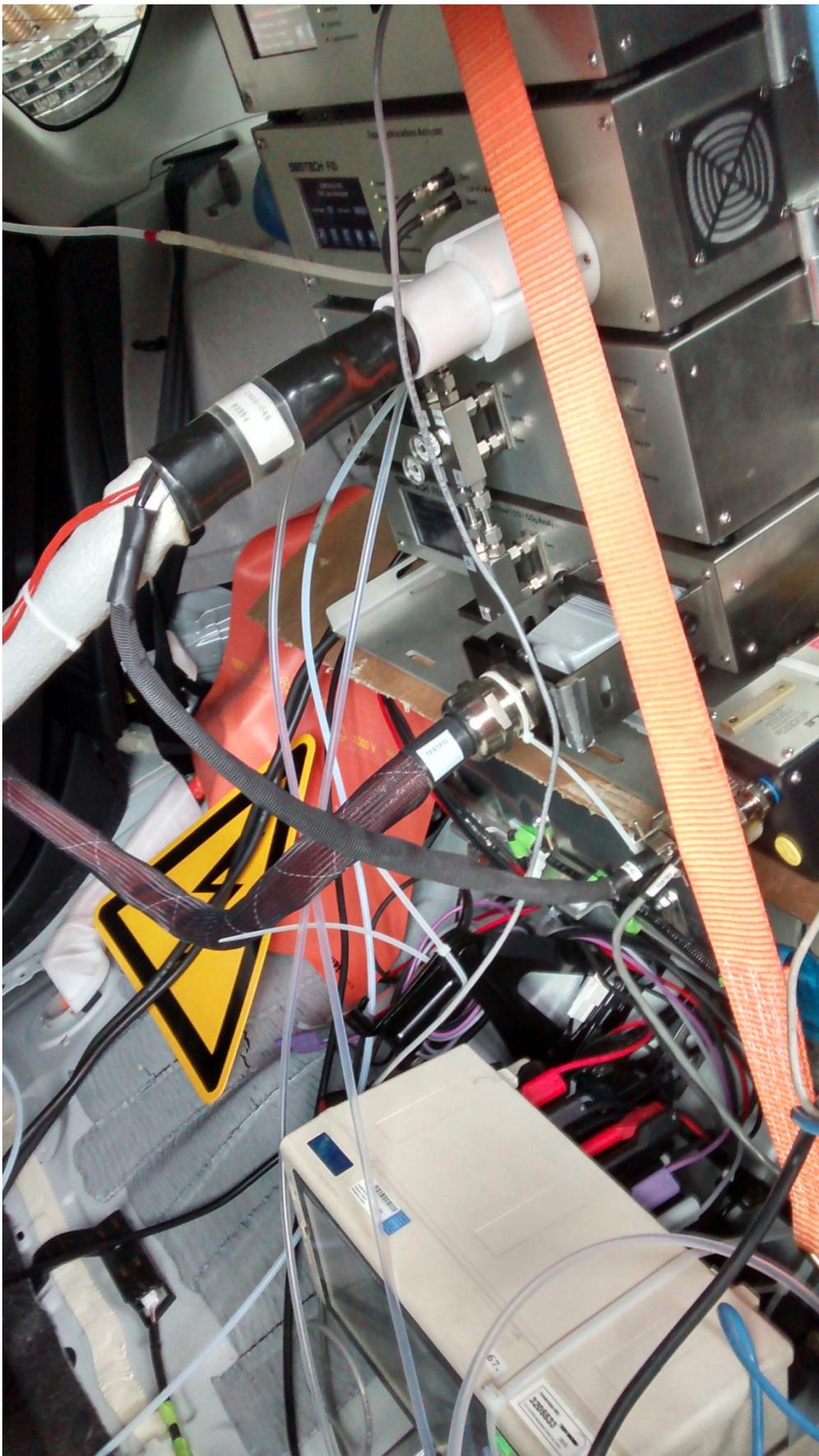


Abbildung 17: Batterie und Brenngas



3.2 Auswertung

3.2.1 Auswertung - UNECE-R101

Die Auswertung erfolgt nach den Vorgaben der UNECE-R83 sowie UNECE-R101. Die Ergebnisse sind in Kapitel 4.2 dargestellt.

Beispielberechnung für CO₂ nach UNECE-R101:

Messwerte Zustand A (33km):

Laufende Zyklusnummer	1	2	3
CO ₂ -Emissionen in g/km	23,28	21,15	32,39

Messwert Zustand B:

Laufende Zyklusnummer	1
CO ₂ -Emissionen in g/km	84,74

Berechnung:

$$M_i = \frac{D_{ovc} \times M_{1i} + D_{av} \times M_{2i}}{D_{ovc} + D_{av}}$$

- M_i - emittierte Masse des Schadstoffs in g/km
- M_{1i} - mittlere emittierte Masse des Schadstoffs in Zustand A in g/km
- M_{2i} - mittlere emittierte Masse des Schadstoffs in Zustand B in g/km
- D_{ovc} - elektrische Reichweite nach OVC-Verfahren
- D_{av} - 25km - Fixwert (durchschnittliche elektrische Reichweite)

$$M_{1CO_2} = \frac{23,28 \frac{\text{g}}{\text{km}} + 21,15 \frac{\text{g}}{\text{km}} + 32,39 \frac{\text{g}}{\text{km}}}{3} = 25,61 \frac{\text{g}}{\text{km}}$$

$$M_{2CO_2} = 84,74 \frac{\text{g}}{\text{km}}$$

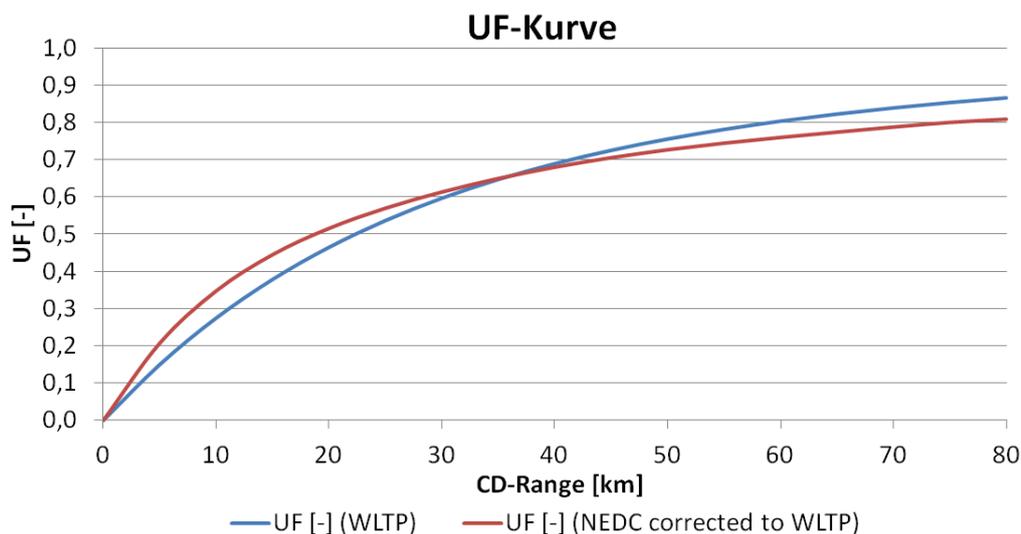
$$D_{ovc} = 33 \text{ km}$$

$$M_{CO_2} = \frac{33 \text{ km} \times 25,61 \frac{\text{g}}{\text{km}} + 25 \text{ km} \times 84,74 \frac{\text{g}}{\text{km}}}{33 \text{ km} + 25 \text{ km}} = 51,1 \frac{\text{g}}{\text{km}}$$

3.2.2 Auswertung - WLTP

Die Auswertung der im WLTP ermittelten Daten erfolgt in Anlehnung an den Richtlinienentwurf ECE/TRANS/180/Add.15¹ und schreitet mit den in der Arbeitsgruppe beschlossenen Entscheidungen fort. Zur faktischen Berechnung der Ergebnisse müssen Ergänzungen zum Richtlinienentwurf in Bezug auf das Thema „UF“ (Utility Factor) gemacht werden. Der UF gibt das Nutzungsverhalten von elektrischem zu verbrennermotorischem Betrieb in Abhängigkeit der Reichweite an (Reale Fahrdaten dienen als Datengrundlage). Notwendig ist dieser Schritt aufgrund der noch nicht abgeschlossenen UF-Diskussion in der Arbeitsgruppe. Die Berechnung der Ergebnisse wird mit zwei verschiedenen UF-„Kurven“ durchgeführt. Diese entstammen den Diskussionen im WLTP-Prozess, insbesondere jedoch aus den Diskussionen der EU-Umsetzung des WLTP-Prozesses und stellen erstens, die „NEFZ auf WLTP korrigierten Werte“ und zweitens die vorläufigen WLTP Werte dar. Abbildung 18 zeigt die zur Berechnung genutzten UF-„Kurven“. Die gewichteten Ergebnisse werden, wie im Richtlinienentwurf beschrieben, berechnet. Eine Korrektur der CO₂- und Kraftstoffverbrauchswerte war aufgrund des erfüllten Kriteriums (in Richtlinienentwurf beschrieben – bezieht sich auf die Ladungsneutralität der Batterie bzw. der Richtung des elektrischen Energieflusses im Test) nicht erforderlich. /7/

Abbildung 18: UF-Kurve



Datenquelle: Proposal - Application and calculation of fractional utility factors (Andreas Eder / 07.2014) /6/
 Analysis of WLTP European utility factor for OVC-HEVS (Andreas Eder / 24.06.2014) /7/

¹ <https://www2.unece.org/wiki/download/attachments/23101723/WLTP-07-04e%20-%20GTR%20Version%2020%2005%202014.docx?api=v2>

Beispielberechnung für CO₂ nach WLTP:

Messwerte CD-Test/volle Batterie (2x WLTC)

Laufende Phasennummer	1	2	3	4	5	6	7	8
CO ₂ -Emissionen in g/km	0,14	0,07	28,81	120,99	0,28	31,55	99,98	128,84
Fahrstrecke in km	3,099	4,757	7,162	8,255	3,099	4,757	7,160	8,253

Messwerte CS-Test/entladene Batterie

Laufende Phasennummer	1	2	3	4
CO ₂ -Emissionen in g/km	78,38	95,27	94,84	128,52
Fahrstrecke in km	3,099	4,757	7,162	8,255

$$UF_i(d_i) = 1 - \exp \left[- \left(\sum_{j=1}^k C_j \times \left(\frac{d_i}{d_n} \right)^j \right) \right] - \sum_{l=1}^{i-1} UF_l$$

z. B. $UF_1(d_1) = 1 - \exp \left[- \left(26,25 \times \left(\frac{3,099 \text{ km}}{800 \text{ km}} \right)^1 + \dots \right) \right] - (0 + \dots)$

$$UF_1(d_1) = 0,096$$

- UF_i - Nutzungsfaktor für Phase i
- d_i - gefahrene Distanz bis zum Ende der Phase i in km
- C_j - j - Koeffizient
- d_n - "Normal-Fahrstrecke" (800 km)
- k - Menge der Terme und Koeffizienten im Exponenten (10)
- i - Anzahl der betrachteten Phasen
- j - Anzahl der betrachteten Terme/Koeffizienten
- $\sum_{l=1}^{i-1} UF_l$ - Summe der berechneten Nutzungsfaktoren bis Phase ($i-1$)

$$M_{CO_2,CD} = \frac{\sum_{j=1}^k (UF_j \times M_{CO_2,CD,j})}{\sum_{j=1}^k UF_j} = \frac{(0,096 \times 0,14 \frac{\text{g}}{\text{km}}) + \dots}{0,096 + \dots} = 50,069 \frac{\text{g}}{\text{km}}$$

$$M_{CO_2,weighted} = \sum_{j=1}^k (UF_j \times M_{CO_2,CD,j}) + (1 - \sum_{j=1}^k UF_j) \times M_{CO_2,CS}$$

$$M_{CO_2,weighted} = \left(0,096 \times 0,14 \frac{\text{g}}{\text{km}} \right) + \dots + (1 - (0,096 + \dots)) \times 104,68 \frac{\text{g}}{\text{km}}$$

$$M_{CO_2,weighted} = 64,59 \frac{\text{g}}{\text{km}}$$

- $M_{CO_2,CD}$ - Emittierte CO_2 -Masse während des CD-Test in g/km
 $M_{CO_2,CD,j}$ - Emittierte CO_2 -Masse während der j-Phase in g/km
 $M_{CO_2,CS}$ - Emittierte CO_2 -Masse während des CS-Test in g/km
 UF_j - Nutzungsfaktor für j-Phase
 j - Index der Phase bis zum Ende des Übergangszyklus n
 k - Index der gefahrenen Phase bis zum Ende des Übergangszyklus n
 $M_{CO_2,weighted}$ - Mit Nutzungsfaktor gewichtete CO_2 -Emissionen

4 Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

In diesem Kapitel sind die ermittelten Ergebnisse für die verschiedenen Tests zunächst tabellarisch und anschließend grafisch dargestellt. Die Ergebnisse werden zunächst einzeln betrachtet.

4.1 Grundvermessung der Batterie

Die nach vollständiger Entladung zur Vollladung notwendige Ladeenergie ist in Tabelle 3 aufgeführt, sowie in Abbildung 19 dargestellt.

Tabelle 3: Ladeenergie

Testtemperatur in °C	Ladeenergie in Wh
20	3098
5	2906
-7	2990

Abbildung 19: Ladeenergie

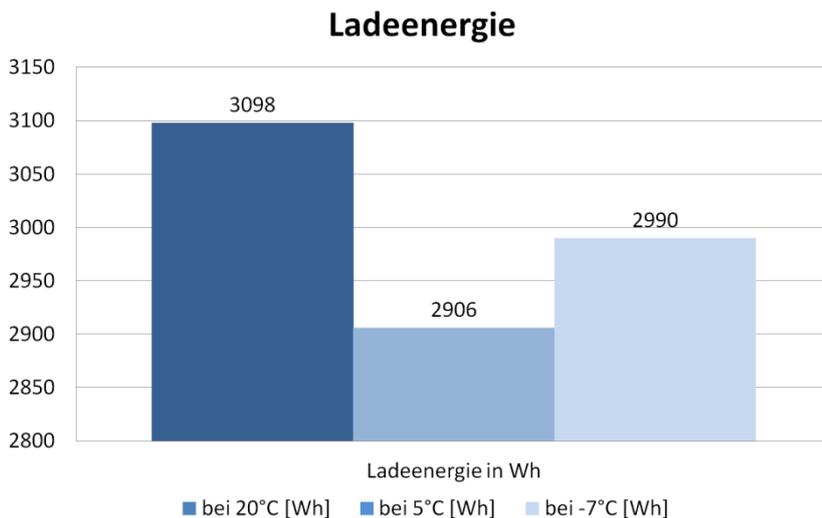


Abbildung 19 zeigt eine Veränderung der notwendigen Ladeenergie bei unterschiedlichen Temperaturen. Die Differenz der gemessenen Ladeenergien ist jedoch mit ca. 0,2kW moderat. Gemessen wurde eine Ladeenergie bei 20°C von ~3,1kW, bei 5°C von ~2,9kW und bei -7°C von ~3,0kW.

4.2 Vermessung nach UNECE-R101

Im Folgenden sind die ausgewerteten Messergebnisse des zweimalig wiederholten Tests nach UNECE-R101 tabellarisch dargestellt (Tabelle 4 und Tabelle 5).

Tabelle 4: Messergebnisse nach UNECE-R101 (Messung 1)

Abgasbestandteil		Zustand A (geladen)	Zustand B (entladen)	Gesamt gewichtet
HC	in mg/km	6,931	15,017	10,416
CH ₄	in mg/km	1,214	2,464	1,753
NMHC	in mg/km	5,858	12,839	8,867
NO _x	in mg/km	0,264	3,161	1,513
NO	in mg/km	0,272	2,361	1,173
HC+NO _x	in mg/km	7,195	18,178	11,929
CO	in mg/km	66,712	169,616	111,068
CO ₂	in g/km	25,608	84,738	51,095
Partikel	in mg/km	0,103	0,408	0,234
Partikelanzahl	in 1/km	2,599E+11	8,601E+11	5,186E+11
Verbrauch				
Kraftstoffverbrauch	in l/100km	1,120	3,702	2,233
Energieverbrauch elektrisch	in Wh/km	88,487	-5,578	47,942
Reichweite				
D _e	in km	22,81		
D _{ovc}	in km	33,00		

Tabelle 5: Messergebnisse nach UNECE-R101 (Messung 2)

Abgasbestandteil		Zustand A (geladen)	Zustand B (entladen)	Gesamt gewichtet
HC	in mg/km	14,886	15,017	14,942
CH ₄	in mg/km	1,713	2,464	2,037
NMHC	in mg/km	13,416	12,839	13,167
NO _x	in mg/km	0,486	3,161	1,639
NO	in mg/km	0,571	2,361	1,343
HC+NO _x	in mg/km	15,372	18,178	16,582
CO	in mg/km	89,863	169,616	124,224
CO ₂	in g/km	26,262	84,738	51,467
Partikel	in mg/km	0,108	0,408	0,237
Partikelanzahl	in 1/km	3,147E+11	8,601E+11	5,498E+11
Verbrauch				
Kraftstoffverbrauch	in l/100km	1,151	3,702	2,251
Energieverbrauch elektrisch	in Wh/km	88,181	-5,578	47,768
Reichweite				
D _e	in km	23,15		
D _{ovc}	in km	33,00		

Die Eingangsmessung des Toyota Prius Plug-In Hybrid nach Vorschrift UNECE-R101 verlief positiv. Die in der ECE-R83: Anhang 14, Punkt 1.4 geforderte Bedingung: „Die bei der Emissionsprüfung ermittelten Werte dürfen unter allen in dieser Regelung angegebenen Prüfbedingungen die Grenzwerte nicht überschreiten.“ wird eingehalten. Das Fahrzeug hält in allen notwendigen Zyklen die vorgeschriebenen Grenzwerte ein. Somit wies auch das Gesamtergebnis keine Überschreitung eines Grenzwertes auf. Der ermittelte CO₂-Ausstoß und der Verbrauch entspricht in etwa den vom Hersteller angegebenen Werten, die durch die Typprüfung bestätigt sind (Herstellerangaben: CO₂: 49 g/km Verbrauch: 2,1 l/100km).

Anmerkung zu den Messergebnissen: Wie oben gezeigt sind die Messergebnisse in Bezug auf NO_x und NO teilweise widersprüchlich. Bei genauerer Betrachtung fällt auf, dass dies nur zutrifft, wenn überwiegend elektrisch gefahren wird. Da im reinen Elektrobetrieb kein Abgas anfällt sind die Emissionen faktisch Null. Die Messung unterliegt jedoch einem Rauschen. In diesem Fall ist es möglich größere Werte für NO als für NO_x zu erfassen.

Die Fahrzustände im NEFZ (Zustand A und B: rein elektrisch, Mischbetrieb und verbrennermotorisch) sind in Abbildung 20 und Abbildung 21 vereinfacht dargestellt.

Abbildung 20: Vereinfachte Darstellung der Antriebsart im NEFZ – Zustand A

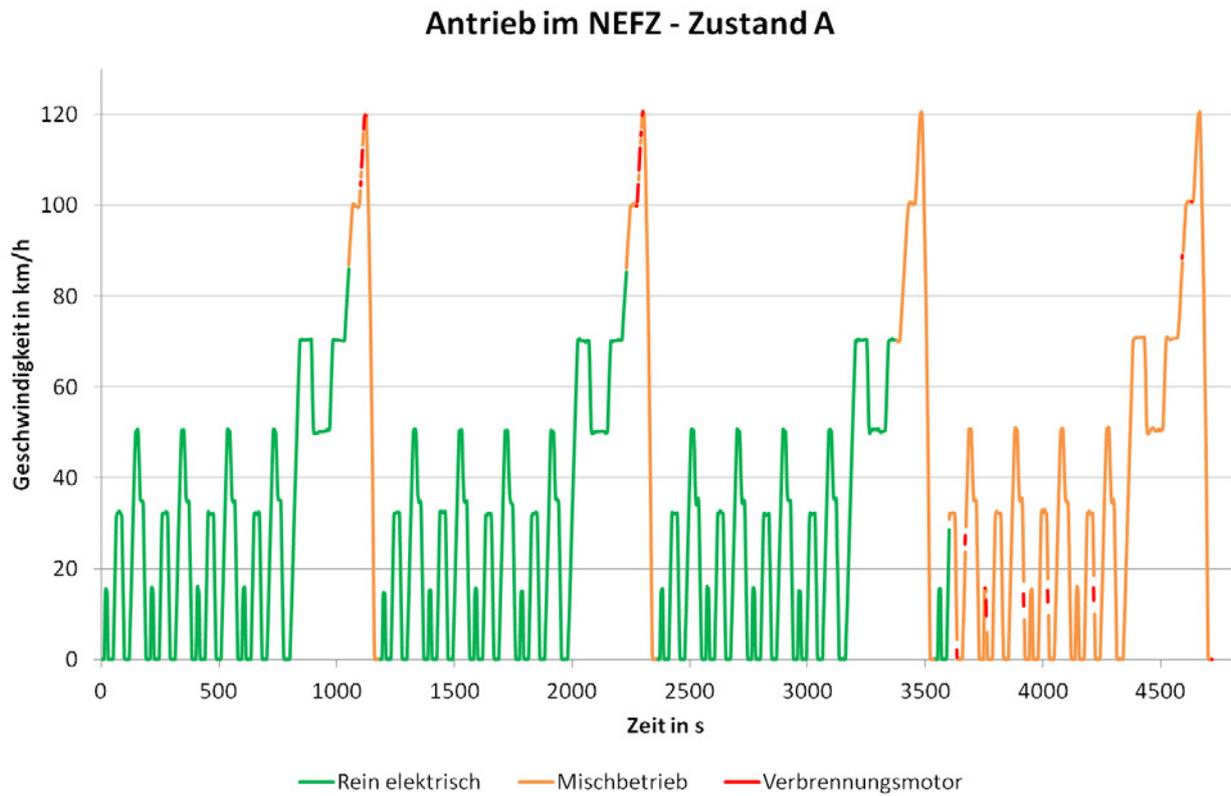
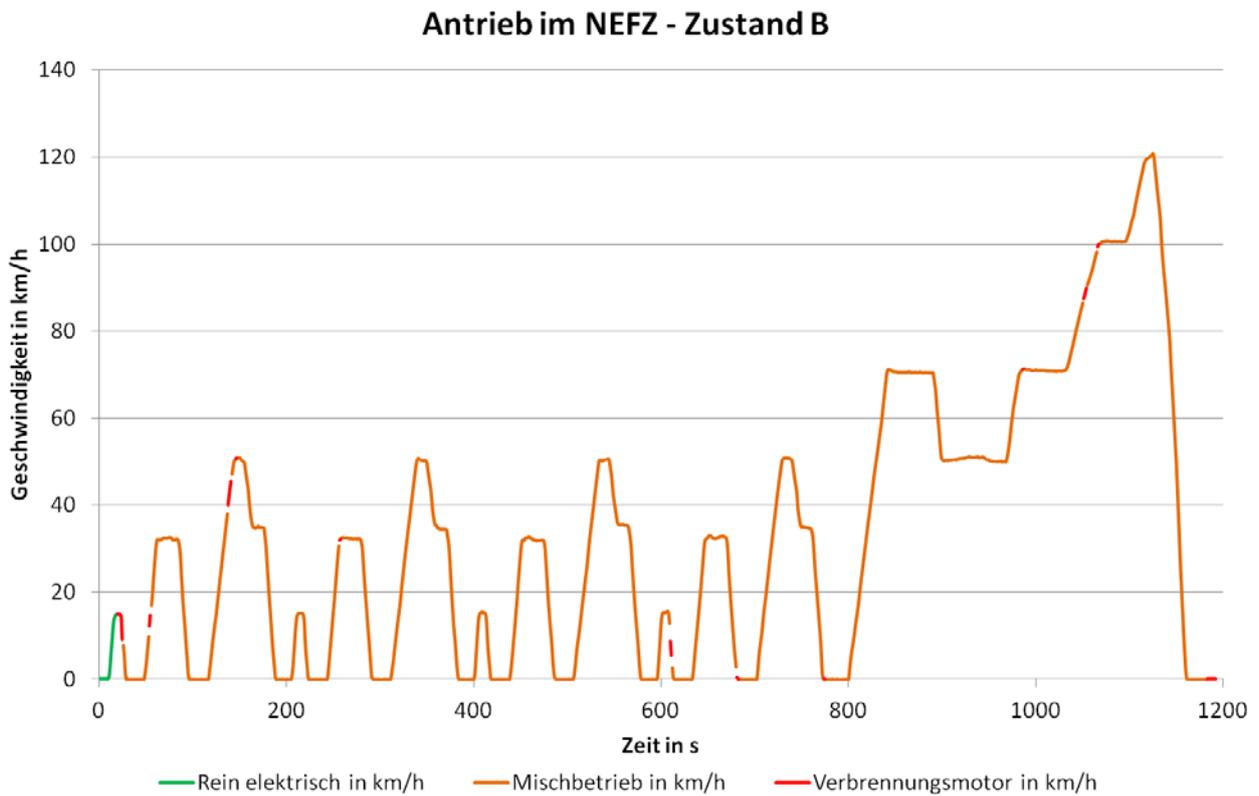


Abbildung 21: Vereinfachte Darstellung der Antriebsart im NEFZ – Zustand B



4.3 Vermessung nach WLTP (GTR Entwurf)

Tabelle 6 und Tabelle 7 zeigen die Ergebnisse der WLTC-Messung, ausgewertet mit UF-Kurve „WLTP“. Die Messergebnisse sind entgegen der WLTP-Richtlinie in mg/km statt in g/km angegeben.

Tabelle 6: Messergebnisse nach WLTP, UF-Kurve: „WLTP“ (Messung 1)

WLTP combined results			depleting results (geladen)			sustaining results (entladen)		
HC weighted	in mg/km	6,0967	HC	in mg/km	6,0326	HC	in mg/km	6,2737
CH₄ weighted	in mg/km	0,6860	CH₄	in mg/km	0,6599	CH₄	in mg/km	0,7579
NMHC weighted	in mg/km	5,4905	NMHC	in mg/km	5,4494	NMHC	in mg/km	5,6039
NO_x weighted	in mg/km	1,6385	NO_x	in mg/km	0,4200	NO_x	in mg/km	5,0039
NO weighted	in mg/km	1,7747	NO	in mg/km	0,6614	NO	in mg/km	4,8491
CO weighted	in mg/km	99,9647	CO	in mg/km	82,6490	CO	in mg/km	147,7848
FC weighted	in l/100km	2,78	FC	in l/100km	2,16	FC	in l/100km	4,51
CO₂ weighted	in g/km	64,59	CO₂	in g/km	50,07	CO₂	in g/km	104,68
EC weighted	in Wh/km	61						
ECEAER	in Wh/km	165	ECCD	in Wh/km	83			
			NEC	in %	-0,4			
AER	in km	10						
EAER	in km	17	UF	in -	0,734			
RCDC	in km	47						
RCDA	in km	33						
EAC	in Wh	2736						
WLTPCity depleting Results								
AERcity	in km	21						
EACcity	in Wh	2848						

Tabelle 7: Messergebnisse nach WLTP, UF-Kurve: „WLTP“ (Messung 2)

WLTP combined Results			depleting Results (geladen)			sustaining Results (entladen)		
HC weighted	in mg/km	5,7271	HC	in mg/km	5,5966	HC	in mg/km	6,0877
CH₄ weighted	in mg/km	0,6211	CH₄	in mg/km	0,6195	CH₄	in mg/km	0,6256
NMHC weighted	in mg/km	5,1781	NMHC	in mg/km	5,0491	NMHC	in mg/km	5,5348
NO_x weighted	in mg/km	1,7001	NO_x	in mg/km	0,6034	NO_x	in mg/km	4,7301
NO weighted	in mg/km	1,5047	NO	in mg/km	0,3502	NO	in mg/km	4,6947
CO weighted	in mg/km	87,6202	CO	in mg/km	74,1090	CO	in mg/km	124,949 2
FC weighted	in l/100km	2,78	FC	in l/100km	2,16	FC	in l/100km	4,50
CO₂ weighted	in g/km	64,66	CO₂	in g/km	50,22	CO₂	in g/km	104,57
EC weighted	in Wh/km	60						
ECEAER	in Wh/km	164	ECCD	in Wh/km	81			
			NEC	in %	0,3			
AER	in km	10						
EAER	in km	16	UF	in -	0,734			
RCDC	in km	47						
RCDA	in km	32						
EAC	in Wh	2698						
WLTPCity depleting Results								
AERcity	in km	22						
EACcity	in Wh	2862						

Die Vermessung des Toyota Prius Plug-In Hybrid nach WLTP zeigt, dass das Fahrzeug in der Gesamtbetrachtung die Grenzwerte nach 715/2007, EURO5 auch im WLTC nach WLTP geprüft einhält.

Ein gewichtetes Ergebnis für PN (Particle Number – Partikel Anzahl) ist zurzeit nach WLTP nicht vorgesehen.

Die Fahrzustände im WLTC (CD-Test und CS-Test: rein elektrisch, Mischbetrieb und verbrennermotorisch) sind in Abbildung 22 und Abbildung 23 vereinfacht dargestellt.

Abbildung 22: Vereinfachte Darstellung der Antriebsart im WLTC – CD-Test

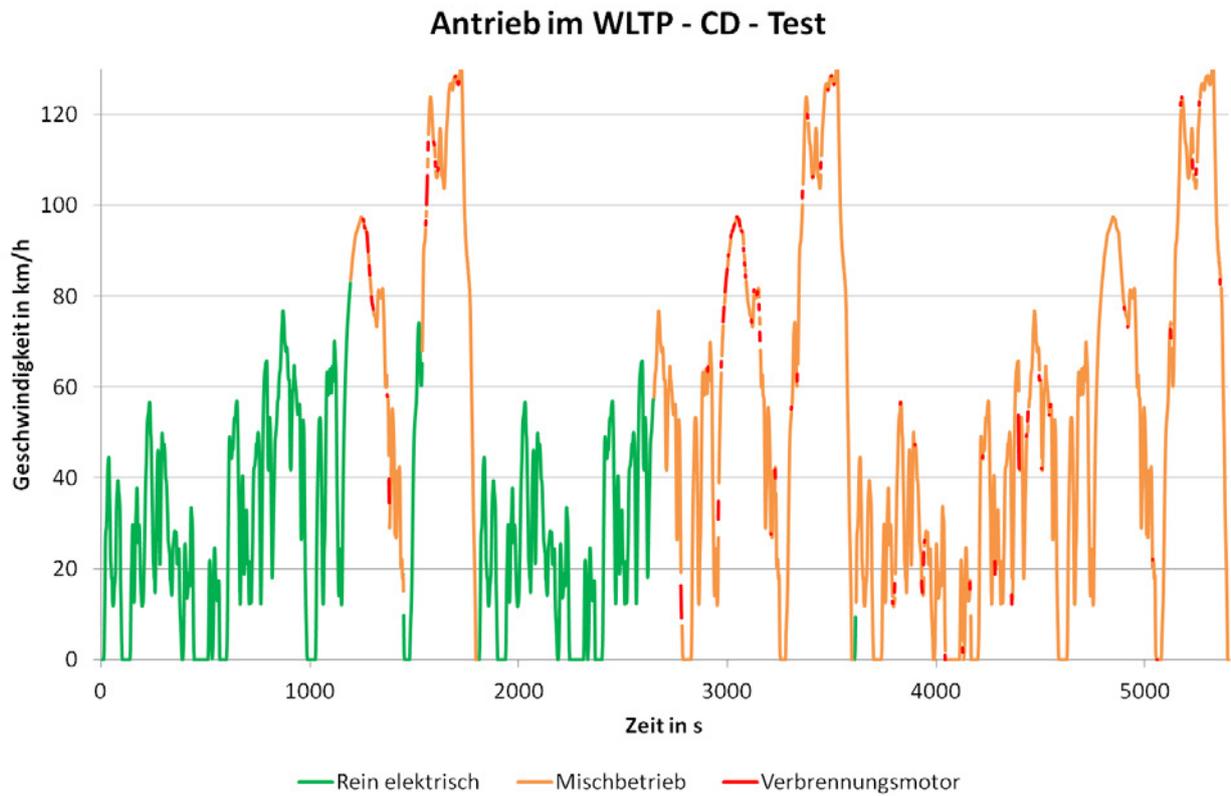
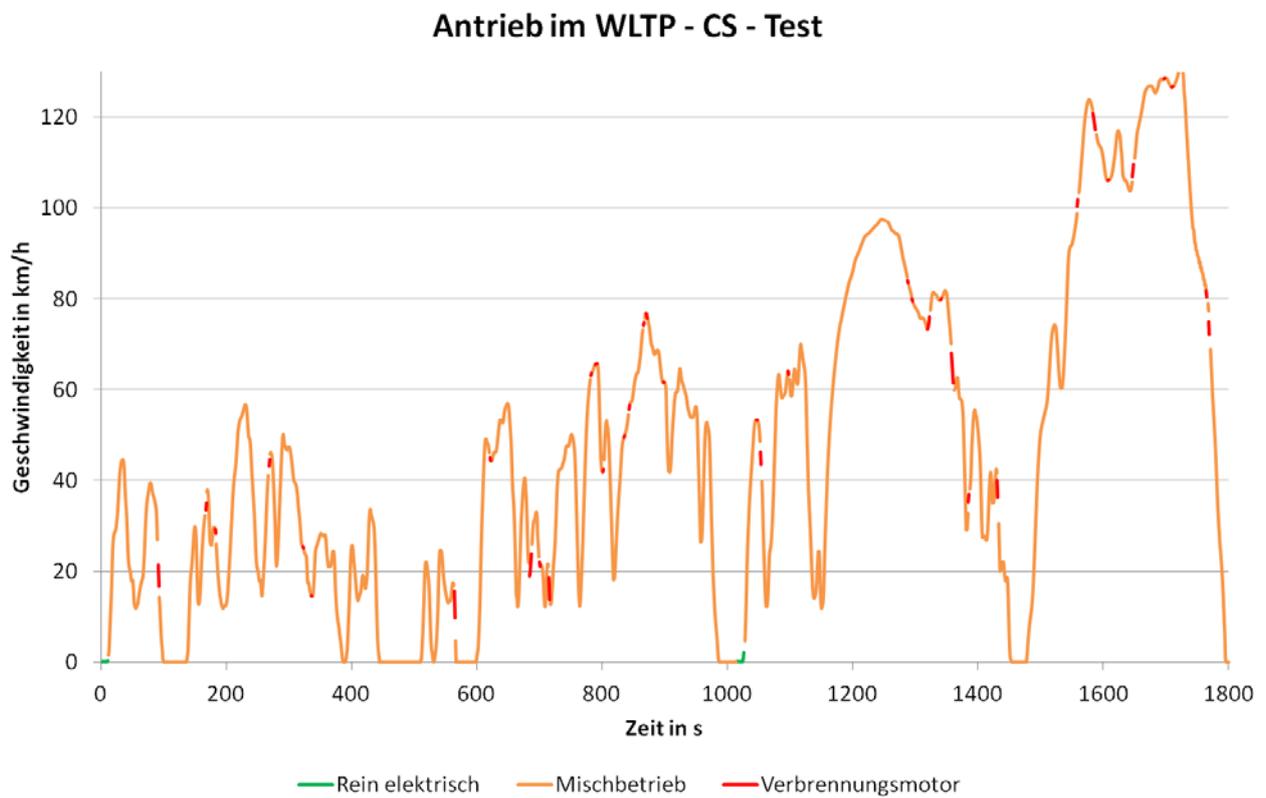


Abbildung 23: Vereinfachte Darstellung der Antriebsart im WLTC - CS-Test



4.4 Real Driving Emissions (RDE)

Die Auswertung der RDE-Messungen wird auf Grundlage der Modaldaten durchgeführt. Die dargestellten Ergebnisse sind die aus den sekundlichen Messdaten ermittelten Werte.

Eine Auswertung mit Emroad (MAW) vom JRC (Joint Research Center) ist zurzeit noch nicht möglich. Die Anwendung der MAW-Methode (Moving Avaraging Windows) steht für Hybrid-Fahrzeuge noch nicht zur Verfügung. Diese ist laut JRC noch in der Entwicklung.

Eine Auswertung mit dem Clear-Tool (SPF – standardized power frequency) der TU-Graz ist ebenfalls aufgrund der noch nicht zur Verfügung stehenden Version für Hybrid-Fahrzeuge nicht möglich.

Dargestellt ist ein beispielhafter Verlauf einer Messfahrt (Geschwindigkeit, CO₂ und elektrische Leistungsentnahme, sowie CO₂ und elektrische Leistung kumuliert) für die Randbedingungen „vollständig geladen“ (Abbildung 24 und Abbildung 25) und „entladen“ (Abbildung 26 und Abbildung 27). Anschließend sind die Ergebnisse der 3 Messfahrten mit vollständig geladener Batterie und der 3 Messfahrten mit entladener Batterie (Tabelle 8 und Tabelle 9) tabellarisch dargestellt. Nachfolgend sind die Ergebnisse grafisch abgebildet (Abbildung 28 bis Abbildung 31).

Abbildung 24: Beispielverlauf PEMS mit vollständig geladener Batterie (1)

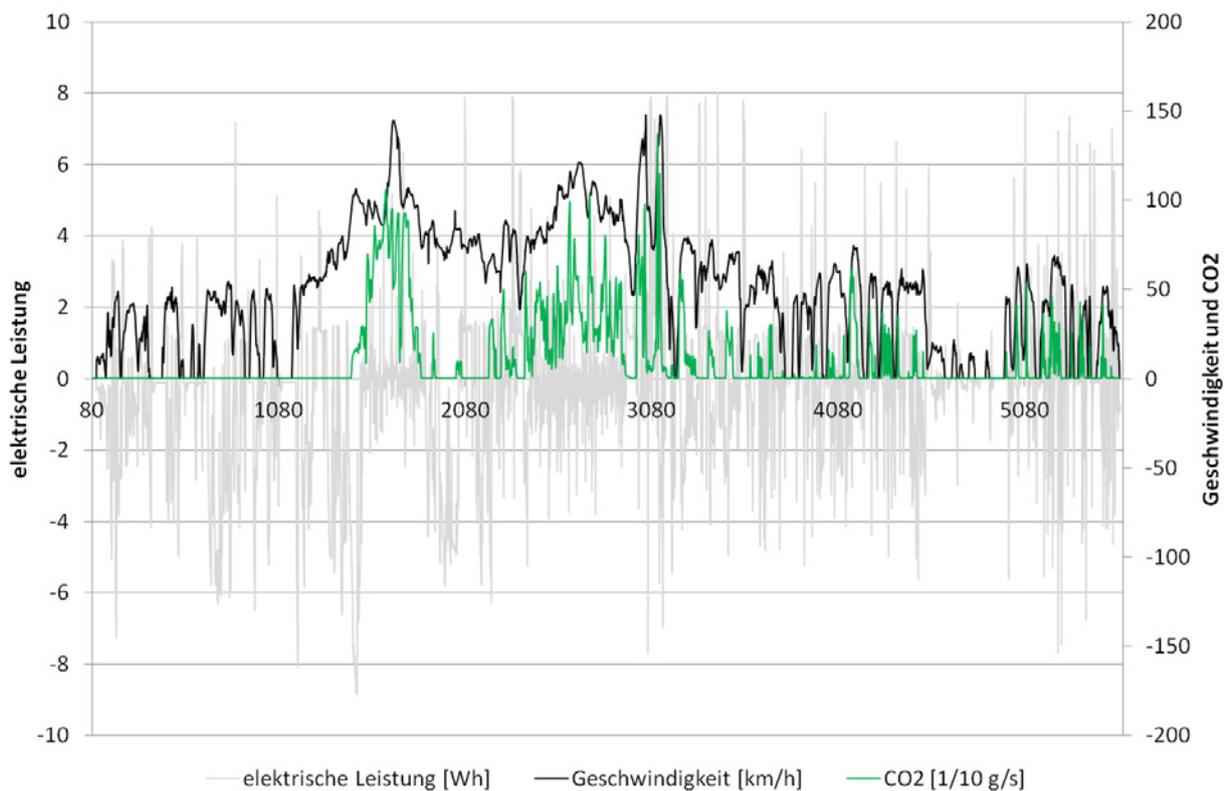


Abbildung 25: Beispielverlauf PEMS mit vollständig geladener Batterie (2)

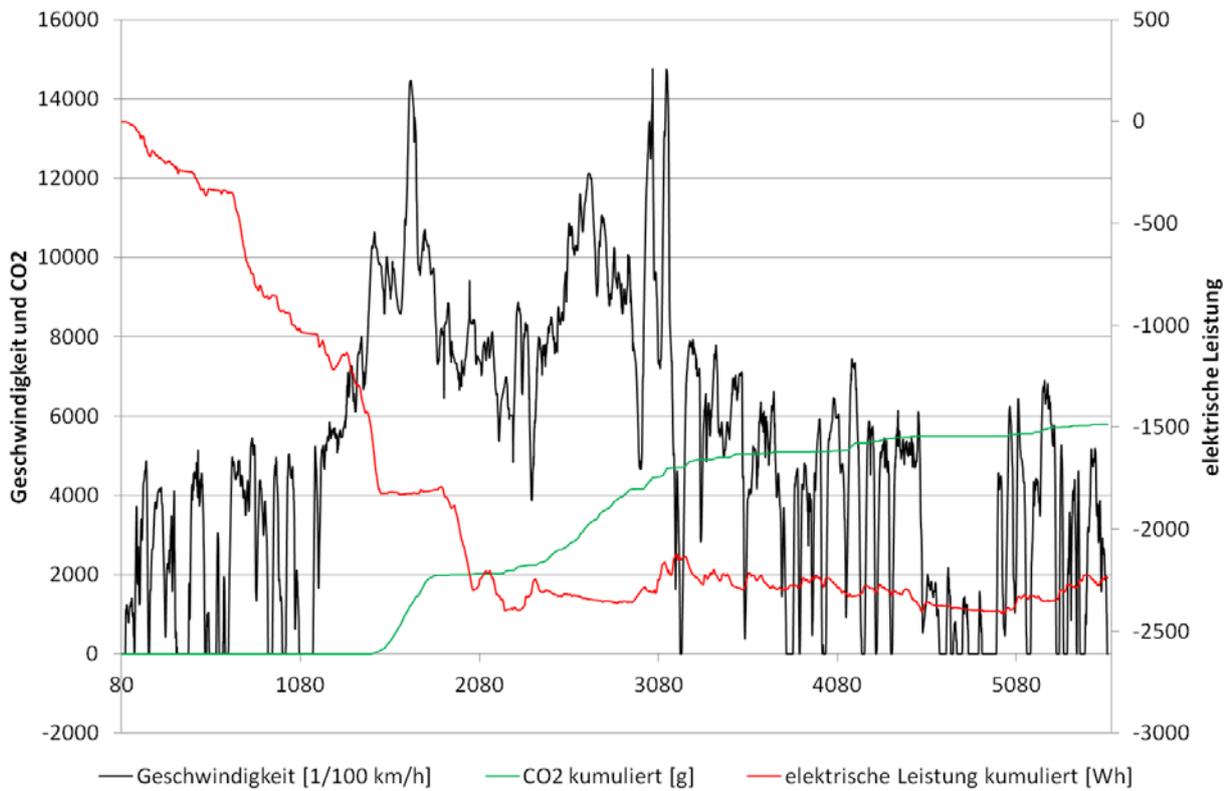


Abbildung 26: Beispielverlauf PEMS mit entladener Batterie (1)

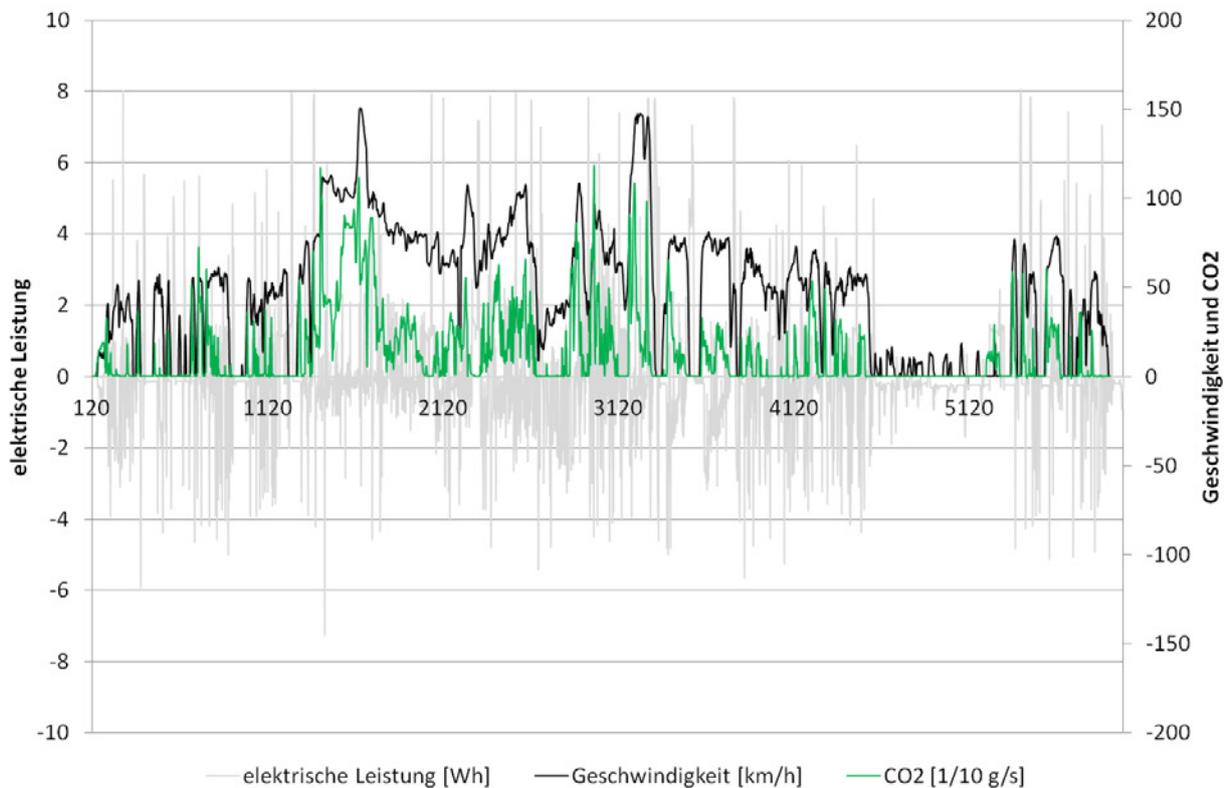


Abbildung 27: Beispielverlauf PEMS mit entladener Batterie (2)

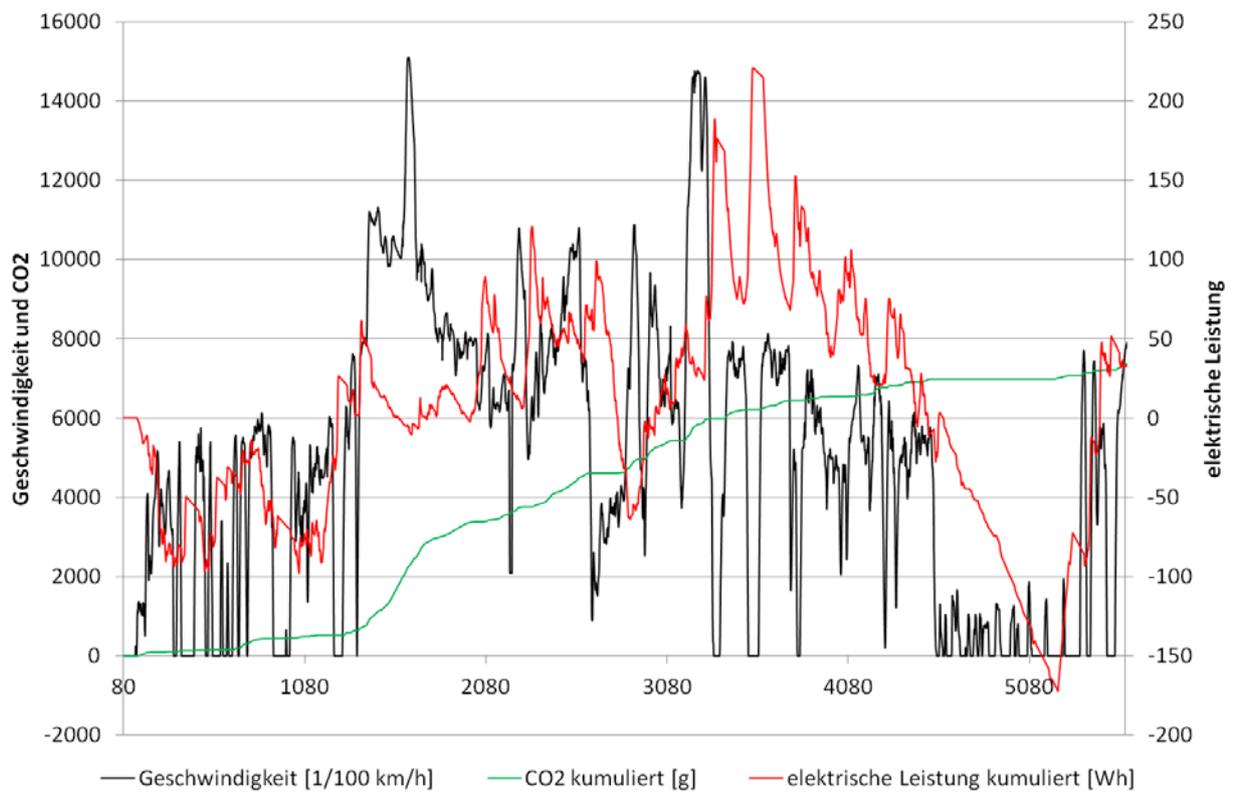


Tabelle 8: PEMS-Ergebnisse – Abgasemissionen

Messgröße		vollständig geladene Batterie			entladene Batterie		
		Messung 1	Messung 2	Messung 3	Messung 1	Messung 2	Messung 3
HC	in g/km	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
CH ₄	in g/km	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NMHC	in g/km	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
NO _x	in g/km	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
NO ₂	in g/km	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO	in g/km	0,13	0,10	0,12	0,15	0,16	0,16

Tabelle 9: PEMS-Ergebnisse – Kraftstoff- und elektrischer Energieverbrauch

Messgröße		vollständig geladene Batterie			entladene Batterie		
		Messung 1	Messung 2	Messung 3	Messung 1	Messung 2	Messung 3
CO ₂	in g/km	79,53	73,04	78,46	94,34	94,86	94,68
Kraftstoffverbrauch	in l/100km	3,20	2,93	3,16	3,80	3,82	3,81
Elektrische Leistungsentnahme	in Wh/km	28,81	28,79	28,77	-1,05	-1,88	0,04

Abbildung 28: CO-PEMS

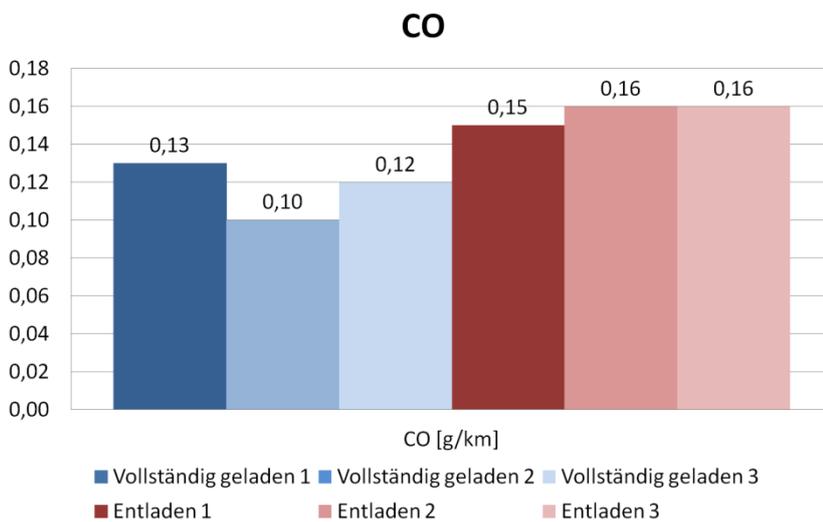


Abbildung 29: CO₂-PEMS

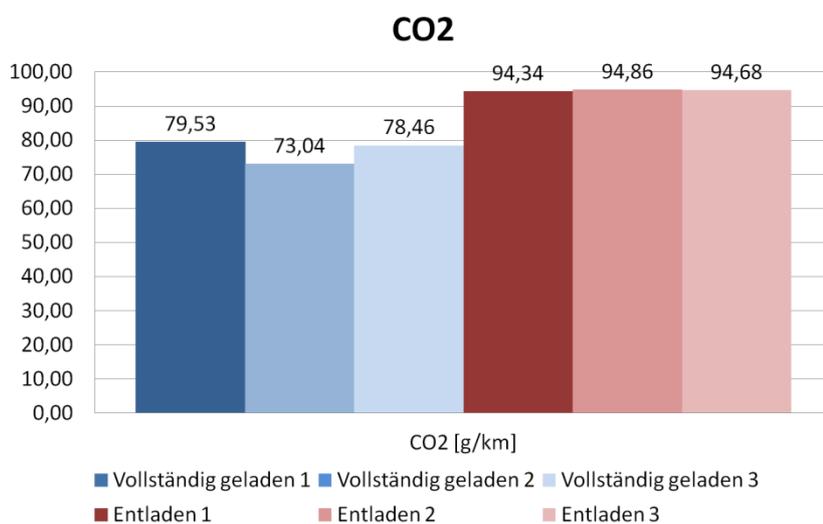


Abbildung 30: Kraftstoffverbrauch-PEMS

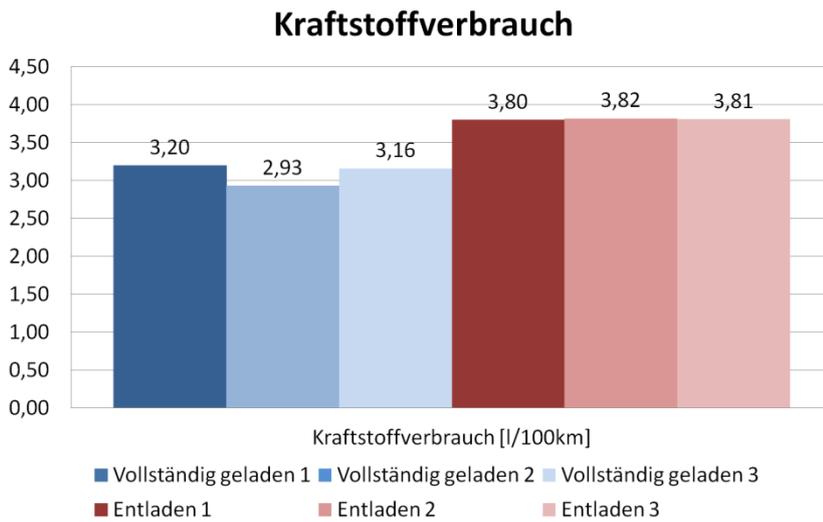
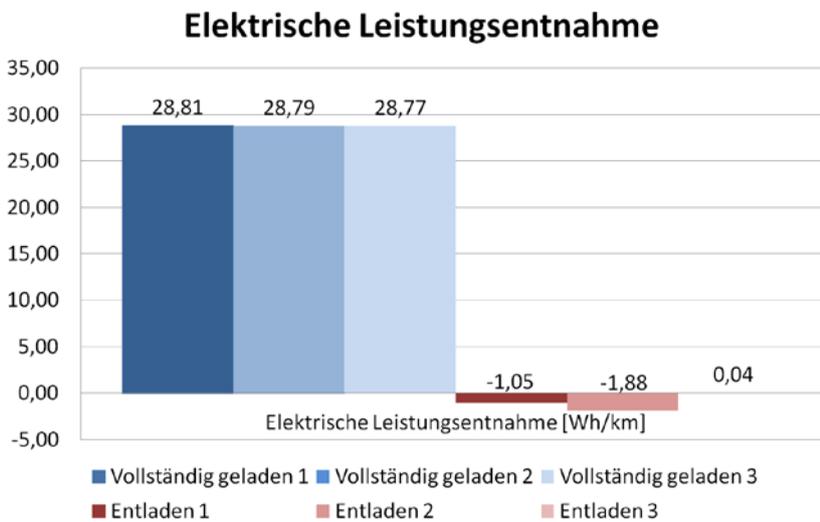


Abbildung 31: Elektrische Leistungsentnahme-PEMS



Die Abbildungen zeigen die negative Korrelation von CO, CO₂, Kraftstoff- und elektrischem Energieverbrauch auf. Insgesamt steigt CO₂, CO und der Kraftstoffverbrauch in der Messung mit leerer Batterie an. Dazu passend sinkt die Entnahme von elektrischer Energie aus der Batterie auf ein Minimum (Nahe 0). In der Messung mit vollständig geladener Batterie werden über die gesamte PEMS-Fahrt ca. 29Wh/km aus dem Batterie entnommen wobei bilanziell die Entnahme ca. in den ersten 30 Minuten erfolgt.

Auf die Darstellung von NO_x, HC und NMHC wird aufgrund der sehr kleinen Messwerte (Nahe 0) verzichtet. Hier können auch in der Betrachtung der Modalwerte keine Auffälligkeiten festgestellt werden.

Der relativ große Temperaturbereich während der Messungen (ca. 18°C – 32°C) hat in der Praxis keine Relevanz. Dies liegt vermutlich daran, dass sowohl 18°C als auch 32°C noch keine Extremtemperaturen darstellen, die mit drastischen Eingriffen in die Motorsteuerung kompensiert werden müssen. Des Weiteren ist der Temperatureinfluss im Vergleich zum Einfluss der Fahrweise und Verkehrssituation, etc. gering.

Die Fahrzustände im RDE-Test (rein elektrisch, Mischbetrieb und verbrennermotorisch) sind in Abbildung 32 und Abbildung 33 vereinfacht dargestellt.

Abbildung 32: Vereinfachte Darstellung der Antriebsart im RDE-Test – geladen

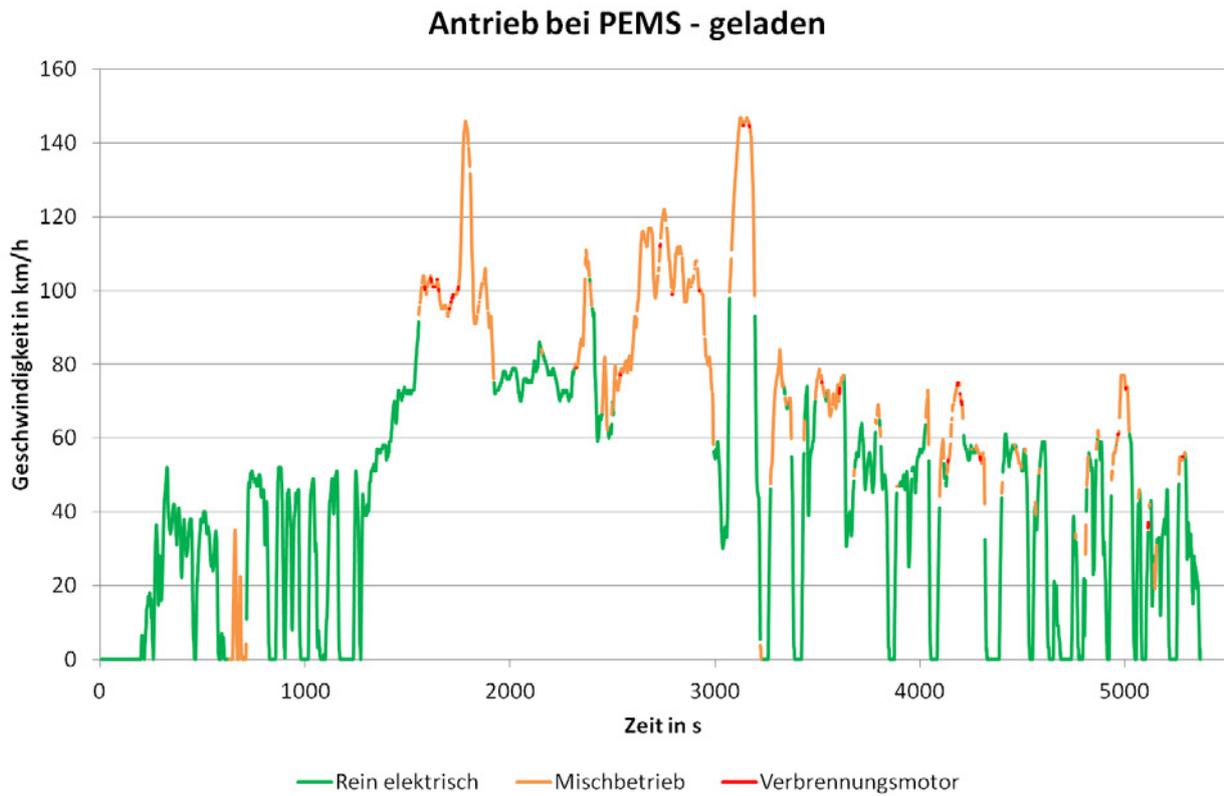
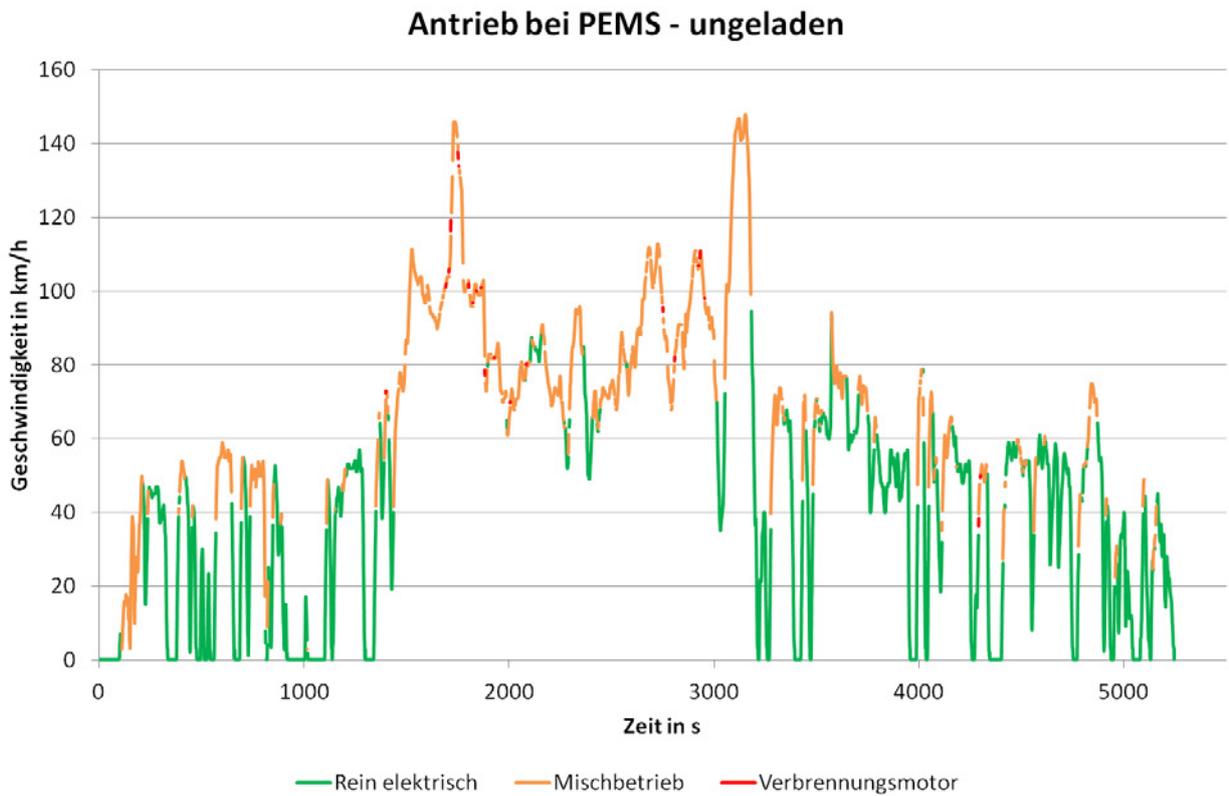


Abbildung 33: Vereinfachte Darstellung der Antriebsart im RDE-Test – ungeladen



4.5 Vergleich der Messungen nach UNECE-R101 und WLTP

Tabelle 10 und Tabelle 11 zeigt die bereits im Einzelnen vorher diskutierten Ergebnisse nach UNECE-R101 und WLTP im Vergleich. Die grafische Darstellung erfolgt in Abbildung 34 bis Abbildung 43.

Tabelle 10: Vergleich UNECE-R101 mit WLTP der Abgasemissionen

Messgröße		UNECE-R101	UNECE-R101	WLTP	WLTP
		Messung 1	Messung 2	UF:WLTP Messung 1	UF:WLTP Messung 2
HC	in mg/km	10,416	14,942	6,097	5,727
CH ₄	in mg/km	1,753	2,037	0,686	0,621
NMHC	in mg/km	8,867	13,167	5,491	5,178
NO _x	in mg/km	1,513	1,639	1,639	1,700
NO	in mg/km	1,173	1,343	1,775	1,505
CO	in mg/km	111,068	124,224	99,965	87,620

Tabelle 11: Vergleich UNECE-R101 mit WLTP der gewichten Verbräuche und der Reichweite

Messgröße		UNECE-R101	UNECE-R101	WLTP	WLTP
		Messung 1	Messung 2	UF:WLTP Messung 1	UF:WLTP Messung 2
CO ₂	in g/km	51,095	51,467	64,59	64,66
Kraftstoff- verbrauch	in l/100km	2,233	2,251	2,78	2,78
Energie- verbrauch elektrisch	in Wh/km	47,942	47,768	61,000	60,000
Elektrische Reichweite bzw. rein elektrische Reichweite (WLTP)	in km	22,81	23,15	10,00	10,00

Abbildung 34: Vgl. UNECE-R101 und WLTP – HC

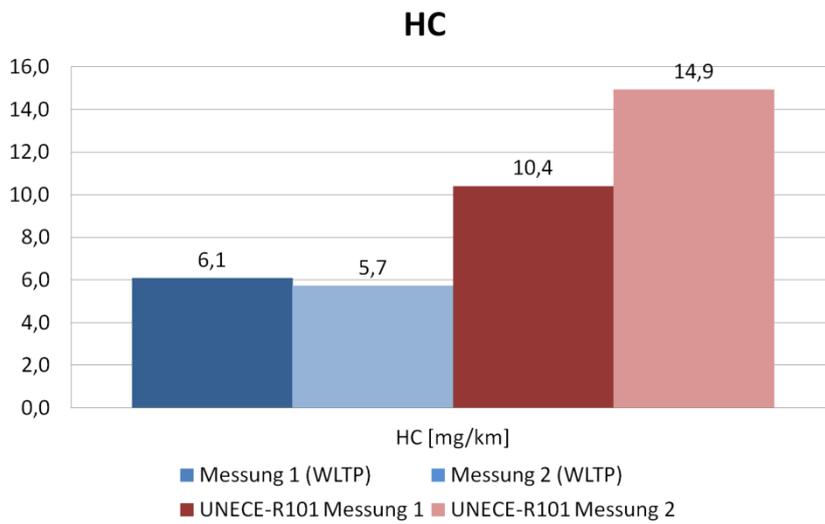


Abbildung 35: Vgl. UNECE-R101 und WLTP – CH₄

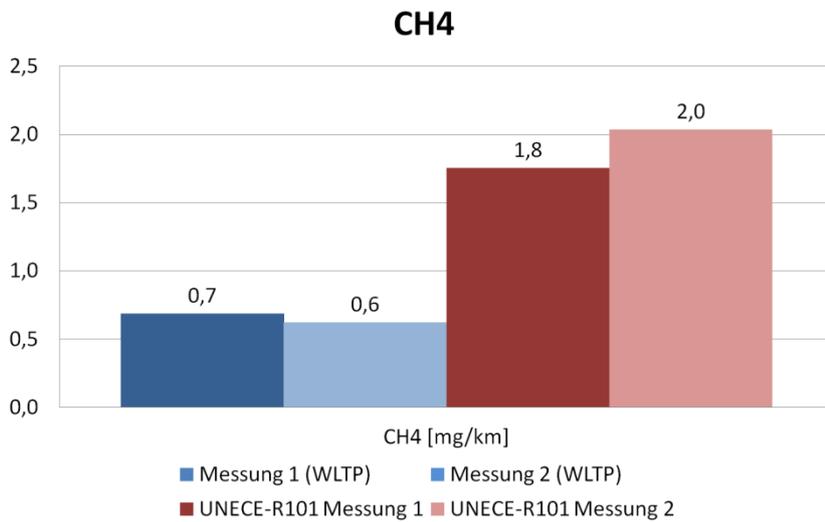


Abbildung 36: Vgl. UNECE-R101 und WLTP – NMHC

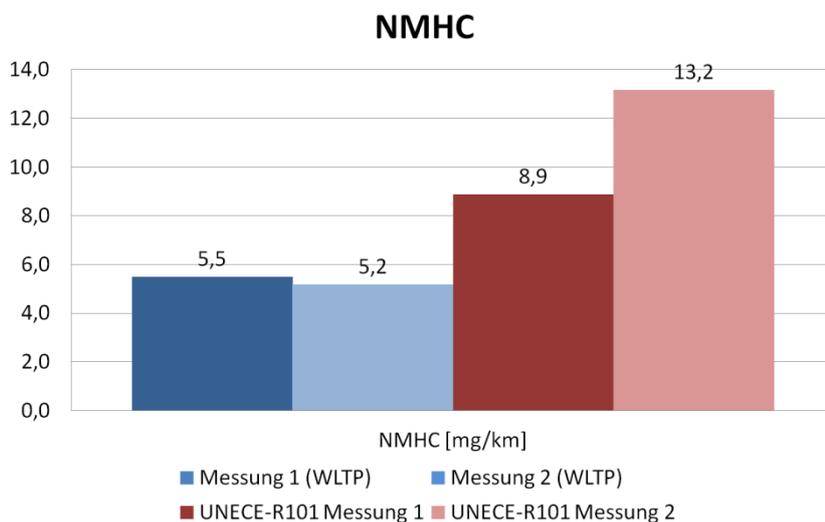


Abbildung 37: Vgl. UNECE-R101 und WLTP - NO_x

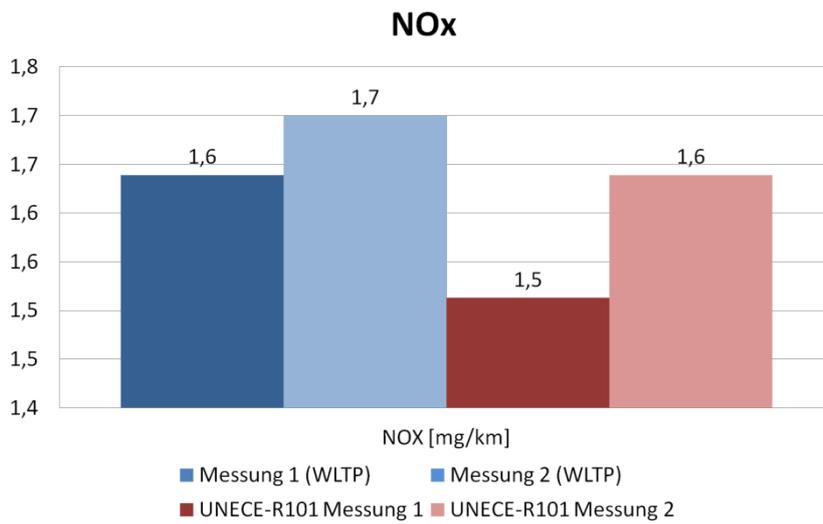


Abbildung 38: Vgl. UNECE-R101 und WLTP – NO

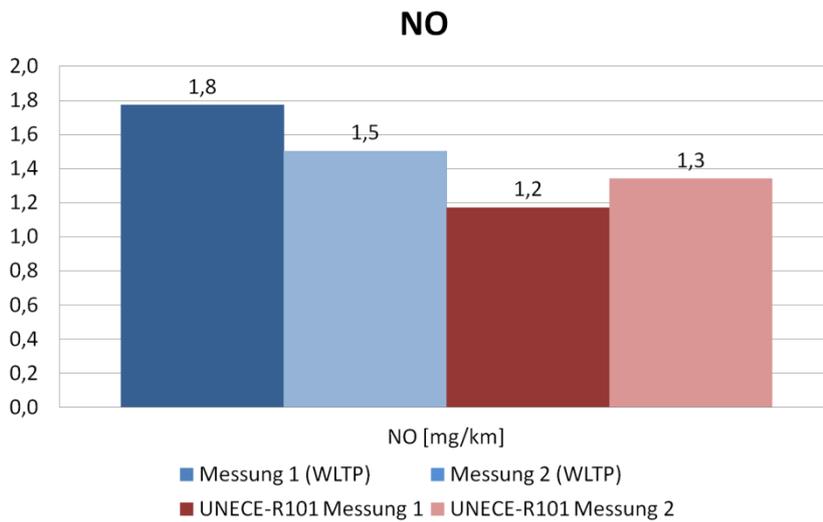


Abbildung 39: Vgl. UNECE-R101 und WLTP – CO

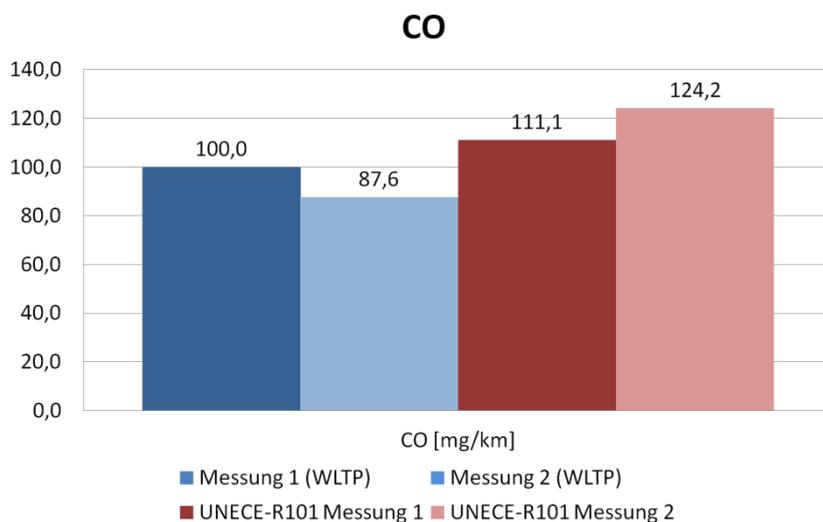


Abbildung 40: Vgl. UNECE-R101 und WLTP – Gewichtete CO₂-Emissionen

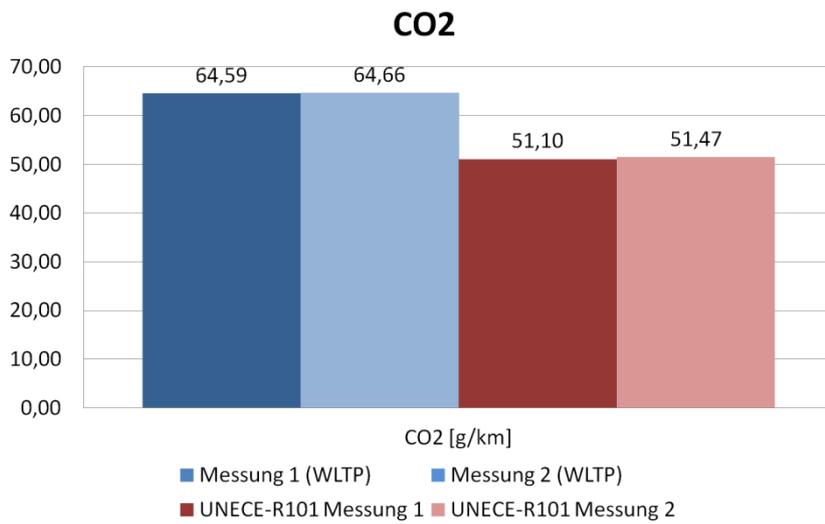


Abbildung 41: Vgl. UNECE-R101 und WLTP – Gewichteter Kraftstoffverbrauch

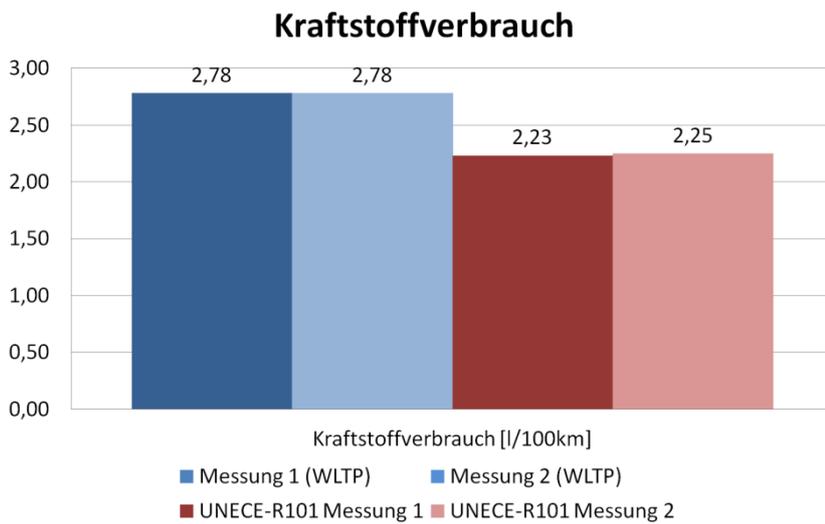


Abbildung 42: Vgl. UNECE-R101 und WLTP – Gewichteter Energieverbrauch (elektrisch)

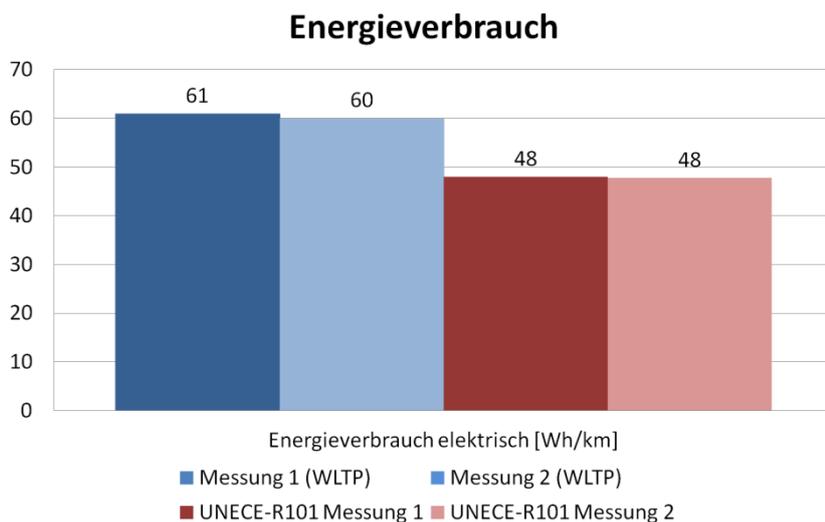
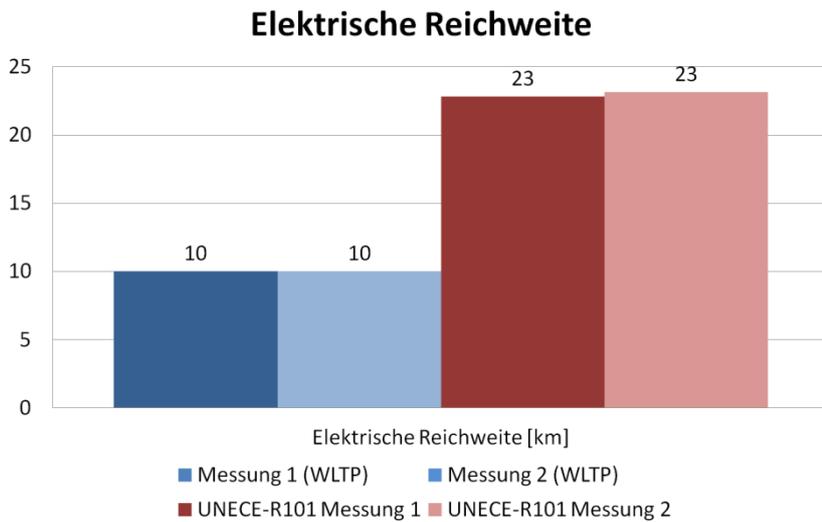


Abbildung 43: Vgl. UNECE-R101 und WLTP – Elektrische Reichweite (UNECE) und rein elektrische Reichweite (WLTP)



Der Vergleich der Ergebnisse der Abgasemissionsmessung nach UNECE-R101 und WLTP zeigt Unterschiede auf. Allgemein sinken die Abgasemissionen HC, CH₄, NMHC und CO nach WLTP ab. Auch die elektrische Reichweite sinkt. Diese deutliche Reduktion der Reichweite ist auf die unterschiedlichen Ermittlungsmethoden zurückzuführen. Im Gegenzug steigen die Abgasemissionen NO_x, NO und CO₂ sowie der Kraftstoffverbrauch und der elektrische Energieverbrauch an. Hervorzuheben ist, dass die Änderung der Werte nicht nur durch den geänderten Fahrzyklus, sondern auch durch die geänderte Vorgehensweise und Berechnung zustande kommen. Der Vergleich bezieht sich ausschließlich auf die faktisch ermittelten Endergebnisse der jeweiligen Prüfvorschrift (ohne Betrachtung/Berücksichtigung der Ermittlungsmethoden).

4.6 Vergleich der Messungen nach WLTP bei verschiedenen Temperaturen

In Tabelle 12 sind die WLTP-Ergebnisse der Schadstoffkomponenten unter dem Einfluss verschiedener Umgebungs- bzw. Testtemperaturen dargestellt. Anschließend sind in Tabelle 13 die ermittelten Reichweiten und Kraftstoffverbräuche aufgeführt. Die Abbildung 44 bis Abbildung 48 zeigen die Veränderungen im Kraftstoff- sowie elektrischem Energieverbrauch und der Reichweite auf.

Betrachtung der Schadstoffe:

Tabelle 12: Emissionen ermittelt mit WLTP bei verschiedenen Temperaturen

Emissionen ermittelt mit WLTP bei verschiedenen Temperaturen							
		20°C Messung 1	20°C Messung 2	5°C Messung 1	5°C Messung 2	-7°C Messung 1	-7°C Messung 2
HC weighted	in mg/km	6,0967	5,7271	30,6287	20,6566	75,2488	51,9413
CH₄ weighted	in mg/km	0,6860	0,6211	1,2382	1,1361	3,2724	2,6097
NMHC weighted	in mg/km	5,4905	5,1781	29,5344	19,6675	72,3622	49,6380
NO_x weighted	in mg/km	1,6385	1,7001	2,5155	2,1425	1,6379	3,0900
NO weighted	in mg/km	1,7747	1,5047	1,5804	2,2038	1,6785	2,7525
CO weighted	in mg/km	99,9647	87,6202	158,3234	136,8223	289,8844	255,4308

Tabelle 13: Reichweite und Kraftstoffverbrauch ermittelt mit WLTP bei verschiedenen Temperaturen

Reichweite und Kraftstoffverbrauch ermittelt mit WLTP bei verschiedenen Temperaturen							
		20°C Messung 1	20°C Messung 2	5°C Messung 1	5°C Messung 2	-7°C Messung 1	-7°C Messung 2
FC weighted	in l/100km	2,78	2,78	3,32	3,36	4,10	4,07
CO₂ weighted	in g/km	64,59	64,66	77,20	76,87	93,56	92,92
EC weighted	in Wh/km	61	60	60	59	64	62
ECEAER	in Wh/km	165	164	174	175	210	202
AER	in km	10	10	8	8	0	0
EAER	in km	17	16	16	16	13	14

Abbildung 44: Temperatureinfluss - FC weighted

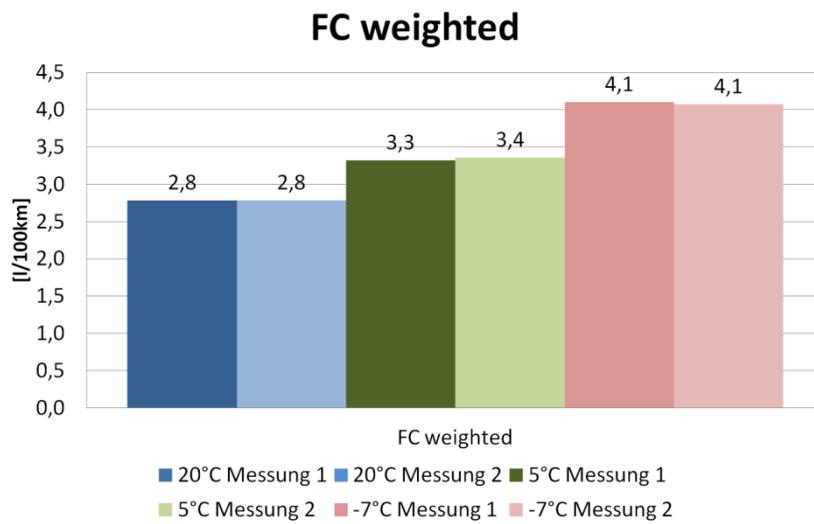


Abbildung 45: Temperatureinfluss - CO₂ weighted

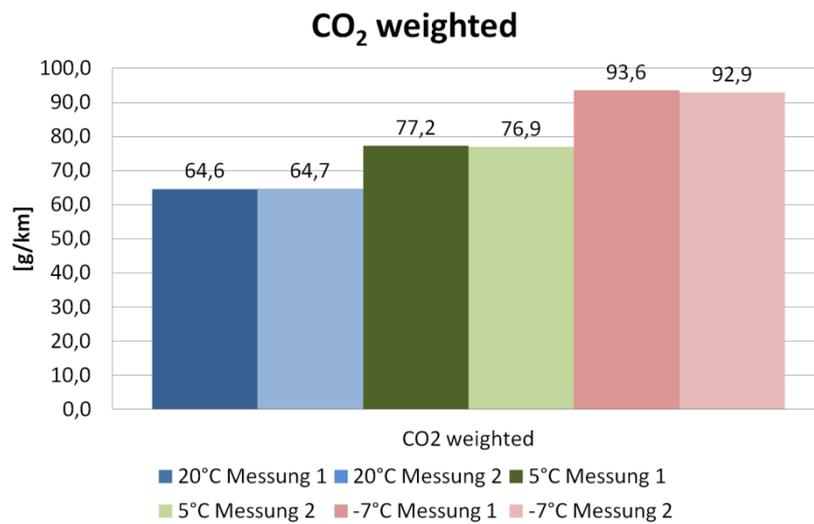


Abbildung 46: Temperatureinfluss - ECEAER

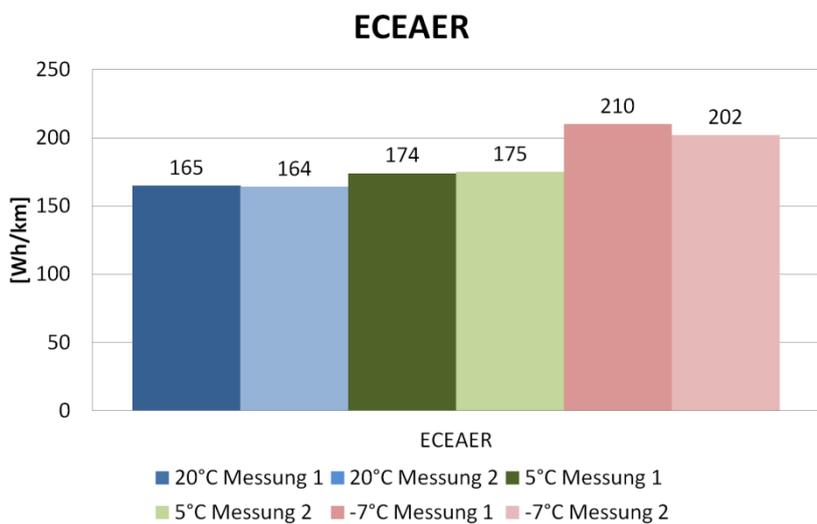


Abbildung 47: Temperatureinfluss - AER

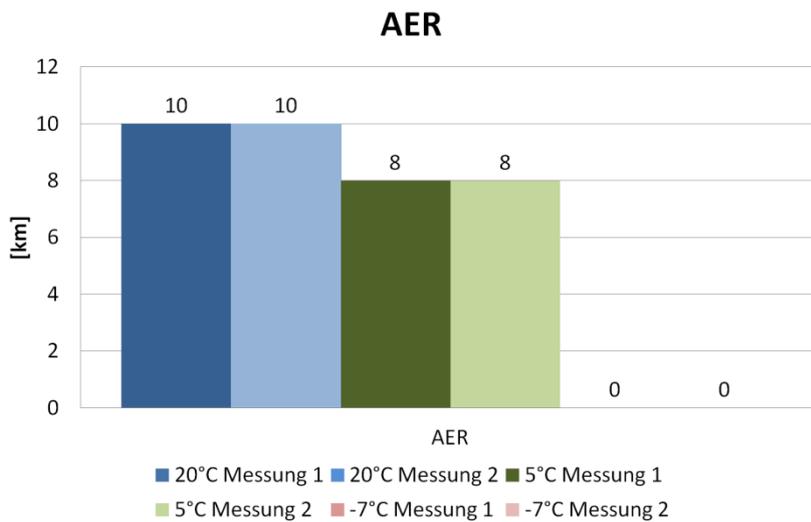
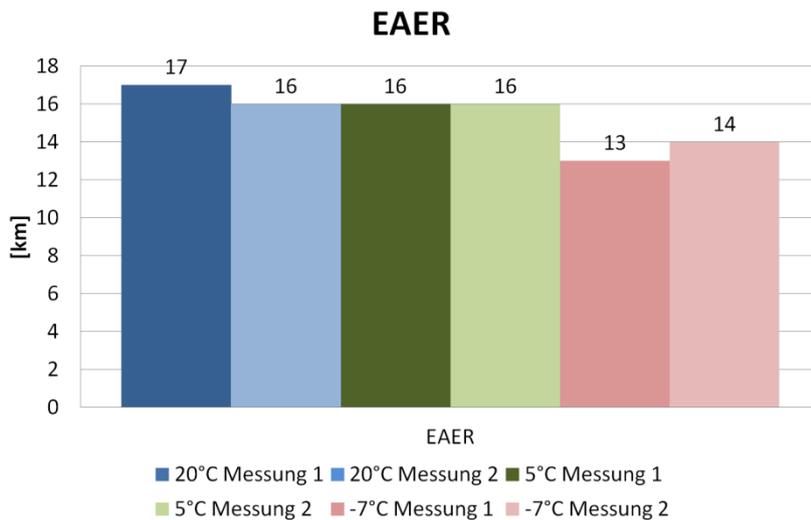


Abbildung 48: Temperatureinfluss - EAER



In Tabelle 12 ist zusammenfassend zu erkennen, dass die Emissionen mit sinkender Temperatur steigen. Die Erhöhung der Emissionen bei kälteren Temperaturen ist deutlich. Jedoch wird der jeweilige Grenzwert (Grenzwert für aktuelle Regelung 715/2007) auch bei -7°C eingehalten.

Tabelle 13 und Abbildung 44, Abbildung 45 zeigen, dass der gewichtete Kraftstoffverbrauch (FC weighted) und der gewichtete CO₂-Ausstoß (CO₂ weighted) bei sinkender Temperatur steigt. Der elektrische Energieverbrauch (EC weighted) bleibt jedoch konstant.

Der äquivalente elektrische Energieverbrauch (ECEAER) jedoch steigt bei 5°C leicht und bei -7°C deutlich an. Dies folgt aus der sinkenden äquivalenten Reichweite (EAER): bei 20°C ca. 17km und bei -7°C ca. 13km.

Die elektrische Reichweite nach WLTP (AER) liegt bei 20°C bei 10km, bei 5°C noch bei 8km und bei -7°C bei 0km. Die elektrische Reichweite gibt die Fahrstrecke bis zum ersten Start des Verbrennungsmotors an. Da bei -7°C unmittelbar der Verbrennungsmotor zugeschaltet wird, ergibt sich eine elektrische Reichweite von 0km.

4.7 Vergleich der Auswirkungen verschiedener „Utility Faktoren“ (UF) im WLTP

Die Betrachtung der Auswirkungen verschiedener UF's findet nur auf Basis des elektrischen Energie- und Kraftstoffverbrauchs statt. Bei ihr handelt es sich um eine rein rechnerische Nachbereitung der Messwerte für den Betrieb in den beiden Modi („charge depleting“ und „charge sustaining“); d.h. die Gewichtung der beiden Werte erfolgt anders. Die Reichweiten werden von den verschiedenen UF's nicht beeinflusst und werden daher nicht dargestellt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 14 dargestellt.

Die grafische Darstellung erfolgt in Abbildung 49 bis Abbildung 51.

Tabelle 14: Auswirkungen verschiedener UF's im WLTP

Auswirkungen verschiedener UF's im WLTP					
		Messung 1	Messung 2	Messung 1	Messung 2
UF		WLTP	WLTP	NEDC corrected to WLTP	NEDC corrected to WLTP
FC weighted	in l/100km	2,78	2,78	2,54	2,54
CO₂ weighted	in g/km	64,59	64,66	58,92	58,97
EC weighted	in Wh/km	61	60	67	66

Abbildung 49: Auswirkungen der UF's auf den Kraftstoffverbrauch

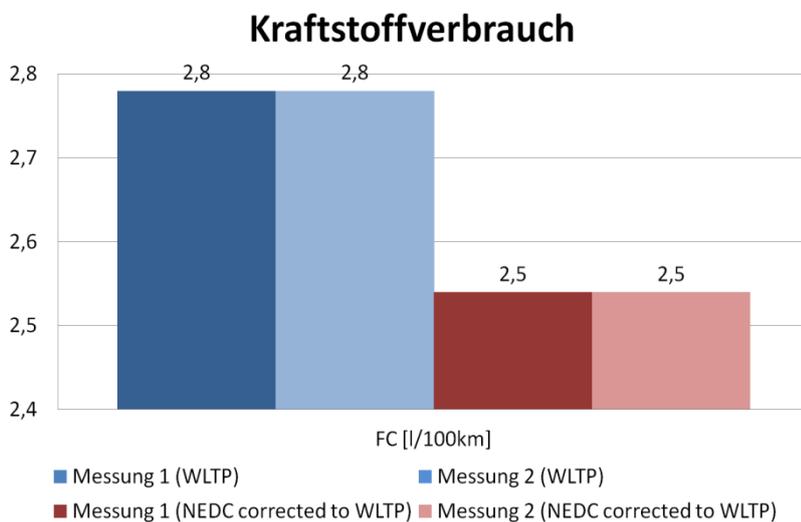


Abbildung 50: Auswirkungen der UF's auf CO₂

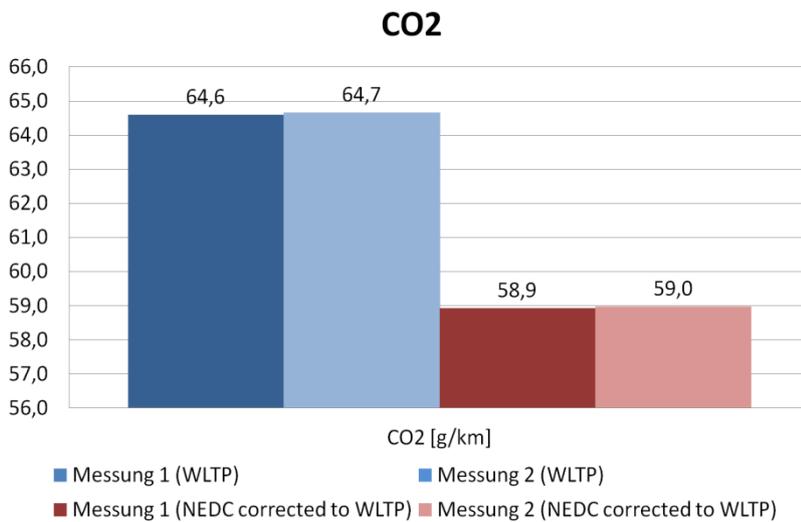
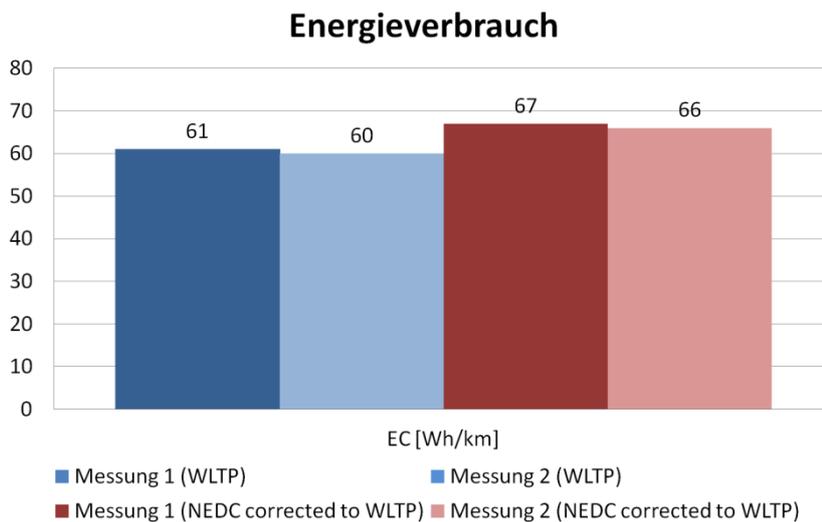


Abbildung 51: Auswirkungen der UF's auf den Energieverbrauch (elektrisch)



Die Betrachtung der Ergebnisse, ermittelt mit den zwei verschiedenen UF-Kurven zeigt, dass die Berechnung mit der „NEDC corrected to WLTP“ Kurve weniger Emissionen, CO₂-Ausstoß sowie Verbrauch gegenüber der WLTP-Kurve aufweist. Lediglich die elektrische Energieaufnahme ist größer. Dies resultiert aus der parallelen Nutzung von elektrischer Energie und fossilem Brennstoff bei Hybridfahrzeugen.

4.8 Vergleich der Auswirkungen auf den Energieverbrauch verschiedener Messprozeduren bzw. Parameter

Im Folgenden werden die Auswirkungen verschiedener Messprozeduren bzw. Parameter auf den Kraftstoffverbrauch sowie des elektrischen Energieverbrauchs aufgezeigt. Für den Vergleich werden die Mittelwerte der jeweiligen Messungen herangezogen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 15 und in Abbildung 52 - Abbildung 54 dargestellt.

Tabelle 15: Auswirkungen verschiedener Messprozeduren bzw. Parameter

Auswirkungen verschiedener Messprozeduren bzw. Parameter		UNECE R101	WLTP 20°C	WLTP 5°C	WLTP -7°C	RDE geladen	RDE ungeladen
Kraftstoffverbrauch	in l/100km	2,24	2,78	3,34	4,09	3,10	3,81
CO₂	in g/km	51,28	64,63	77,04	93,24	77,01	94,63
Elektrischer Energieverbrauch	in Wh/km	47,86	60,50	59,50	63,00	28,79	-0,96

Abbildung 52: Auswirkungen verschiedener Messprozeduren bzw. Parameter - Kraftstoffverbrauch

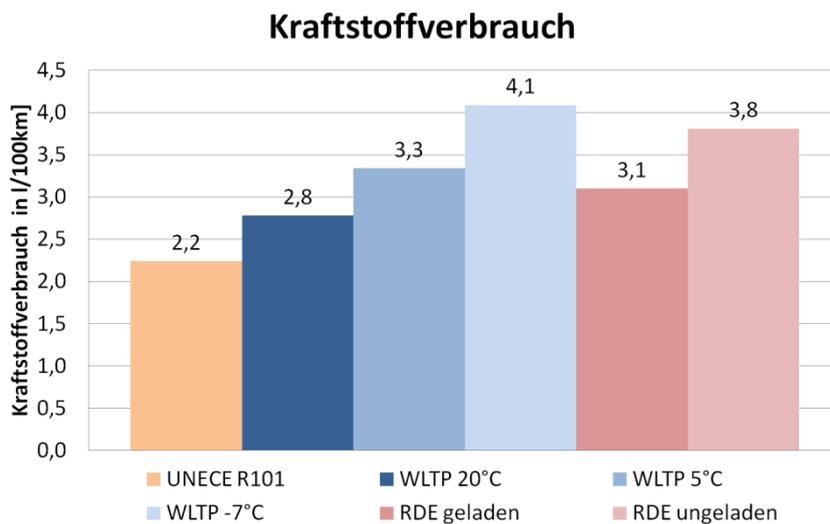


Abbildung 53: Auswirkungen verschiedener Messprozeduren bzw. Parameter – CO₂

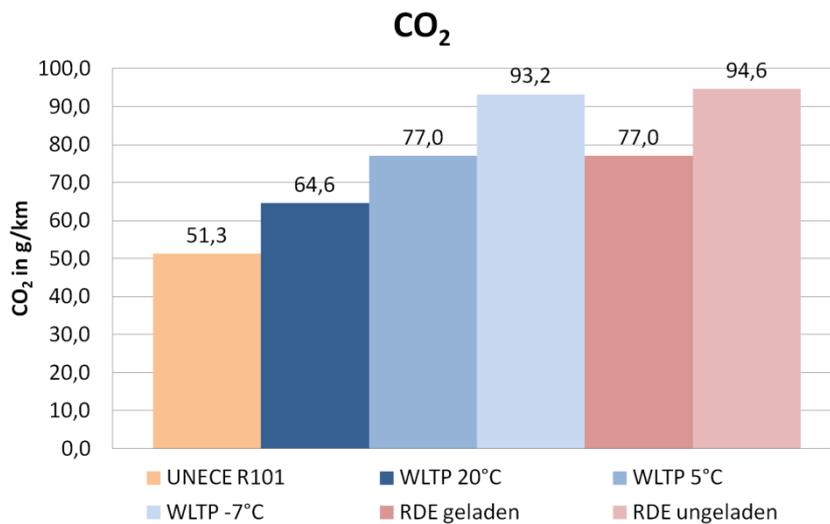


Abbildung 54: Auswirkungen verschiedener Messprozeduren bzw. Parameter – Energieverbrauch (elektrisch)

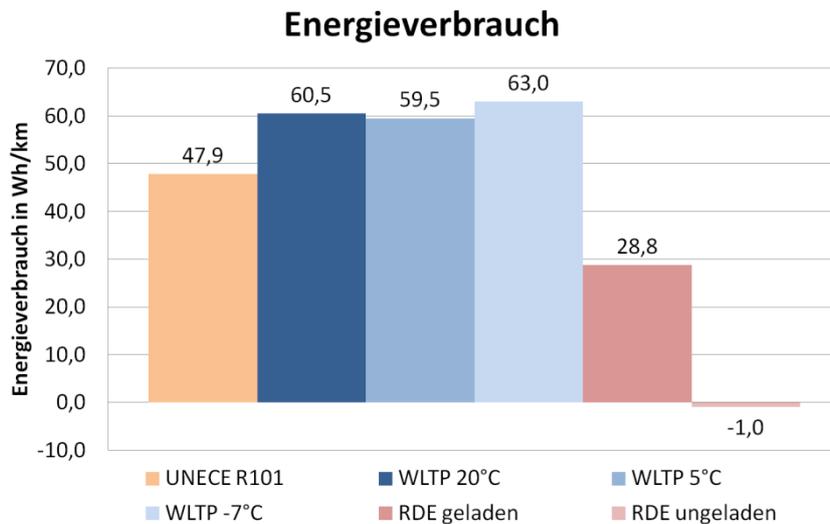


Tabelle 15 zeigt, dass der CO₂-Ausstoß bzw. der Kraftstoffverbrauch und auch der elektrische Energieverbrauch im WLTP im Vergleich zur UNECE-R101 zunehmen. Dies kann durch die erhöhte Last (Road Load) im WLTP und dem durchaus dynamischeren Fahrzyklus mit höheren Leistungsanforderungen begründet werden.

Im realen Straßenverkehr (RDE) steigen die Kraftstoffverbräuche im Vergleich zum WLTP weiter an. Die Messungen mit vollständig geladener Batterie zeigen einen weiteren geringen Anstieg. Die Messergebnisse mit entladener Batterie weisen jedoch stark erhöhte Werte auf. Dies kann definitiv auf die entladene Batterie zurückgeführt werden. Wird in allen anderen Messungen Energie aus der Batterie zum Bewegen des Fahrzeugs genutzt, wird in dieser Messung die Batterie im Fahrbetrieb minimal geladen.

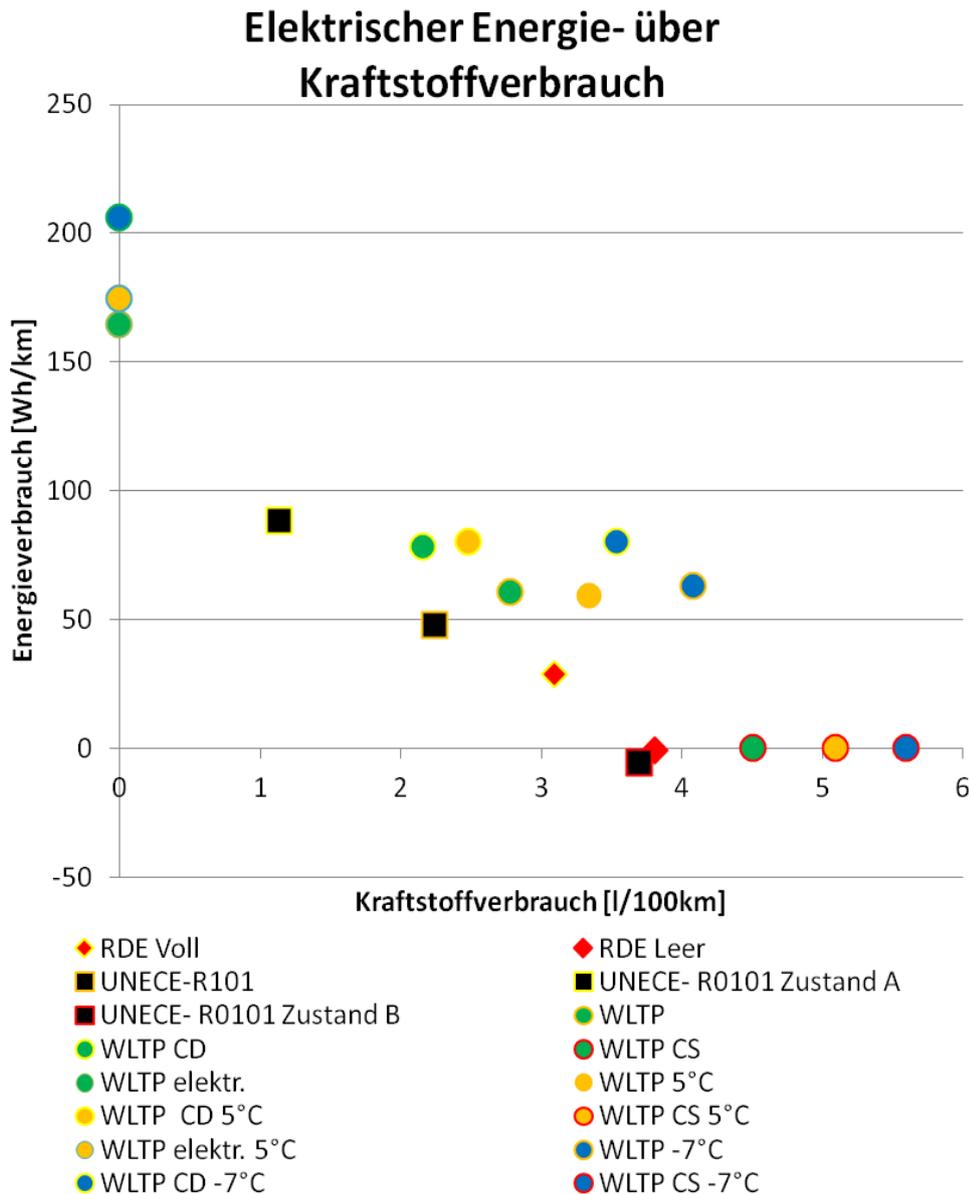
Wird nun der elektrische Energieverbrauch „RDE vollständig geladen“ mit der Messung nach UNECE-R101 oder WLTP verglichen, fällt auf, dass der Verbrauch an elektrischer Energie deutlich kleiner ist. Dies hängt jedoch nicht von einer geringeren Lastanforderung auf der Straße ab. Die Begründung besteht darin, dass nach UNECE-R101 und auch im WLTP, anteilig nur ein kleiner Teil mit ganz entladener Batterie gefahren werden muss. Während der RDE-Messung hingegen wird ein Großteil der Messung mit entleerter Batterie bewältigt, da nach Entleerung dieser, nur durch Rekuperation (Rückgewinnung von Energie durch Einsatz des Elektro-Motors als Generator) erneut Energie eingespeist wird.

Die zusätzlichen Messungen im WLTP bei 5 und -7°C ergeben jeweils eine zusätzliche Erhöhung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen im Vergleich zur Ausgangsmessung bei 20°C. Bei -7°C beträgt die Erhöhung ca. 50% gegenüber der Messung bei 20°C.

Der elektrische Energieverbrauch beträgt bei allen gemessenen Temperaturen im WLTP 59,5Wh/km bis 63Wh/km. Es ist somit keine signifikante Änderung zu erkennen.

Prinzipiell ist festzustellen, dass die Angabe der RDE-Ergebnisse die Werte sind, die am ehesten auf die breite Masse der Autofahrer zutreffen. Im Fahrbetrieb wirken sich überwiegend die Fahrweise, das Fahrprofil und die allgemeine Verkehrssituation aus. Diese werden zum Teil jedoch berücksichtigt, da die Messungen im öffentlichen Straßenverkehr durchgeführt werden.

Abbildung 55: Elektrischer Energie- über Kraftstoffverbrauch



Anmerkung zum Diagramm (Abbildung 55): Die Form des Makers zeigt die Messprozedur an, die Füllfarbe die zusammenhängenden Messpunkte. Die Umrandung der Messpunkte unterscheidet die einzelnen Teiltests (vollgeladen, ungeladen, gewichtet, rein elektrisch).

Die Abbildung 55 zeigt den elektrischen Energie- über dem Kraftstoffverbrauch auf. Dies fasst die o.g. Ergebnisse gut zusammen. Es ist zu erkennen, dass die einzelnen Messpunkte der jeweiligen Prüfungen auf einer Geraden liegen. Die unterste „Gerade“ stellt die Messungen nach UNECE-R101 dar, dies folgt aus den geringsten Anforderungen an das Prüffahrzeug. Die Gerade für den WLTP liegt aufgrund der erhöhten Lastanforderung etwas darüber.

Die RDE-Ergebnisse liegen in diesem Fall zwischen den beiden Abgasrollenprüfstandsergebnissen. Dies bedeutet in diesem Fall jedoch nicht, dass die Lastanforderung an das Fahrzeug auch zwischen der des WLTP und der nach UNECE-R101 liegen. Diese Darstellung ist, wie oben bereits beschrieben, aufgrund der deutlich anderen Verteilung des Ladezustands der Batterie, verzerrt.

Erwartungsgemäß erhöht sich im WLTP bei 5°C und ein weiteres Mal bei -7°C der Gesamtenergiebedarf, somit liegen die Datenpunkte dieser beiden Messungen höher als die anderen Messungen.

5 Zusammenfassung

Das Forschungsvorhaben „Ermittlung der Schadstoff- und Klimagasemissionen von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen durch WLTP und RDE unter Berücksichtigung zukünftiger Kraftstoffe und Antriebskonzepte“ wird am Beispiel eines Toyota Prius Plug-In Hybrides durchgeführt.

Die verschiedenen Tests werden auf Grundlage der entsprechenden Richtlinie oder im Falle von WLTP und RDE des aktuell „gültigen“ Richtlinienentwurfs durchgeführt.

Die Grundvermessung der Batterie ergibt eine notwendige Ladeenergie von ca. 3kWh. Die Ladeenergie schwankt bei veränderter Umgebungstemperatur.

Die Eingangsmessung, nach UNECE-R101, des Toyota Prius Plug-In Hybrid zeigt, dass sich das Fahrzeug in einwandfreiem Zustand befindet und alle Grenzwerte einhält. Der Verbrauch und die Reichweite entsprechen den vom Hersteller angegebenen Werten.

Das Fahrzeug hält auch nach WLTP geprüft, die Grenzwerte nach 715/2007 EURO5 ein.

Die RDE-Messungen zeigen die negative Korrelation von Kraftstoffverbrauch (auch CO₂ und CO) und elektrischem Energieverbrauch auf.

Der Vergleich von UNECE-R101 und WLTP zeigt Unterschiede. Die Stickoxide, CO₂, der Kraftstoff und elektrische Energieverbrauch steigen im WLTC an. Die Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid dagegen sinken.

Die Überprüfung des Temperatureinflusses im WLTP zeigt, dass bei niedrigeren Temperaturen höhere Emissionen auftreten. Die Grenzwerte für Regelung 715/2007 EURO5 werden jedoch eingehalten.

Die WLTP-Berechnung mit zwei verschiedenen UF-Kurven zeigt eine negative Korrelation von Kraftstoffverbrauch und CO₂ gegenüber dem elektrischen Energieverbrauch auf.

Die Auswirkungen verschiedener Messprozeduren lassen sich an Abbildung 55 zeigen. Die spezifischen Energieanforderungen der durchgeführten Tests sortieren sich aufsteigend wie folgt: UNECE-R101, RDE, WLTP, WLTP 5°C und WLTP -7°C.

6 Quellenverzeichnis

- /1/ Umweltbundesamt: www.umweltbundesamt.de, 13.08.2014
<http://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/modal-split-des-personen-gueterverkehrs>
- /2/ Amtsblatt der Europäischen Union: Richtlinie 70/220/EWG einschließlich aller Änderungen bis 2006/96/EG;
Amtsblatt der Europäischen Union, 1970-2006
- /3/ Amtsblatt der Europäischen Union: Verordnung (EG) Nr. 715/2007 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) und über den Zugang zu Reparatur- und Wartungsinformationen für Fahrzeuge, Amtsblatt der Europäischen Union, 2007
- /4/ ECE/TRANS/180/Add.15: Addendum 15: Global technical regulation No. 15,
Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure,
Global Registry, 2014
United Nations
- /5/ OpenStreetMap: www.openstreetmap.org, 13.05.2015
- /6/ Proposal – Application and calculation of fractional utility factors, Andreas Eder, 07.2014
- /7/ Analysis of WLTP European utility factor for OVC-HEVS, Andreas Eder, 24.06.2014
- /8/ Umweltbundesamt, Daten- und Rechenmodell TREMOD, Version 5.24,2011