

BEGRENZUNG DER CO₂-EMISSIONEN AUS NUTZFAHRZEUGEN

FKZ: 3708 45 104

Ein Forschungsvorhaben des Umweltbundesamtes

Von

**Antonius Kies (TU Graz)
Leif-Erik Schulte (TÜV NORD)
Martin Rexeis (TU Graz)
Stefan Hausberger (TU Graz)
Stephan Nentwig (TÜV NORD)**

DEZEMBER 2012

1. Berichtsnummer	2. Zwischenbericht	3.
4. Titel des Berichts BEGRENZUNG DER CO ₂ -EMISSIONEN AUS NUTZFAHRZEUGEN		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Schulte, Leif-Erik; Nentwig, Stephan; Martin Rexeis; Antonius Kies		8. Abschlussdatum 31.12.2011
		9. Veröffentlichungsdatum 21.12.2012
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) TÜV NORD Mobilität - IFM Bereich Motoren/Nutzfahrzeuge/Geräte Adlerstr. 7, 45307 Essen		10. UFOPLAN-Nr. 3708 45 104
		11. Seitenzahl 145
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau		12. Literaturangaben s. Abschnitt 5.3
15. Zusätzliche Angaben		13. Tabellen 44
		14. Abbildungen 39
16. Kurzfassung		
17. Schlagwörter CO ₂ -Emissionen, Nutzfahrzeug, Rollwiderstand, Luftwiderstand, Coast-down, Kraftstoffverbrauch, Simulation, HDV, Fahrzeugkategorie, Typprüfung		
18. Preis	19.	20.

INHALT	SEITE
1 EINLEITUNG	- 6 -
2 ZUSAMMENFASSUNG DES VORGESCHLAGENEN PRÜFVERFAHRENS	- 8 -
2.1 Beschreibung des Rechenmodells	- 8 -
2.2 Fahrzeug- und Motorenauswahl	- 10 -
2.3 Fahrzyklen	- 14 -
2.4 Prüfung der Einzelkomponenten	- 17 -
2.4.1 Fahrwiderstände	- 17 -
2.4.2 Motorenversuche	- 33 -
2.4.3 Triebstrang	- 39 -
2.4.4 Nebenaggregate	- 41 -
2.5 Simulation von Kraftstoffverbrauch und CO ₂ -Emissionen	- 42 -
2.5.1 Nutzerschnittstelle zum Import standardisierter Eingabedaten	- 43 -
2.5.2 Datenbank der Standardwerte	- 44 -
2.5.3 Das Kernmodell	- 44 -
2.5.4 Fahrermodell	- 44 -
2.5.5 Triebstrangmodell	- 45 -
2.5.6 Nebenaggregatmodell	- 45 -
2.5.7 Fahrzeuglängsdynamik	- 45 -
2.5.8 Interpolation aus dem Verbrauchskennfeld	- 46 -
2.5.9 Datennachbereitung	- 46 -
2.5.10 Weitere notwendige Arbeiten zur Entwicklung des HDV-CO ₂ -Simulators	- 46 -
2.5.11 Schnittstelle der Simulation für OEM-spezifische Technologien	- 47 -
2.6 Maßeinheit der Simulationsergebnisse	- 48 -
2.7 Validierung der Ergebnisse	- 52 -
2.8 Vorschlag eines Prüf- und Genehmigungsverfahrens	- 53 -
3 AUSBLICK AUF CO₂-GESETZGEBUNG IN DEN USA, JAPAN UND DER VR CHINA-	56 -
3.1 U.S. EPA/NHTSA Final Rule	- 56 -
3.1.1 Anwendungsbereich	- 56 -
3.1.2 CO ₂ -Gesetzgebung in Japan	- 62 -
3.1.3 CO ₂ -Gesetzgebung in der VR China	- 66 -

4 DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER DURCHGEFÜHRTEN ARBEITEN	- 67 -
4.1 Fahrzeug- und Motorenauswahl	- 67 -
4.1.1 Fahrzeugsegmente	- 67 -
4.1.2 Anhänger-/Aufliegersegmente (Trailer-Segmente)	- 71 -
4.1.3 Aufbau-Segmentierung	- 71 -
4.1.4 Bussegmentierung	- 72 -
4.2 Entwicklung eines Klassifizierungsschemas	- 75 -
4.2.1 Jahresfahrleistung und CO ₂ -Emissionen verschiedener Nutzfahrzeugklassen	- 76 -
4.2.2 Motorfamilie nach Richtlinie 2005/55/EG und Verordnung 64/2012	- 88 -
4.2.3 Klassifizierungsschema nach 2007/46/EG und VO (EG) 678/2011	- 90 -
4.2.4 Kriterien zur Deklaration eines CO ₂ -Wertes für Fahrzeugfamilien	- 92 -
4.2.5 Achskonfigurationen und Aufbauten von Lastwagen	- 97 -
4.2.6 Normaufbauten und Normauflieger	- 99 -
4.3 Verifizierung der vorgeschlagenen Prüfprozedur am Beispiel zweier Fahrzeuge	- 106 -
4.3.1 Sattelzug für den Fernverkehr (40 t)	- 108 -
4.3.2 Verteiler-LKW 12 t	- 122 -
5 ANHÄNGE	- 139 -
5.1 Details zu bestehenden Messstandards	- 139 -
5.2 Liste der Autoren	- 139 -
5.2.1 Zuordnung der Verantwortlichkeiten	- 139 -
5.2.2 Personen	- 139 -
5.3 Literatur	- 140 -
5.4 Liste der Abkürzungen	- 141 -

1 Einleitung

Die CO₂-Emissionen bzw. der Kraftstoffverbrauch von Nutzfahrzeugen unterliegt bislang keiner Limitierung durch den Ordnungsgeber. Durch den wirtschaftlichen Wunsch der Betreiber, möglichst kostengünstig Transportleistungen zu erbringen, sollte angenommen werden, dass Nutzfahrzeuge generell verbrauchsoptimiert konzipiert werden. Die zu den Abgasemissionen vorhandene Schere hinsichtlich einer Emissionsminderung zu Lasten des Kraftstoffverbrauches hat jedoch zu teilweise gegenläufigen Entwicklungen geführt. Gleiches gilt für das stetig gestiegene Transportaufkommen, das alle technisch realisierten Verbrauchsoptimierungen kompensiert hat. So stieg z. B. der durch den Straßengüterverkehr allein in Deutschland verursachte Kraftstoffverbrauch in den Jahren von 1991 bis 2005 um 38,2 %. Die zuletzt prognostizierten Zahlen lassen diesbezüglich keine Trendwende erkennen.

Um die Umwelt- und Klimaziele der EU im Verkehrssektor mittelfristig erreichen zu können, scheint eine Limitierung der CO₂-Emissionen von Nutzfahrzeugen notwendig zu werden. Für PKW ist eine entsprechende Limitierung der CO₂-Flottenemission bereits eingeführt, nachdem die Angabe des Kraftstoffverbrauchs bzw. der CO₂-Emissionen für solche Fahrzeuge seit einigen Jahren zum Standard gehört.

Durch das für Nutzfahrzeugmotoren vorgeschriebene Emissionsmessverfahren auf dem Motorenprüfstand, welches als Resultat eine spezifische Emissionsangabe in g/kWh, also als Emission pro Arbeit liefert, ist eine praxisbezogene CO₂-Emissionsangabe in z. B. g/km nicht möglich, da eine spezifische Arbeit über nahezu unendlich viele unterschiedliche Streckenlängen in Abhängigkeit vom Strecken-Profil und von den Fahrwiderständen eines konkreten Fahrzeuges erbracht werden kann.

Aus diesem Grund ist es notwendig, ein Verfahren zur Bestimmung der CO₂-Emissionen von Nutzfahrzeugen zu entwickeln, welches die spezifischen Verbrauchsangaben aus der Prüfstandsmessung mit einer praxisbezogenen CO₂-Angabe in z. B. g/km oder besser g/tkm verknüpft. Darüber hinaus sollen innerhalb des Vorhabens Vorschläge zur Limitierung des Verbrauchs insofern erarbeitet werden, dass mögliche zukünftige Grenzwerte auf Basis dieser Vorschläge diskutiert werden können.

Im Jahr 2009 wurde seitens der EU-Kommission/DG Climate das Projekt „Reduction and Testing of Greenhouse Gas Emissions from Heavy-duty Vehicles“¹ mit einer identischen Zielsetzung initiiert, welches von einem Konsortium bestehend aus AVL MTC, TNO, TU Graz, TÜV NORD, VTT, LAT und Heinz Steven Data Analysis and Consultancy unter der Federführung des Institutes für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der Technischen Universität Graz bearbeitet wurde.

Die Arbeiten an der vorliegenden Studie wurden Ende 2009 in Absprache mit dem Auftraggeber mit dem Projekt der EU-Kommission/DG Climate zusammengeführt, um so möglichst vergleichbare Ergebnisse aus beiden Studien erarbeiten zu können. Aus der Zusammenführung resultiert der in Januar 2012 veröffentlichte LOT2-Abschlussbericht „Reduction and Testing of Greenhouse Gas Emissions from Heavy-duty Vehicles“, welcher die inhaltliche Basis für den hier vorliegenden Bericht darstellt.

Weiterhin ermöglichte die gemeinsame Betrachtung der Fahrzeugmessungen aus beiden Vorhaben einen Quasi-Ringversuch (*round robin*) zur Untersuchung der Reproduzierbarkeit des angestrebten Prüfverfahrens.

¹ European Commission / DG Climate Action: N° 070307/2009/548300/SER/C3 – Reduction and testing of Greenhouse Gas Emissions from heavy duty vehicles - LOT2. Development and testing of a certification procedure for CO₂ emissions and fuel consumption of HDV

2 Zusammenfassung des vorgeschlagenen Prüfverfahrens

Das Verfahren basiert auf Prüfung einzelner verbrauchsrelevanter Komponenten. Die Prüfergebnisse dieser einzelnen Fahrzeugkomponenten werden in einem standardisierten Format gesammelt und an ein Simulationsmodell übergeben. Innerhalb des Modells werden die notwendige Motorleistung zur Überwindung der Fahrwiderstände, die Verluste des Triebstranges sowie der Leistungsbedarf von Hilfs- und Nebenaggregaten für definierte Testzyklen ermittelt. Der Verlauf der Motordrehzahl wird in Abhängigkeit von der Reifendimension, der gewählten Getriebeübersetzungen und eines definierten Fahrermodells ermittelt. Mittels der Motorleistung und der Motordrehzahl über den Testzyklus wird der Kraftstoffverbrauch des Gesamtfahrzeuges über das Motorkennfeld interpoliert.

Die hier gegebenen Empfehlungen für den Aufbau des HDV-CO₂-Prüfverfahrens (HDV = Heavy Duty Vehicle) gelten für eine Pilotphase, die im Rahmen eines Folgevorhabens der EU-Kommission zu LOT2 abläuft. Derzeit stehen noch verschiedene Optionen zur Ermittlung von Prüfergebnissen zur Diskussion. Bei einigen Optionen reichen die Ergebnisse der Vorhaben UBA-CO₂ und DG Climate nicht aus, um letztendlich aussagen zu können, welche für das Verfahren die beste Lösung darstellen könnten.

2.1 Beschreibung des Rechenmodells

Die Simulation berücksichtigt den Rollwiderstand, den Luftwiderstand, die Leistung zur Fahrzeuglängsbeschleunigung und zur Beschleunigung rotatorisch bewegter Massen, den Leistungsbedarf in Abhängigkeit des Straßengradienten, die Verluste im Triebstrang und den Leistungsbedarf von Nebenabtrieben (Abbildung 1). Noch nicht entschieden ist, ob zusätzliche Abtriebsleistungen an Zapfwellen berücksichtigt werden sollte. Solche Leistungen werden als PTO-Leistungen (*power take-off*) bezeichnet und dienen im Fahrbetrieb z. B. dem Antrieb von Betonmischtrommeln, Müllpressen o. ä.. Die Zapfwellenleistung ist somit ein relevanter Energieverbraucher in manchen Fahrzeugkategorien.

Die Simulation soll künftig über einen „offiziellen“ Simulator durchgeführt werden, welcher beispielsweise per Web Access bereitgestellt werden kann. Eine solche Simulation benötigt jedoch weitere zusätzliche Funktionen, um das Fahrzeugmodell, die Nebenabtriebe und die verschiedenen Fahrzeugaufbauten sowie Reifenkonfigurationen berücksichtigen zu können. Weiterhin ist eine sichere und einfach handhabbare Schnittstelle erforderlich, um Komponenten-

daten und Simulationsergebnisse zwischen dem Hersteller und der Genehmigungsbehörde in standardisierter Form auszutauschen.

Bedingt durch die große Anzahl von möglichen Nutzfahrzeugkombinationen, welche ein solches Genehmigungsverfahren in Zukunft zu durchlaufen hätten, besteht ein großer Anspruch an die Zuverlässigkeit und Benutzerfreundlichkeit eines möglichen Simulations-Tools. Zudem ist der größte Teil der Eingabedaten höchst vertraulich zu behandeln, da sie als Eigentum des Fahrzeugherstellers zu betrachten sind. Daher sind die Sicherheitsaspekte einer solchen Simulation und der dazugehörigen Datenbanken sehr sorgsam auszuarbeiten.

Im UBA-CO₂- und LOT2-Vorhaben wurden alle Simulationen mittels des Modells PHEM (Passenger car and Heavy-duty Emission Model) durchgeführt. PHEM bietet Funktionen, um den Kraftstoffverbrauch des getesteten Nutzfahrzeuges zu ermitteln. Die Konvertierung der Ergebnisse von Komponenten-Tests zur PHEM-Eingabe wurde mit zusätzlichen Microsoft-Excel-Dateien, meist aufbauend auf VBA-Skripten, realisiert. Die Funktionalität dieser Zusatztools soll zukünftig in die Simulation integriert werden, um eine effiziente und konsistente Bewertung der Ergebnisse aller Fahrzeughersteller zu ermöglichen.

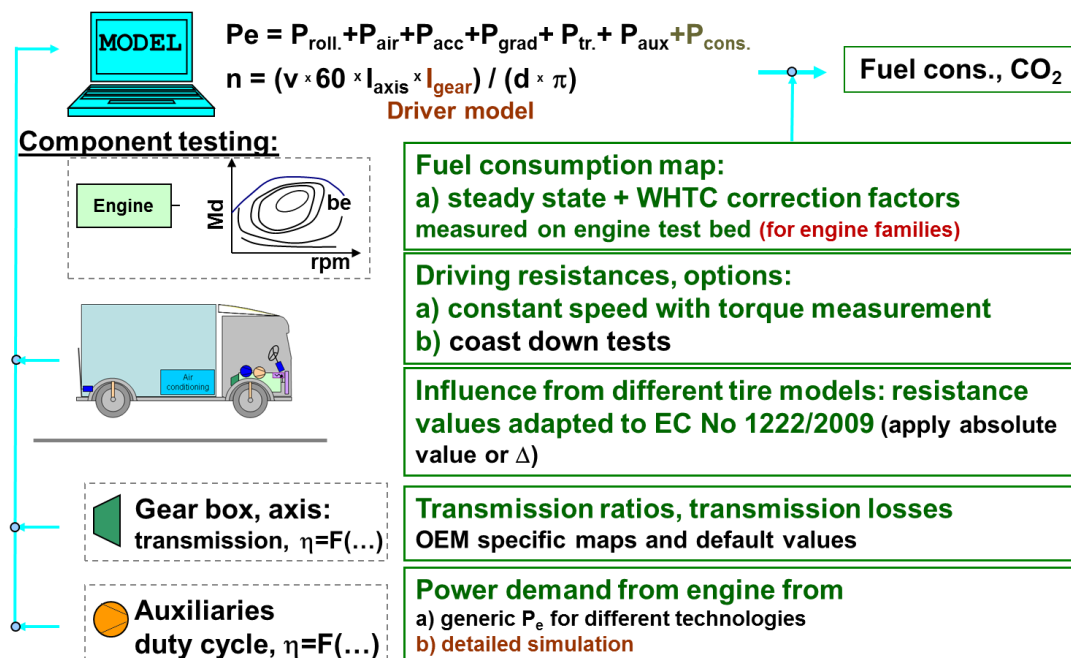


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Prüfverfahrens (Text schwarz: Optionen nicht endgültig ausgewählt, Text rot: noch nicht entwickelte Optionen)

2.2 Fahrzeug- und Motorenauswahl

Zur zukünftigen Typprüfung der CO₂-Emissionen von Nutzfahrzeugen ist zunächst eine einsatzrelevante Fahrzeugkategorisierung notwendig. Hierzu sind definierte Fahrzeugsegmente notwendig.

Für einen ersten Schritt zur Einführung einer CO₂-Gesetzgebung gehen wir davon aus, dass nicht jedes Fahrzeugsegment zu prüfen ist und dass eine Fahrzeugsegmentierung in Abhängigkeit der jeweiligen Fahrzeugpopulation definiert, ob entsprechende Fahrzeuge das Prüfverfahren zu durchlaufen haben.

Stellt sich eine Prüfung als notwendig heraus, wird über die Zuordnung zum Fahrzeugsegment der anzuwendende Prüfzyklus samt Beladung definiert, welcher dann im Modell simuliert wird.

Ein Fahrzeugsegment wird definiert durch:

- die Fahrzeugklasse (vehicle class) und
- das Einsatzprofil (mission profile).

Innerhalb eines Segments sind im Simulator folgende Werte definiert:

- der CO₂-Prüfzyklus,
- die Referenzbeladung (Definition siehe unten),
- der Norm-Aufbau zur Bestimmung des Luftwiderstandes und
- optional, ob das Fahrzeug als Solo-LKW oder als Zug-Kombination geprüft wird.

Grundsätzlich lässt sich ein Fahrzeug nur einer Fahrzeugklasse, jedoch mehreren Fahrzeugsegmenten zuschreiben, falls dieses typischerweise zu unterschiedlichen Zwecken eingesetzt wird. So werden zum Beispiel Solo-LKW mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 8 t sowohl im innerstädtischen als auch im regionalen Güterverkehr eingesetzt. Diese beiden Einsatzprofile haben unterschiedliche repräsentative CO₂-Prüfzyklen. Deshalb müsste das Fahrzeug in zwei Zyklen simuliert werden. Dies hätte dann zwei Ergebnisse zur Folge: eines für den innerstädtischen und eines für den regionalen Güterverkehr. Alle weiteren Daten zu dem Fahrzeug blieben unverändert.

In einer Pilotphase müsste der Hersteller lediglich die korrespondierende Fahrzeugklasse auswählen. Die entsprechende Zuordnung des Prüfzyklus ist bereits definiert. Im Anschluss

an die Pilotphase ist zu diskutieren, ob die Segmentierung ausreichend ist oder einer weiteren Anpassung bedarf.

Tabelle 1 zeigt die vorgeschlagene Segmentierung für die Pilotphase zur Begrenzung der CO₂-Emissionen aus Nutzfahrzeugen (HDV-CO₂). Anhand dieser Tabelle kann jedes schwere Nutzfahrzeug einer Fahrzeugklasse zugeordnet werden. Mittels dieser Zuordnung sind dann die Referenzzuladung, der Prüfzyklus und auch der Normaufbau zur Bestimmung des Luftwiderstandes des Basisfahrzeuges definiert. Jede Zelle im Spaltenblock „Cycle Allocation“ repräsentiert ein Nutzfahrzeugsegment.

In der letztendlichen HDV-CO₂-Prüfprozedur kann der Prüfaufwand zur Bestimmung des Luftwiderstandes für die Fahrzeugkategorien reduziert werden, welche selten mit hohen Geschwindigkeiten fahren. Dies betrifft alle Fahrzeuge aus dem Bereich der Bau- und Erdbewegungsfahrzeuge. Diese können mit einem allgemein festgelegten C_d-Wert simuliert werden. Die angesprochenen Fahrzeuge sind in den Spalten zur „Norm-body allocation“ mit „W“ gekennzeichnet. Das heißt, dass die Masse von „norm body no. 1“ Anwendung findet, jedoch der Luftwiderstand nicht durch Messungen zu ermitteln ist. Weitere Daten wie die Getriebeauslegung werden durch den OEM bereitgestellt.

Tabelle 1: Vorschlag zur Segmentierung schwerer Nutzfahrzeuge für die HDV-CO₂-Pilotphase /3/. Die Abkürzungen in den Spalten „Segmentation“ definieren die Fahrzeugkonfiguration, in der das Fahrzeug genehmigt ist. Die Abkürzungen in der Spalte „Norm-body allocation“ definieren den Aufbau bzw. Auflieger, welcher zur Bestimmung des Luftwiderstandes heranzuziehen ist.

Axles	Identification of vehicle class				Segmentation (vehicle configuration and cycle allocation)					Norm-body allocation		
	Axle configuration	Chassis configuration	Maximum GVW [t]	vehicle class	Long haul	Regional delivery	Urban delivery	Municipal utility	Construction	Standard body	Standard trailer	Standard semitrailer
2	4x2	Rigid	>3.5 - 7.5	0		R	R			B0		
2	4x2	Rigid or Tractor	7.5 - 10	1		R	R			B1		
		Rigid or Tractor	>10 - 12	2	R	R	R			B2		
		Rigid or Tractor	>12 - 16	3		R	R			B3		
		Rigid	>16	4	R+T	R		R		B4	T1	
		Tractor	>16	5	T+S	T+S						S1
	4x4	Rigid	7.5 - 16	6						B1		
		Rigid	>16	7					R	B5		
		Tractor	>16	8								W1?
3	6x2/2-4	Rigid	all weights	9	R+T	R		R		B6	T2	
		Tractor	all weights	10	T+S	T+S						S2
	6x4	Rigid	all weights	11					R	B7		
		Tractor	all weights	12					R			S3
	6x6	Rigid	all weights	13						W7		
		Tractor	all weights	14						W7		
4	8x2	Rigid	all weights	15		R				B8		
	8x4	Rigid	all weights	16					R	B9		
	8x6 & 8x8	Rigid	all weights	17					R	W9		
R = Rigid & Body R+T = Rigid & Body & Trailer *) T+S = Tractor & Semitrailer *) Whether it is sufficient to simulate the truck-trailer combination based on cd*A for Rigid & Body or the full-vehicle test for aerodynamic drag has to be performed additionally with Rigid & Body & Trailer has to be clarified												

Folgende Zuladungsmassen werden im HDV-CO₂-Simulator berücksichtigt:

1. Leer (0 kg)
2. Referenzzuladung (Ladung entsprechend Segment, z. B. 15,5 t für Klasse 5 im Fernverkehr)
3. Maximale Zuladung (festgelegt durch zulässiges Gesamtgewicht – Fahrzeugleermasse)

Falls die Referenzzuladung die maximale Zuladung überschreitet, ist die maximale Zuladung auch als Referenzzuladung heranzuziehen.

Ein ähnliches System wie bei den schweren Nutzfahrzeugen ist auch bei Bussen anzuwenden.

Die Klassen der Fahrzeugsegmente sind in der EG-Richtlinie 2001/85/EG festgelegt und gelten für Fahrzeuge zur Personenbeförderung mit mehr als acht Sitzplätzen. Die bestehende EG-Klassifizierung benötigt zusätzliche Definitionen, um fein genug zwischen Stadt- Überland- und Reisebussen zu differenzieren, da der Busbetrieb signifikante Unterschiede zwischen diesen drei Einsatzzwecken aufzeigt.

Klasse I ist zur Beförderung sitzender und stehender Passagier ausgerüstet. Klasse II-Fahrzeuge sind auf eine geringere Anzahl stehender Passagiere ausgelegt, während Klasse III-Fahrzeuge ausschließlich auf die Beförderung sitzender Passagiere ausgelegt sind. Zur präzisen Zuordnung der Busse wird vorgeschlagen, die innere Bodenhöhe (Abbildung 2) sowie das Vorhandensein von Unterflurgepäckfächern heranzuziehen.

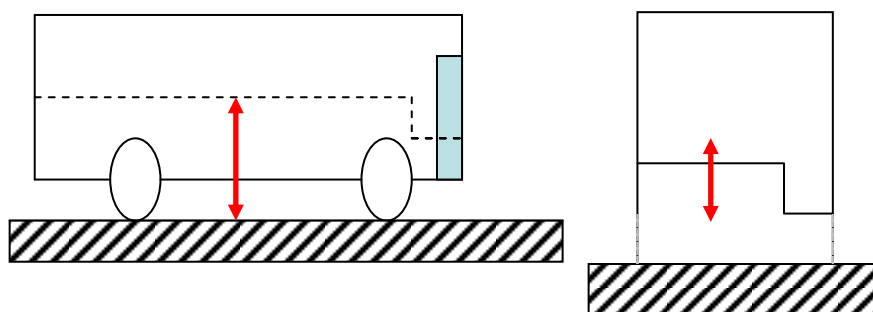


Abbildung 2: Definition der Bodenhöhe von Bussen (2 S. 60)

Mittels dieser zusätzlichen Definitionen der Klassen I bis III zu der Richtlinie 2001/85/EG lassen sich Busse präzise zu einzelnen Fahrzeugklassen zuordnen. Die Zuordnung von Fahrzeugklassen und den dazugehörigen Prüfzyklen ist somit fix definiert (Tabelle 2). Für jedes

Segment ist eine Referenzzuladung im HDV-CO₂-Simulator definiert, welche einer durchschnittlichen Anzahl an Passagieren entspricht.

Tabelle 2: Vorschlag zur Segmentierung von Bussen für die HDV-CO₂-Pilotphase
/3/

Axles	Identification of vehicle class					Segmentation and cycle allocation				
	Axle configuration	Chassis configuration	Characteristics	Maximum GVW [t]	← vehicle class	Heavy Urban	Urban	Suburban	Interurban	Coach
2	4x2	City	Class I + Low floor or low entry, no luggage compartment	<18	B 1	HU	UR	SU		
		Interurban	Class II + luggage compartment and/or floor height ≤0.9m	<18	B2				IU	
		Coach	Class III + floor height ≥0.9m and/or double decker	<18	B3					CO
3	6x2	City	Class I + Low floor or low entry, no luggage compartment	>18	B4	HU	UR	SU		
		Interurban	luggage compartment and/or floor height ≤0.9m	>18	B5				IU	
		Coach	floor height ≥0.9m and/or double decker	>18	B6					CO

Um den gegebenen Gewichtsvorgaben der Rahmenrichtlinie 2007/47/EG und der korrespondierenden Verordnung (EG) No. 678/2011 zu entsprechen, sollten die dortigen Festlegungen Anwendung finden. Die gesetzlichen Gewichtsbeschränkungen sollten auf die Gesamtfahrzeugkombination inklusive Zuladung angewandt werden. Wo immer ein Leergewicht herangezogen werden muss, soll das Leergewicht der aktuell zu prüfenden Fahrzeugkombination herangezogen werden. Dieses Gewicht wird mittels Wägung festgestellt. Wo immer eine gesetzliche Gewichtsbeschränkung erreicht wird, findet dieses Gewicht Anwendung. Gleiches gilt, falls ein maximal zulässiges Gewicht nach den Vorgaben des Herstellers erreicht wird, selbst wenn es unter den gesetzlichen Gewichtsbeschränkungen liegt.

2.3 Fahrzyklen

Ein Vergleich der Kraftstoffverbräuche aus segmentspezifischen Prüfzyklen mit den Verbräuchen aus allgemeingültigen Prüfzyklen zeigt, dass ein allgemeingültiger Prüfzyklus sehr unrealistische Kraftstoffverbräuche für verschiedene Fahrzeugsegmente liefert. Daher sind je nach Einsatzprofil verschiedene Prüfzyklen entwickelt worden, welche für die meisten Fahrzeuge typische Fahrsituation widerspiegeln. Dies scheint von einiger Bedeutung zu sein, da die Prüfprozedur sonst dazu führen würde, dass Fahrzeuge auf nicht-repräsentative Prüfzyklen optimiert würden anstatt auf den typischen Realbetrieb².

² Sobald alle einzelnen CO₂-Prüfzyklen in einer final verabschiedeten Version zur Verfügung stehen, sollen mögliche Vereinfachungen durch Simulationsläufe geprüft werden. Eine Möglichkeit zur Verringe-

Die systematische Zuordnung von Prüfzyklen zu Fahrzeugsegmenten, welche durch die Kombination von Fahrzeugklasse und Einsatzprofil definiert sind, wurde bereits in Kapitel 2.2 beschrieben. Neben dem segmentspezifischen Prüfzyklus wurde ebenfalls ein kurzer allgemeiner Nutzfahrzeug-Prüfzyklus entwickelt. Dieser Zyklus ist nicht repräsentativ für ein einzelnes Segment, sondern ist aus der gesamten Datenbasis von Fahrversuchen aus LOT2 und UBA-CO₂ abgeleitet. Er soll keinen typischen CO₂-Wert liefern, sondern zur Ergebnisvalidierung der CO₂-Prüfprozedur auf einem Rollenprüfstand herangezogen werden.

Die sich ergebenden CO₂-Prüfzyklen sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Prüfzyklen für (schwere) Nutzfahrzeuge

Mission / Einsatz	Cycle Acronym / Zyklus
Heavy duty vehicles / Schwere Nutzfahrzeuge	
Long haul / Güterfernverkehr	LH
Regional delivery / Regionaler Güterverkehr	RD
Urban delivery / Innerstädt. Verteilerverkehr	UD
Municipal utility / Kommunalfahrzeuge	MU
Construction / Bau- und Erdbewegungsfahrzeuge	CS
Heavy passenger vehicles / Busse	
Heavy urban / schwerer innerstädt. Busverkehr	HU
Urban / innerstädt. Busverkehr	UR
Suburban / Vorortsbusverkehr	SU
Interurban / Überlandbusverkehr	IU
Coach / Fernreise- /Gelegenheitsverkehr	CO
All HDV / Alle Nutzfahrzeuge	
Common Short Test Cycle / allg. kurzer Prüfzyklus	CST

Die mögliche Beschleunigung von Nutzfahrzeugen ist durch das Verhältnis von Leistung zu Fahrzeugmasse begrenzt. Die installierte Motorleistung in einzelnen Fahrzeugklassen wie auch die Fahrzeugmasse in Abhängigkeit vom Bautyp variieren zwischen den Fahrzeugty-

Der Anzahl an Prüfzyklen wäre die Entwicklung von Wichtungsfaktoren zu jedem Fahrzeugsegment und für unterschiedliche Abschnitte der Standardprüfzyklen. Es ist jedoch noch offen, ob dieses Vorgehen zu realistischen Fahrbedingungen führen und damit die Prüfprozedur vereinfachen würde.

pen. Ebenfalls wird die durch den Fahrer darstellbare Beschleunigung durch die vorhandene Getriebeabstufung begrenzt.

Um das unterschiedlichen Beschleunigungsverhalten darzustellen, sind die Prüfzyklen als sogenannte „Target Speed Cycles“ ausgelegt (Abbildung 3). In diesen Zyklen sind also Zielgeschwindigkeiten festgelegt, welche der virtuelle Fahrer im HDV-CO₂-Simulator zu erreichen versucht. Das Fahrermodell kann sowohl Vollastbeschleunigungen darstellen als auch geringere Fahrpedalstellungen, wenn z. B. maximale Beschleunigungen bereits erreicht sind. Die Begrenzung einer maximal möglichen oder zulässigen Beschleunigung sollte vom Hersteller festgelegt werden und kann in den einzelnen Fahrzeugkategorien differieren. Die Länge der Prüfzyklen ist über eine zurückzulegende Fahrstrecke festgelegt, um für alle Nutzfahrzeuge die gleiche Prüfdistanz darzustellen. Leerlaufphasen sind bestimmten Positionen auf der Prüfdistanz zugeordnet.

Das Fahrermodell befindet sich derzeit weiter im Entwicklungsprozess, um allen Beteiligten der künftigen HDV-CO₂-Prüfprozedur möglichst gerecht zu werden. Weiterhin ist die Entwicklung einiger Prüfzyklen noch nicht abgeschlossen. Die Prüfzyklen bedürfen weiterer Validierungen und Feinabstimmungen innerhalb einer Pilotphase zur Prüfprozedur.

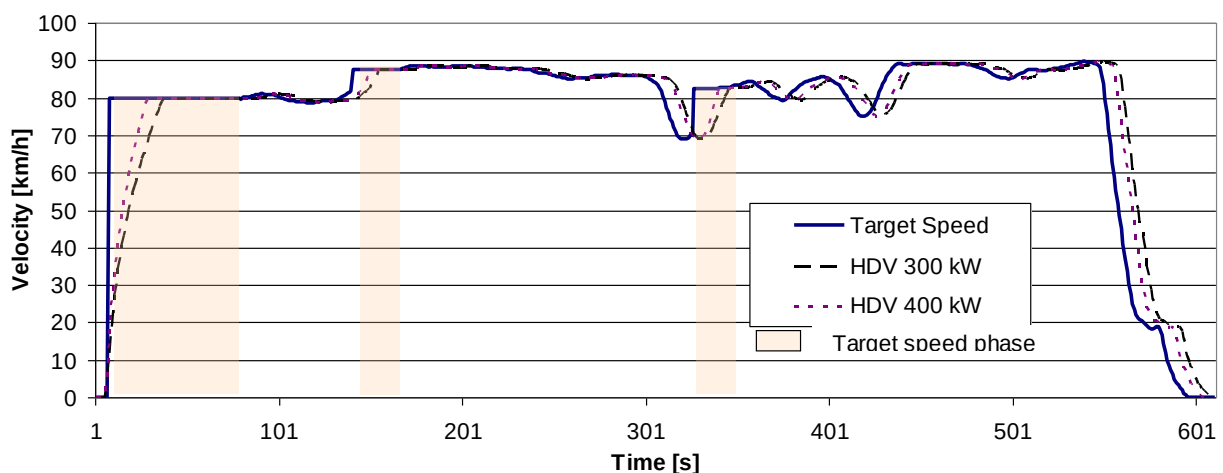


Abbildung 3: Autobahnabschnitt des allgemeinen kurzen Prüfzyklus (CST) als Beispiel für einen „Target Speed Cycle“, welcher ein individuelles Beschleunigungsverhalten an Stelle eines fixen Geschwindigkeitsverlaufes ermöglicht

In der Simulation werden die Prüfzyklen automatisch den Fahrzeugkategorien zugeordnet.

2.4 Prüfung der Einzelkomponenten

Um mit der Simulation möglichst genaue Ergebnisse über die CO₂-Emissionen und den Kraftstoffverbrauch zu erzielen, muss der Gesamtfahrwiderstand des Fahrzeuges als Basis zur Simulation zu Grunde liegen. Ein Ansatz, welcher die Widerstände bzw. den Verlust einzelner Komponenten berücksichtigt, wird vorgeschlagen. Dadurch wird die Anzahl an Fahrzeugmessungen reduziert, weil unterschiedliche Fahrzeuge modular konfigurierbar sind. Falls ein OEM oder Zulieferer keine dezidierten Angaben liefern kann, sollen für alle Fahrzeugkomponenten Standardparameter, welche den „worst case“ darstellen, zur Simulation verfügbar sein.

2.4.1 Fahrwiderstände

Die Fahrwiderstandskraft, welche in bestimmten Fahrsituationen auf ein Fahrzeug wirkt, besteht im Wesentlichen aus dem Rollwiderstand, dem Luftwiderstand, dem Beschleunigungswiderstand und dem Steigungswiderstand (Gleichung 1).

$$F_{\text{res}} = F_{\text{roll}} + F_{\text{air}} + F_{\text{acc}} + F_{\text{grd}} \quad \text{Gleichung 1}$$

mit:

- F_{res} - Gesamtfahrwiderstand [N]
- F_{roll} - Rollwiderstand [N]
- F_{air} - Luftwiderstand [N]
- F_{acc} - Beschleunigungswiderstand [N]
- F_{grd} - Steigungswiderstand [N]

Im folgenden Abschnitt werden die Algorithmen aufgeführt und erläutert, welche zur Berechnung der einzelnen Widerstandskraftkomponenten herangezogen werden, um daraus in der HDV-CO₂-Simulation des gesamten Fahrwiderstand zu bestimmen. Ferner wird aufgezeigt, wie spezifische Fahrzeugparameter zu bestimmen sind, die in die Berechnung des Fahrwiderstandes einfließen. Die hier genannten Gleichungen und Prüfverfahren für Einzelkomponenten beinhalten bereits Vereinfachungen verglichen mit den detaillierten Methoden, welche in Kapitel 3 des LOT2-Abschlussberichtes aufgeführt sind. Diese Vereinfachungen liefern den besten Kompromiss zwischen hoher Genauigkeit der Methode auf der einen Seite und Komplexität sowie Aufwand des Prüfverfahrens auf der anderen Seite.

Die Standardmethode der HDV-CO₂-Prüfung liefert also einen CO₂-Wert für eine bestimmte Nutzfahrzeugkonfiguration (Solo-Lastwagen oder Kombination mit Anhänger bzw. Zugmaschine mit Auflieger), einem Norm-Aufbau und/oder -Anhänger/Auflieger berücksichtigt. In einer

weiteren Einführungsstufe einer Nutzfahrzeug-CO₂-Typprüfung sollten ebenfalls Aufbauten und Anhänger/Auflieger mittels Vergleich der Fahrwiderstände gegen einen Norm-Aufbau oder -Anhänger/Auflieger verifiziert werden. Die entsprechenden Optionen eines möglichen Messverfahrens werden in Abschnitt 2.4.1.2.1. diskutiert.

2.4.1.1 Rollwiderstand

Der Rollwiderstand, welcher zur Ermittlung eines CO₂-Wertes für ein Fahrzeug herangezogen wird, soll auf dem spezifischen Rollwiderstandswert der Reifen basieren, welcher gemäß der Richtlinie 1222/2009/EG ermittelt wird. Der gesamte Rollwiderstand einer Nutzfahrzeugkonfiguration wird nach folgender Gleichung ermittelt.

$$F_{\text{roll}} = C_{\text{corr,roll}} \cdot \sum_i^{\text{axles}} \text{RRC}_i \cdot F_{z,i} \quad \text{Gleichung 2}$$

mit: F_{roll} - gesamter Rollwiderstand [N]
 RRC - Rollwiderstandskoeffizient gemäß 1222/2009/EC [-]
 F_z - vertikale Achslast [N]
 $C_{\text{corr,roll}}$ - Korrekturfaktor zur Umrechnung von Ergebnissen der Abrollprüfung auf durchschnittliche Realbedingungen

Die Anwendung von Gleichung 2 im HDV-CO₂-Simulator führt zu einem konstanten Rollwiderstand unter allen Fahrbedingungen. Potenzielle Abhängigkeiten des Rollwiderstandes von bestimmten Fahrbedingungen, wie z. B. Abhängigkeiten von der Fahrgeschwindigkeit oder der Umgebungstemperatur, sind nicht berücksichtigt. Falls eine Umrechnung zwischen Abrollprüfungsergebnissen und Realbedingungen ($C_{\text{corr,roll}}$) notwendig wird, ist dies Gegenstand einer weiteren Untersuchung /4/. In der Literatur /5/ ist ein Faktor zur Herstellung von Bezügen zwischen Ergebnissen einer Abrollprüfung und der Fahrt in der Ebene gemäß Gleichung 3 (Entwurf eines Umrechnungsfaktors für Rollwiderstands-Norm-Werte) spezifiziert.

$$C_{\text{road}} = \sqrt{\frac{r_{\text{drum}}}{r_{\text{drum}} + r_{\text{tire}}}} \quad \text{Gleichung 3}$$

mit: C_{road} - Korrekturfaktor für Fahrt in der Ebene an Stelle der Messtrommel
 r_{drum} - Durchmesser der Messtrommel [m] (=2 m für Werte gemäß 1222/2009/EG)
 r_{tire} - Reifendurchmesser

Für die wohl meist verbreitete Nutzfahrzeug-Reifendimension (315/80 R22,5) beläuft sich der Korrekturfaktor auf 0,815. Dies bedeutet, dass der Rollwiderstand, welcher in der Prüftrommel ermittelt wird, den Rollwiderstand beim Abrollen in der Ebene um ca. 20 % überschätzt. Im Realbetrieb sind demnach weitere Einflussfaktoren, wie z. B. der Reifenverschleiß oder die Fahrbahnoberflächenbeschaffenheit zu berücksichtigen. Die Definition des allgemeinen Faktors $C_{\text{corr, roll}}$ muss somit, beispielsweise im Rahmen einer abschließenden Kalibrierung des Simulators, weiter untersucht werden, indem Kraftstoffverbrauchswerte, die mittels Simulator berechnet wurden, mit den Verbrauchsdaten der Fahrzeugbetreiber verglichen werden.

Zur Anwendung von Gleichung 2 müssen die Achslasten der Nutzfahrzeugkonfiguration bekannt sein. In diesem Zusammenhang wäre eine detaillierte Berechnung für jede beliebige Fahrzeugkonfiguration zu aufwendig, da die genauen Gewichte und Positionen der Fahrzeugkomponenten (Chassis, Motor etc.) bekannt sein müssten. Daher wird vorgeschlagen, einen vereinfachten Ansatz gemäß Gleichung 4 heranzuziehen.

$$F_{z,i} = m_{\text{veh}} \cdot g \cdot sF_{z,i}$$

Gleichung 4

mit: $F_{z,i}$ - Achslast der Achse i [N]
 m_{veh} - Gesamtmasse des Fahrzeugen [N]
 g - Gravitationskonstante, 9,81 m/s²
 $sF_{z,i}$ - Anteil der Achse i an der Gesamtmasse des Fahrzeuges [-]

Die Gesamtmasse des Fahrzeuges m_{veh} ist gemäß der Fahrzeugsegmentierung (Abschnitt 3.2.1) verfügbar. Für die Bemessung des Anteils einer Achse an der Gesamtmasse des Fahrzeuges bieten sich drei Optionen an:

- a) Annahme einer Gleichverteilung der Gesamtmasse der Fahrzeugkonfiguration,
- b) Annahme einer definierten Achslastverteilung, welche für alle Fahrzeugklassen definiert ist sowie die
- c) Verwendung des %-Anteils der maximal vorhandenen Achslasten.

Welche dieser drei Optionen am geeignetsten für ein CO₂-Typprüfverfahren erscheint, muss weiter untersucht werden. Für die Pilotphase wird Ansatz c) vorgeschlagen.

2.4.1.2 Luftwiderstand

Der Luftwiderstand ist die Kraft, welche der Bewegungsrichtung des Fahrzeuges entgegenwirkt. Im HDV-CO₂-Simulator wird diese Kraft gemäß Gleichung 5 abgebildet.

$$F_{\text{air}} = (C_d \cdot A_{\text{cr}} \cdot \frac{\rho_{\text{air,ref}}}{2} \cdot v_{\text{veh}}^2) \cdot C_{\text{corr,air}}$$

Gleichung 5

mit:	F_{air}	- Luftwiderstand [N]
	C_d	- Luftwiderstandsbeiwert [-]
	A_{cr}	- Querschnittsfläche des Fahrzeuges [m ²]
	$\rho_{\text{air,ref}}$	- Dichte der Umgebungsluft unter Normbedingungen, 1,188 kg/m ³
	v_{veh}	- Fahrzeuggeschwindigkeit [m/s]
	$C_{\text{corr,air}}$	- optionaler Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des Seitenwindes [-]

In Gleichung 5 wird der Luftwiderstand basierend auf der jeweiligen Fahrzeuggeschwindigkeit berechnet. In der Realität haben ebenfalls die Windverhältnisse in der Fahrzeugumgebung einen Einfluss auf den Luftwiderstand. Insbesondere bei Gliederzugkombinationen und Sattelzügen reagiert der Luftwiderstand empfindlich auf den Einfluss von Seitenwind. In einem Berechnungsansatz könnte die Seitenwindempfindlichkeit als Abhängigkeit des C_d -Wertes vom Gierwinkel "β" (Winkel zwischen Gesamtluftstrom und Fahrzeuglängsachse) ausgedrückt werden. Eine explizite Bestimmung dieser $C_d = f(\beta)$ -Kausalität im Typprüfprozess wird nicht empfohlen, da ein enormer Aufwand in Abhängigkeit der Aufbauform betrieben werden müsste. Jedoch erhöht der Wind in der Fahrzeugumgebung den Luftwiderstand und damit substantiell den gesamten Kraftstoffverbrauch, wodurch eine Vernachlässigung dieser Tatsache ausgeschlossen ist. Der Einfluss könnte durch Einführung eines allgemeinen Korrekturfaktor $C_{\text{corr,air}}$ berücksichtigt werden. ACEA schlägt hier die Bestimmung eines solchen Faktors als Funktion der Fahrzeuggeschwindigkeit basierend auf $C_d = f(\beta)$ -Kurven und durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten, welche für jede Fahrzeugklasse zu definieren sind, vor. Eine endgültige Definition dieses Korrekturfaktors ist noch nicht geschaffen.

Der Parameter, welcher für jedes einzelne Nutzfahrzeug zu bestimmen ist, ist das Produkt ($C_d \cdot A_{\text{cr}}$) von Luftwiderstandsbeiwert und Fahrzeugquerschnittsfläche. Dieser Wert soll bei Fahrten mit konstanter Fahrzeuggeschwindigkeit auf einer Teststrecke gemessen werden. Die entsprechende Testprozedur wird im Weiteren detailliert beschrieben.

In einer späteren Phase der Einführung einer HDV-CO₂-Typprüfung ist die Berücksichtigung von aerodynamischen Variationen am Fahrzeugaufbau (z. B. Windabweiser, Spoiler) mittels Strömungsmodell vorgesehen. So soll durch Simulation der Luftwiderstand abgeschätzt werden können, anstatt jede Fahrzeugvariation auf der Teststrecke zu vermessen. Für diesen Zweck muss jedoch eine Validierung des Strömungsmodells definiert werden.

2.4.1.2.1 Konstantfahrten

Das Ziel dieser Messprozedur ist die Bestimmung des Produktes aus Luftwiderstandsbeiwert und Querschnittsfläche ($C_d \cdot A_{cr}$) der jeweiligen Fahrzeugkonfiguration.

Grundprinzip

- Das Antriebsmoment wird bei vier konstanten Geschwindigkeiten auf einem Test-Rundkurs gemessen.
- Der ermittelte Gesamtfahrwiderstand wird um den Gradienten der Strecke, Schwankungen der Fahrzeuggeschwindigkeit und optional um den Umgebungswind korrigiert. Ob die Umgebungswindkorrektur im letztendlichen Vorschlag des Prüfverfahrens eingebunden wird, soll in einer Pilotphase herausgearbeitet werden.
- Roll- und Luftwiderstand des Fahrzeuges werden über einen mathematischen Ansatz voneinander separiert.
- Der berechnete ($C_d \cdot A_{cr}$)-Wert basiert auf dem Gesamtluftwiderstand und ist auf Standard-Umgebungsbedingungen (1000 mbar und 20 °C) normiert.
- Für die Konstantfahrten wird vorgeschlagen, den Kraftstoffverbrauch mittels einer mobilen Verbrauchsmesseinheit zu bestimmen. Diese Daten können für eine Validierung des HDV-CO₂-Simulators herangezogen werden und bieten zusätzlich die Möglichkeit, die Leerlaufverluste von Nebenaggregaten bestimmen zu können.

Detaillierte Beschreibung der vorgeschlagenen Methode

Teststrecke

- Die Teststrecke soll so beschaffen sein, dass die maximale Fahrgeschwindigkeit auch in den Kurven zwischen den Geraden gefahren werden kann.
- Die Fahrbahnoberfläche soll aus Asphalt oder Beton bestehen und trocken, eben und sauber beschaffen sein. Da der Rollwiderstand der Messung von dem Ergebnis separiert wird, ist eine detailliertere Spezifikation der Streckenoberfläche nicht notwendig.
- Ein detailliertes Höhenprofil der geraden Streckenabschnitte soll verfügbar sein. Die Anforderungen an die Genauigkeit werden mit +/- 3 cm für eine Sektion von maximal 100 m Länge vorgeschlagen. Ob fixe Grenzen für den Gradienten der Strecke zu definieren sind, wird in einer Pilotphase untersucht.

Umgebungsbedingungen

Da die Methoden zur Korrektur der Messergebnisse hinsichtlich der Umgebungsbedingungen nicht endgültig definiert sind, bleibt also eine Festlegung von Umgebungsbedingungen für gültige Messungen noch offen. Für die Pilotphase wird vorgeschlagen, dass die Umgebungstemperatur im Bereich von 5 °C bis 35 °C liegen sollte. Über eine Festlegung von Windbedingungen für eine gültige Messung soll nach Auswertung der Pilotphase entschieden werden.

Fahrzeugausrüstung und -einstellung

- Das Prüffahrzeug soll nicht beladen sein, um so eine höhere Genauigkeit bei der Bestimmung des Luftwiderstandes erzielen zu können.

-
- Entsprechend dem realen Einsatz sollen handelsübliche Reifen montiert sein, die mit dem maximal möglichen Fülldruck eingestellt sind.
 - Die Einstellungen des Fahrzeuges sollen dem realen Einsatz entsprechen, also alle Spiegel sollen in der korrekten Position und alle Fenster und Klappen geschlossen ein. Die Klimaanlage soll abgeschaltet sein oder im Umluftmodus betrieben werden.
 - Fahrzeuge, die als Glieder- oder Sattelzug vermessen werden, sollen hinsichtlich des Anhängers bzw. Aufliegers den Vorgaben eines spezifizierten Norm-Aufbaus folgen.

Messausrüstung

- Die Antriebsmomente aller angetriebenen Achsen $T_{q_{wh,(l,r)}}$ [Nm] sollen mit Drehmomentmessnaben an den Radnaben ermittelt werden.
- Die Fahrzeuggeschwindigkeit über Grund v_{veh} [km/h] ist mittels GPS oder eines ähnlich genauen Messsystems zu erfassen.
- Die Fahrzeugposition (Länge und Breite) ist mittels GPS aufzuzeichnen.
- Der Kraftstoffverbrauch soll über ein mobiles Verbrauchsmesssystem erfasst werden. Die Verwendung von Motorsteuergerätedaten wird hier nicht vorgeschlagen.
- Die Umgebungsbedingungen (Temperatur T_{amb} [K], Luftdruck p_{amb} [mbar] und Windgeschwindigkeit v_w [km/h]) während des Fahrversuches sollen an einer lokalen Wetterstation aufgezeichnet werden. Die Eignung der jeweiligen Messposition ist noch nachzuweisen, siehe z. B. U.S. Code of Federal Register, §1066.310 /3/.
- In der Pilotphase sollen auch die aktuellen Strömungsbedingungen der Luft, welche auf das Fahrzeug wirken (Gesamtluftstromgeschwindigkeit v_{air} [km/h] und Gierwinkel β [°] zwischen gesamten Luftstrom und Fahrzeuglängsachse), mit einem mobilen Anemometer gemessen werden. Dazu muss das Anemometer so hoch (und damit möglichst frei von Fahrzeug-Turbolenzen) auf dem Fahrzeug montiert werden, dass über die gemessene Strömungsgeschwindigkeit und die ermittelte Windrichtung die Geschwindigkeit des Gesamtluftstromes samt Gierwinkel ermittelt werden kann. Die Aerodynamik des Fahrzeuges darf vom Anemometer nicht beeinträchtigt werden.

Basierend auf den Erfahrungen aus diesem Vorhaben des UBA und dem LOT2 Vorhaben der EU-Kommission ist die Berücksichtigung der modalen Strömungsbedingungen zu hinterfragen.

Die Komplexität der Erfassung verlässlicher Messdaten für ungestörte Strömungsbedingungen wirkt dem Nutzen dieser zusätzlichen Daten zur Ermittlung der Fahrwiderstände deutlich entgegen. Um ein robustes und transparentes Messverfahren darzustellen, sind weitere Standards zu erarbeiten. Hierzu zählen:

- die Definition einer Norm-Position des Anemometers auf dem Fahrzeug,
- die Definition einer Norm-Rahmen-Konstruktion zur Befestigung des Anemometers auf dem Fahrzeug und
- insbesondere die Definition einer Kalibriervorschrift zur Messung der Luftströmung.

Diese sollten dann im Rahmen der Pilotphase vor allem hinsichtlich möglicher Messunsicherheiten auch mit ACEA abgestimmt werden. Besonders sind praktische Erfahrungen mit der Messung der Strömungsbedingungen sowie mit der Raddrehmomentmessung zu sammeln. Ein System zur Raddrehmomentmessung stand während der Arbeiten an den Projekten des UBA und der EU-Kommission nicht zur Verfügung und ist derzeit auch keine Standardausrüstung bei der Typgenehmigung von Nutzfahrzeugen.

Durchführung von Konstantfahrten

Zu Beginn der Konstantfahrten wurde das Fahrzeug für mindestens 30 Minuten bei 80 km/h konditioniert, damit sich für den Motor und die Komponenten des Triebstranges übliche Betriebsbedingungen einstellen.

Die Durchführung der Konstantfahrten erfolgte bei 90 km/h bzw. der Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeuges sowie bei 65 km/h, 40 km/h und 15 km/h. Die Messung jedes Geschwindigkeitsniveaus erfolgte, zur Gewährleistung stabiler Betriebsbedingungen während der Messdauer, nach einer 45-minütigen Vorkonditionierung bei der entsprechenden Geschwindigkeit. Die Messdauer für jeden Geradenabschnitt der Teststrecke pro Richtung erforderte 20 gültige Messdatensätze mit einer Länge von je 20 s. Die genaue Anzahl und Dauer der einzelnen Messdatenpakete wird noch überprüft, nachdem offene Punkte, insbesondere die Genauigkeit der Ergebnisse, validiert wurden.

Die Wahl der Motordrehzahl erfolgte über die Wahl des geschalteten Ganges in einem Bereich von 40 % bis 80 % der normierten Drehzahl n_{norm} entsprechend der Gleichung 6. Bei Automatikgetrieben stellte sich die Drehzahl nach der Wahl des Schaltcomputers ein.

$$n_{\text{norm}} = \frac{n_{\text{CS}} - n_{\text{idle}}}{n_{\text{rated}} - n_{\text{idle}}}$$

Gleichung 6

mit: n_{norm} - normierte Motordrehzahl [-]
 n_{CS} - Motordrehzahl im gewählten Gang bei entsprechender Konstantfahrgeschwindigkeit [rpm]
 n_{idle} - Leerlaufdrehzahl [rpm]
 n_{rated} - Nenndrehzahl [rpm]

Der gewählte Gang während der Konstantfahrt beeinflusst den gemessenen Kraftstoffverbrauch, der für Validierungszwecke und optional für die Bestimmung von Leerlaufverlusten der Nebenaggregate herangezogen werden kann. Entsprechend der Diskussionen mit ACEA können die Fahrwiderstandsmessungen bei kleinen Geschwindigkeiten von Unsicherheiten behaftet sein. Als alternative Methode schlägt ACEA einen Schleppversuch des gesamten Fahrzeuges vor. Dabei werden die Antriebswellen ausgebaut und der Fahrwiderstand mittels Kraftmessdose in der Zugdeichsel gemessen. Im Rahmen der Pilotphase soll diese Methode näher untersucht werden.

Datenauswertung

Bei der Auswertung der Messdaten fanden nur die Datensätze Berücksichtigung, welche Fahrten auf geraden Streckenabschnitten beinhalten, da dort außer den Fahrwiderstandskräften keine anderen Kräfte (z. B. Seitenkräfte) auf das Fahrzeug einwirkten. Eine Erfassung der Messdaten in einer 1-Hz-Auflösung ist dabei hinreichend genau.

Die folgenden Größen wurden basierend auf den erfassten Messdaten und den Fahrzeugspezifikationen berechnet.

i. Zugkraft / Traction force F_{trac} [N]

$$F_{\text{trac},i} = \frac{\sum^{\text{drivenaxles}} (Tq_{\text{wh-l},i} + Tq_{\text{wh-r},i})}{r_e} \quad \text{Gleichung 7}$$

mit: $Tq_{\text{wh-l}}$ - gemessenes Drehmoment linkes Rad [Nm]
 $Tq_{\text{wh-r}}$ - gemessenes Drehmoment rechtes Rad [Nm]
 r_e - effektiver Reifen Abrollradius [m] nach Gleichung 21

ii. Fahrzeuglängsbeschleunigung a_x [m/s²]:

$$a_{x,i} = \frac{1}{3,6} \frac{v_{\text{veh},i+1} - v_{\text{veh},i-1}}{2} \quad \text{Gleichung 8}$$

mit: v_{veh} - vehicle speed [km/h]

- iii. Die Höhe wurde über das Höhenprofil der Teststrecke ermittelt. Die Zuordnung der Fahrzeuggeschwindigkeit zur Höhe des jeweiligen Höhenprofils erfolgte mittels der aufgezeichneten GPS-Koordinaten.
- iv. Optional: Falls die Konstantfahrten mittels eines mobilen Anemometers durchgeführt werden, soll hinsichtlich der Strömungsgeschwindigkeit des Fahrtwindes v_{air} [km/h] der Gierwinkel β [°] zwischen Gesamtströmung und Fahrzeuglängsachse bestimmt werden. Abhängig von der Position des Anemometers sollen diese Größen unter Anwendung einer Korrekturfunktion berechnet werden, da die Anbringung eines On-Board-Anemometers die Aerodynamik des Fahrzeuges beeinflusst. Eine Definition der Korrekturmethode ist noch nicht festgelegt. Es kann entweder die gesamte Strömungsgeschwindigkeit der Luft oder nur die Strömungsgeschwindigkeit der Luft in Fahrtrichtungsrichtung Anwendung finden. Der zweite Ansatz erfolgt nach Gleichung 9.

$$v_{\text{air},x,i} = v_{\text{air},i} \cdot \cos(\beta_i) \quad \text{Gleichung 9}$$

mit: v_{air} - Strömungsgeschwindigkeit der Luft [km/h]
 $v_{\text{air},x}$ - Strömungsgeschwindigkeit der Luft in Fahrtrichtung x [km/h]
 β - Gierwinkel [°]

Die 1-Hz-Datensätze wurden in Sätzen zu je 20 Sekunden gruppiert. So ergaben sich nach Gleichung 10 für jeden 20-s-Datensatz basierend auf Durchschnittswerten folgende Größen:

Fahrzeuggeschwindigkeit v_{veh} [km/h]
 Fahrzeugbeschleunigung a_x [m/s²]
 Zugkraft F_{trac} [N]
 Umgebungstemperatur T_{amb} [°C]
 Umgebungsluftdruck p_{amb} [mbar]

$$X_j = \frac{1}{20} \cdot \sum_{i=1}^{20} X_i \quad \text{Gleichung 10}$$

mit: X - Gemessene Größe []
 i - Zeitindex von 1 Hz Daten innerhalb des 20s Datensatzes [s]
 j - Index des 20s Datensatzes []

Innerhalb eines jeden 20-s-Datensatzes wurde die durchschnittliche Zugkraft hinsichtlich des Einflusses des Streckengradienten und der Beschleunigung durch Geschwindigkeitsabweichungen korrigiert.

Die daraus resultierende Widerstandskraft beinhaltet so nur noch den Luft- und Rollwiderstand unter den gemessenen Bedingungen (Gleichung 11).

$$F_{\text{drag, meas}, j} = F_{\text{trac}, j} - F_{\text{grd}, j} - F_{\text{acc}, j} \quad \text{Gleichung 11}$$

mit: $F_{\text{drag, meas}}$ - Summe aus Roll- und Luftwiderstand unter Messbedingungen [N]
 F_{trac} - Zugkraft [N]
 F_{grd} - Steigungswiderstand [N]
 F_{acc} - Beschleunigungswiderstand [N]

Der durchschnittliche Steigungswiderstand innerhalb des 20-s-Datensatzes wurde gemäß

Gleichung 12 berechnet.

$$F_{\text{grd}, j} = m_{\text{veh}} \cdot g \cdot \frac{\Delta h_j}{\Delta s_j} \quad \text{Gleichung 12}$$

mit: m_{veh} - Fahrzeuggesamtmasse inkl. Zuladung [kg]
 g - Gravitationskonstante g 9,81 [m/s²]
 Δh_j - zurückgelegter Höhenunterschied im 20-s-Datensatz [m]
 Δs_j - Zurückgelegte Strecke im 20-s-Datensatz [m]

Der durchschnittliche Beschleunigungswiderstand folgt aus Gleichung 13

$$F_{\text{acc}, j} = (m_{\text{veh}} + m_{\text{rot, wh}}) \cdot a_{x, j} \quad \text{Gleichung 13}$$

mit: m_{veh} - total Fahrzeuggesamtmasse inkl. Zuladung [kg]
 $m_{rot,wh}$ - Äquivalente Masse der rotierenden Räder³ [kg]
 a_x - Fahrzeugbeschleunigung in Fahrtrichtung [m]

Basierend auf den Messungen zu LOT2 ändert sich das Ergebnis ($C_d \cdot A_{cr}$) nicht signifikant, losgelöst davon, ob eine Korrektur des Streckengradienten oder der Beschleunigungskraft für jeden einzelnen 20-s-Datensatz Anwendung findet oder nicht.

Dies ergibt sich durch die Angleichung der Messungen aus längeren Zeitperioden über beide Fahrtrichtungen der Teststrecke. Dennoch führt die Anwendung der Gradienten- und Beschleunigungskorrektur zu einer Steigerung der Interpretierbarkeit der Messdaten und zu einer robusteren Prüfprozedur.

Das Streichen von Messdaten, die definierte Qualitätskriterien nicht erfüllen, muss Bestandteil einer weiteren Überprüfung werden. Vor diesem Hintergrund ist in ISO 10521-1 (Konstantfahrmethode zur Bestimmung des Fahrwiderstandes für Fahrzeuge $\leq 3,5$ t) eine maximal zulässige Geschwindigkeitsabweichung innerhalb einzelner Datensätze definiert. Im Rahmen der hier vorgeschlagenen Auswertemethode erschien ein Ausschlusskriterium für Messdaten bisher nicht erforderlich zu sein. In einer Pilotphase müssen diese Kriterien an realen Messdaten verifiziert und untersucht werden.

Werden die gemessenen Widerstandskräfte auf Basis der Fahrzeuggeschwindigkeit analysiert (nicht anhand des on-board gemessenen Luftstromes), kann eine solche Verifizierung mittels des Parameters „Statistische-Genauigkeit p“ gemäß ISO 10521 erfolgen. Es wird vorgeschlagen, diesen Parameter p für jeden Satz von Widerstandskräften $F_{drag, meas, j}$ für ein bestimmtes Geschwindigkeitsniveau und eine bestimmte Fahrtrichtung zu bestimmen. Ein gültiges Ergebnis wird angenommen, wenn der statische Fehler unterhalb von 3 % liegt.

Falls die Analyse der Messdaten auf dem on-board gemessenen Luftstrom basiert, ist diese Art der Verifizierung der Messergebnisse nicht anwendbar. So ist, falls die Konstantfahrmethode die On-Board-Luftstrommessung zulässt, eine Verifizierungsmethode zu entwickeln.

Im nächsten Schritt der Auswertung wurde eine Regression über alle Wertepaare von $v_{veh, j}$ und $F_{drag, meas, j}$ gebildet. Zur Auswertung von Daten des mobilen Anemometers wurden an Stelle von $v_{veh, j}$ in der Regression die Größen $v_{air, x, j}$ oder $v_{air, j}$ eingesetzt.

³ Optional kann ebenfalls die Rotationsträgheit des Motors und des Triebstranges berücksichtigt werden, falls diese Größen im Rahmen der HDV-CO₂-Prüfprozedur verfügbar sind.

$$F_{\text{drag,meas}} = f_{0,\text{meas}} + f_{2,\text{meas}} \cdot \left(\frac{v_{\text{veh}}}{3,6} \right)^2 \quad \text{Gleichung 14}$$

mit: $F_{\text{drag,meas}}$ - Summe aus Roll- und Luftwiderstand unter Messbedingungen [N]
 $f_{0,\text{meas}}$ - Konstanter Fahrwiderstandsterm unter Messbedingungen [N]
 $f_{2,\text{meas}}$ - Quadratischer Fahrwiderstandsterm unter Messbedingungen [Ns^2/m^2]
 v_{veh} - Fahrzeuggeschwindigkeit [km/h]

Innerhalb der Regressionsanalyse sind die einzelnen Punkte so zu wichten, dass die Summe der Wichtungsfaktoren für jede gemessene Geschwindigkeit (90, 65, 40 und 15 km/h) 25 % ergibt. So wird sichergestellt, dass eine Gleichverteilung der gemessenen Kräfte unabhängig von der Anzahl der verfügbaren Datensätze je Geschwindigkeit vorherrscht. Im Weiteren erfolgt die Umwandlung der Fahrwiderstandsfunktion von den Messbedingungen in Normbedingungen, welche gemäß Gleichung 15 mit 20 °C und 1000 mbar definiert sind.

$$\begin{aligned} F_{\text{drag,ref},j} &= F_{\text{drag,meas},j} \cdot (s_{\text{roll},j} \cdot K_{\text{roll},j} + s_{\text{air},j} \cdot K_{\text{air},j}) \\ s_{\text{roll},j} &= \frac{f_{0,\text{meas}}}{F_{\text{drag,meas},j}} \\ s_{\text{air},j} &= 1 - s_{\text{roll},j} \\ K_{\text{roll},j} &= 1 + k \cdot (T_{\text{amb,meas},j} - 293,15) \\ K_{\text{air},j} &= \frac{1000 \cdot T_{\text{amb,meas},j}}{p_{\text{amb,meas},j} \cdot 293,15} \end{aligned} \quad \text{Gleichung 15}$$

mit: $F_{\text{drag,ref}}$ - Summe von Luft- und Rollwiderstand unter Normbedingungen [N]
 $F_{\text{drag,meas}}$ - Summe von Luft- und Rollwiderstand unter Messbedingungen [N]
 s_{roll} - Anteil des Rollwiderstandes am Gesamtwiderstand [-]
 s_{air} - Anteil des Luftwiderstandes am Gesamtwiderstand [-]
 K_{roll} - Korrekturfaktor für den Rollwiderstand [-]
 K_{air} - Korrekturfaktor für den Luftwiderstand [-]
 k - Korrekturkoeffizient f. d. Einfluss der Umgebungstemperatur auf den Reifenrollwiderstand, 0.006 [K^{-1}]
 T_{amb} - Umgebungstemperatur [K]
 p_{amb} - Umgebungsluftdruck [mbar]

In der Auswerteprozedur soll die Korrektur des Rollwiderstandes hinsichtlich der Umgebungstemperatur die Unterschiede der Umgebungsbedingungen einzelner Datensätze kompensie-

ren. Die finale Festlegung der Korrekturkoeffizienten „k“ hinsichtlich des Einflusses der Temperatur auf den Rollwiderstand sollte in weiteren Untersuchungen betrachtet werden /4/.

Basierend auf den Widerstandskräften, welche auf Normbedingungen korrigiert sind, erfolgt eine Regression über die Wertepaare $v_{veh,j}$ und $F_{drag,j,ref}$ der 20-s-Datensätze entsprechend

Gleichung 16. Falls die Auswertung Daten des mobilen Anemometers beinhaltet, sind an Stelle von $v_{veh,j}$ in der Regression die Größen $v_{air,x,j}$ oder $v_{air,j}$ anzuwenden.

$$F_{drag,ref} = f_{0,ref} + f_{2,ref} \cdot \left(\frac{v_{veh}}{3,6} \right)^2 \quad \text{Gleichung 16}$$

mit: $f_{0,ref}$ - linearer Widerstandterm unter Normbedingungen [N]
 $f_{2,ref}$ - quadratischer Widerstandterm unter Normbedingungen [Ns^2/m^2]

Gleichung 17 liefert das Produkt ($C_d \cdot A_{cr}$) aus Luftwiderstandsbeiwert und Querschnittsfläche des Fahrzeuges.

$$C_d \cdot A_{cr} = \frac{2 \cdot f_{2,ref}}{\rho_{air,ref}} \quad \text{Gleichung 17}$$

mit: C_d - Luftwiderstandsbeiwert [-]
 A_{cr} - Querschnittsfläche des Fahrzeuges [m^2]
 $\rho_{air,ref}$ - Dichte der Luft unter Normbedingung, $1,188 \text{ kg/m}^3$

Eine Trennung des Produktes ($C_d \cdot A_{cr}$) ist nicht notwendig. Dieser Wert kann direkt in den HDV-CO₂-Simulator übergeben werden.

2.4.1.2.2 Ausrollversuche

Ausrollversuche werden weiterhin als Option zur Bestimmung des Luftwiderstandes alternativer Aufbauten und Auflieger angesehen. Ebenfalls bieten sie eine Rückfallstrategie, falls sich bei der Raddrehmomentmessung und den Konstantfahrtversuchen bisher unbekannte Nachteile zeigen sollten. Die Auswertung der Ausrollversuche wird in einem separaten Abschnitt dieser Arbeit beschrieben.

2.4.1.3 Beschleunigungswiderstand

Der Beschleunigungswiderstand beinhaltet Kräfte zur Überwindung der Trägheit des Fahrzeuges in Längsrichtung und der Trägheit rotierender Massen. Im HDV-CO₂-Simulator wird dieser Widerstand nach Gleichung 18 ermittelt.

$$F_{\text{acc}} = (m_{\text{veh}} + m_{\text{rot,wh}} + J_{\text{dt}} \cdot \frac{i_{\text{axle}}^2}{r_e^2} + J_{\text{eng}} \cdot \frac{i_{\text{gear}} \cdot i_{\text{axle}}}{r_e^2}) \cdot a_x \quad \text{Gleichung 18}$$

mit: F_{acc} - Beschleunigungswiderstand [N]
 m_{veh} - Gesamtfahrzeugmasse inkl. Zuladung [kg]
 $m_{\text{rot,wh}}$ - Äquivalente Masse der Räder [kg]
 J_{eng} - Motorträgheitsmoment [kg·m²]
 J_{dt} - Triebstrang-Trägheitsmoment [kg·m²]
 i_{axle} - Achs-Übersetzungsverhältnis [-]
 i_{gear} - Übersetzungsverhältnis der momentanen Gangstufe [-]
 r_e - Effektiver Reifenabrollradius [-]
 a_x - Beschleunigung in Fahrtrichtung [m/s²]

Die Gesamtfahrzeugmasse ist über die Definition der Fahrzeugsegmente verfügbar (siehe Abschnitt 2.2). Zur Bestimmung der äquivalenten Massen der Räder $m_{\text{rot,wh}}$ wird empfohlen, Gleichung 19 aus U.S. Code of Federal Regulations §1066.310 /7-ii/ anzuwenden.

$$m_{\text{rot,wh}} = 56,7 \cdot N_{\text{wh}} \quad \text{Gleichung 19}$$

mit: $m_{\text{rot,wh}}$ - Äquivalente Masse der Räder [kg]
 N_{wh} - Radanzahl der Nutzfahrzeugkonfiguration, Zwillingräder werden mit 2 gezählt

Zur Bestimmung der Motorträgheitsmomente J_{eng} existieren zwei Möglichkeiten:

- a) die Verwendung von Standardwerten, welche auf Basisdaten des Motors zurückzuführen sind (z. B. Nennleistung) und
- b) die Verwendung von Ergebnissen entsprechender Prüfstandsversuche.

Für Möglichkeit b) ist eine gesonderte Prüfprozedur notwendig, so dass an dieser Stelle weiterer Entwicklungsbedarf besteht. Für Möglichkeit a) findet in der Pilotphase folgende Formel Anwendung:

$$J_{\text{eng}} = 0,013 \cdot P_{\text{rated}}$$

Gleichung 20 I/2I

mit: J_{eng} - Motorträgheitsmoment [kgm²]
 P_{rated} - Nennleistung des Motors [kW]

Mit Daten aus der Pilotphase wird die Berechnung des Motorträgheitsmoments J_{eng} weiter optimiert.

Der Einfluss des Trägheitsmomentes des Triebstranges auf den Kraftstoffverbrauch und damit auf die CO₂-Emissionen ist für konventionelle Getriebe sehr gering. Es wird vorgeschlagen, diesen Einfluss in der Pilotphase nicht weiter zu berücksichtigen und für die Auswertung des Luftwiderstandes einen Wert J_{dt} gleich Null zu definieren. Eine Entwicklung von Modulen zur Beschreibung des Getriebeverhaltens (Verluste, Schaltstrategie etc.) ist noch nicht abgeschlossen. Insbesondere das Modell eines Automatikgetriebes mit hydraulischem Drehmomentwandler ist derzeit noch völlig offen.

Der effektive Abrollradius r_e soll anhand der nominellen Raddimensionen der angetriebenen Achse(n) berechnet werden.

$$r_e = (2 \cdot w \cdot ar + 25,4 \cdot d_{\text{rim}}) \cdot 0,001 \cdot C_{\text{corr,rad}}$$

Gleichung 21

mit: r_e - Effektiver Abrollradius [m]
 w - Nominelle Reifenbreite [mm]
 ar - Seitenverhältnis [%]
 d_{rim} - Nominelle Felgenbreite [in]
 $C_{\text{corr,rad}}$ - Korrektur

Falls ein Korrekturfaktor anzuwenden ist, die den effektiven Abrollradius aus den nominellen Raddaten die realen Raddaten (Einfluss aus Abnutzung, Beladung etc.) abbildet, ist im Rahmen der Pilotphase eine eingehendere Untersuchung erforderlich. Momentan wird vorgeschlagen, diesen Faktor gleich 1 zu definieren.

2.4.1.4 Steigungswiderstände

Im HDV-CO₂-Simulationsmodell muss der Steigungswiderstand ebenfalls berücksichtigt werden, sofern die unterschiedlichen Fahrzeugeinsatzprofile eine definierte Steigung beinhalten. Der entsprechende Steigungswiderstand folgt aus Gleichung 22:

$$F_{\text{grd}} = m_{\text{veh}} \cdot g \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{\Delta h}{\Delta s}\right)\right) \quad \text{Gleichung 22}$$

mit: m_{veh} - Gesamtfahrzeugmasse inkl. Zuladung [kg]
 g - Gravitationskonstante, 9,81 [m/s²]
 $\Delta h / \Delta s$ - Streckengradient [-]

Zur Anwendung dieser Formel bedarf es hinsichtlich der Simulation keiner zusätzlichen Komponentenuntersuchungen.

2.4.1.5 Option für Fahrzeugaufbauten und Anhänger

Die Prüfprozedur zur Bestimmung des Luftwiderstandes von alternativen Aufbauten und Aufliegern bzw. Anhängern folgt der Prüfprozedur, welche für Fahrzeuge mit „Norm-Aufbau“ und Norm-Auflieger/Anhänger“ beschrieben wurde. Das Design einzelner Norm-Aufbauten ist nicht final entschieden. Daher wurden Ausrollversuche als zusätzliche Prüfmethode für die Bestimmung des Luftwiderstandes ebensolcher Aufbauten und Anhänger durchgeführt. Diese Methode wird auch in der Pilotphase weiter Berücksichtigung finden, da sie eine kostengünstige Alternative zu Konstantfahrten darstellt und liefert einen Wert ($C_d \cdot A_{cr}$) für ein alternatives Aufbaudesign mit einem gegebenen Chassis. Diese alternativen Werte können dann den für Norm-Aufbauten generierten Wert in der HDV-CO₂-Simulation ersetzen (siehe Abschnitt 2.1). Ob diese Prüfung mit beiden Konfigurationen (alternativer Aufbau und Norm-Aufbau) durchgeführt wird und nur ein relativer Unterschied in ($C_d \cdot A_{cr}$) in der Simulation berücksichtigt wird, ist noch offen. Ein laufendes ICCT/VDA-Vorhaben analysiert derzeit, ob der Ansatz relativer Änderungen des Luftwiderstandes die Genauigkeit annehmbar steigert. Die günstigere Methode wird sicher die Verwendung von absolut gemessenen ($C_d \cdot A_{cr}$) sein, weil diese die zusätzliche Vermessung der Normkonfiguration vermeidet. Für alternative Auflieger wird derzeit vorgeschlagen, das Verhältnis zum „Norm-Auflieger“ zu bestimmen, da es nicht möglich ist, eine „Norm-Zugmaschine“ zu definieren.

Daher sollt jede Serienzugmaschine für Prüfungen zugelassen werden, wobei eine minimal verkaufte Stückzahl festzulegen ist. Sicher werden so keine absoluten ($C_d \cdot A_{cr}$)-Werte darge-

stellt werden können, weil diese auch vom Design der Zugmaschine beeinflusst werden. Optional können alternative Auflieger mit spezifizierten Zugmaschinen der Typprüfung unterzogen werden. In diesem Fall kann ein absoluter Wert ($C_d \cdot A_{cr}$) im HDV-CO₂-Simulator angewandt werden. Die generierten Verbrauchs- und CO₂-Werte gelten dann jedoch nur für diese eine Kombination aus Zugmaschine und Auflieger. Diese Option könnte sich dennoch etablieren, sollte es Anreize zur Optimierung des gesamten Designs von Zugmaschine und Auflieger geben.

2.4.2 Motorenversuche

Zur Beurteilung der CO₂-Emissionen einer Nutzfahrzeugkonfiguration hat der Kraftstoffverbrauch des installierten Motors einen deutlichen Einfluss. Für den HDV-CO₂-Zertifizierungsprozess wird vorgeschlagen, den Kraftstoffverbrauch in einem Kennfeld als Funktion von Motordrehzahl und Motordrehmoment darzustellen.

2.4.2.1 Motorverbrauchskennfeld

Zur Darstellung eines Verbrauchskennfeldes können die in der EURO-VI-Typprüfung (Verordnung (EU) Nr. 582/2011) implementierten Prüfzyklen (WHTC – World Harmonized Transient und WHSC – World Harmonized Stationary Cycle) nicht direkt herangezogen werden. Grund hierfür ist, dass neben den Betriebspunkten dieser Zyklen weitere Betriebspunkte zur Darstellung eines Verbrauchskennfeldes erforderlich sind, die für die Fahrzyklen einer CO₂-Zertifizierung relevant erscheinen. Daher wird vorgeschlagen, die EURO-VI-Typprüfung um ein stationäres Verbrauchskennfeld zu ergänzen (Abbildung 4).

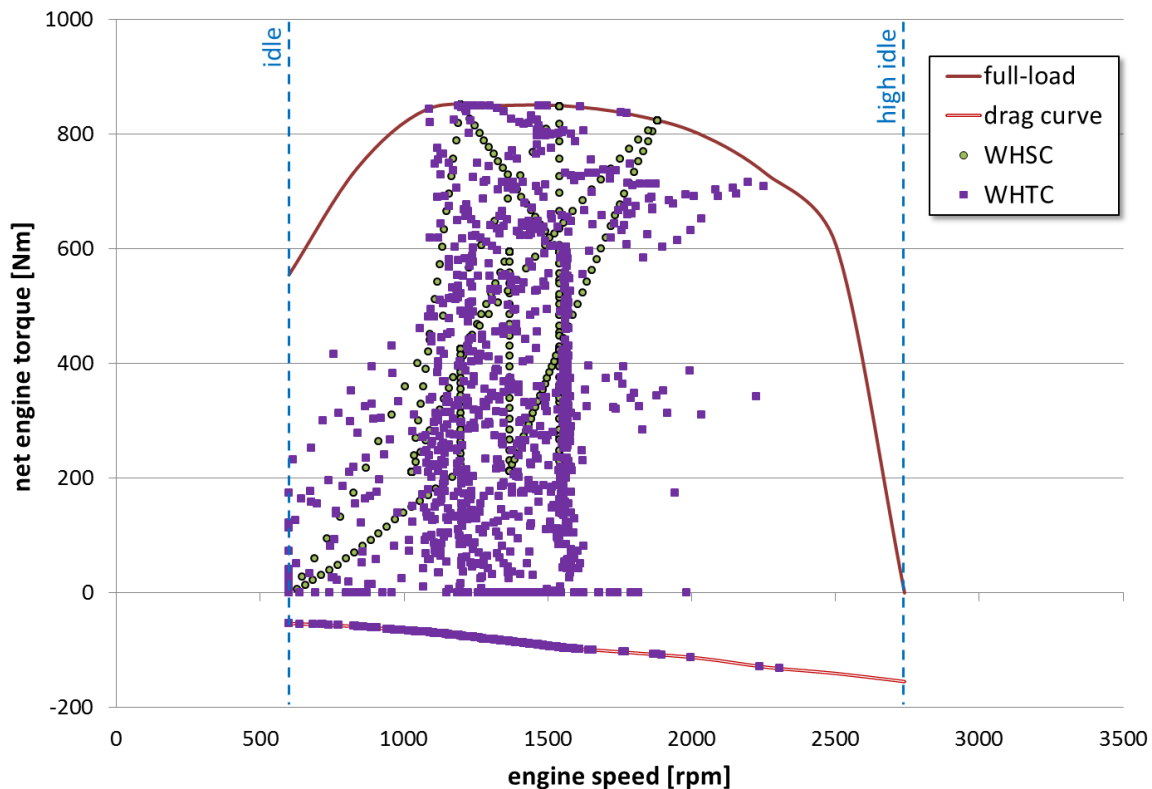


Abbildung 4: Beispiel von Motorbetriebspunkten im WHTC und WHSC im Verbrauchskennfeld (3) (Das Raster des dargestellten Kennfeldes trifft nicht ganz den aktuellsten Vorschlagsstand.)

Der vorgeschlagene Ansatz zur Messung eines Verbrauchskennfeldes ist in Stichpunkten beschrieben. Die Methode wurde zwischen ACEA und dem LOT2/UBA-Konsortium abgestimmt. Die Definitionen sollen auf Basis der Erfahrungen aus der Pilotphase optimiert werden. Folgende Randbedingungen sind dazu derzeit berücksichtigt:

- Das Kraftstoffverbrauchskennfeld soll auf einem Motorprüfstand in stationären Motorbetriebspunkten ermittelt werden.
- Die Einheiten des Verbrauchskennfeldes sind Motordrehzahl [1/min], effektives Motordrehmoment [Nm] und der Kraftstoffverbrauch [g/s].
- Das Raster der Prüfpunkte ist definiert über:

10 Motordrehzahlen, äquidistant zwischen unterem und oberem Leerlauf.

Die Lastpunkte des Motors bei den entsprechenden Drehzahlen sind durch das effektive Drehmoment des Motors definiert und werden wie folgt bestimmt:

- Die Motordrehzahl ("reference speed") mit dem größten Abstand zwischen dem Volllastdrehmoment und dem Motorschleppmoment soll aus den zehn zuvor bestimmten Drehzahlen ermittelt werden.
- Ein Referenz-Drehmoment-Abstand $\Delta T_{q_{ref}}$ wird für diese Drehzahlen entsprechend Gleichung 23 bestimmt.

$$\Delta T_{q_{ref}} = \frac{T_{q_{max,ref}} + |T_{q_{drag,ref}}|}{10} \quad \text{Gleichung 23}$$

mit: $\Delta T_{q_{ref}}$ - Abstand Referenz-Drehmoment [Nm]
 $T_{q_{max,ref}}$ - Volllast-Drehmoment bei Referenzdrehzahl [Nm]
 $T_{q_{drag,ref}}$ - Motorschleppmoment bei Referenzdrehzahl [Nm]

Dann wird die Anzahl der zu messenden Lastpunkte für jede Drehzahl „n“ gemäß Gleichung 24 bestimmt.

$$z_n = \frac{T_{q_{max,n}} + |T_{q_{drag,n}}|}{\Delta T_{q_{ref}}} \quad \text{Gleichung 24}$$

mit: z_n - Anzahl der zu messenden Lastpunkte bei Drehzahl „n“ [-], gerundet auf die nächst höhere Zahl.
 $T_{q_{max,n}}$ - Volllastdrehmoment bei Drehzahl „n“ [Nm]
 $T_{q_{drag,n}}$ - Schleppmoment bei „n“ [Nm]

Dann werden die effektiven Drehmomentwerte $T_{q_{j,n}}$ der Lastpunkte „j“ von 1 bis z_n für jede Drehzahl „n“ gemäß Gleichung 25 bestimmt.

$$T_{q_{j,n}} = -|T_{q_{drag,n}}| + j \frac{T_{q_{max,n}} + |T_{q_{drag,n}}|}{z_n} \quad \text{Gleichung 25}$$

Bei der Motorleerlaufdrehzahl (n_1) können Lastpunkte größer 50 % des Volllastmomentes gestrichen werden, falls diese nicht auf dem Prüfstand fahrbar sind. Abbildung 5 zeigt exemplarisch die sich ergebenden Betriebspunkte zur Ermittlung eines Verbrauchskennfeldes.

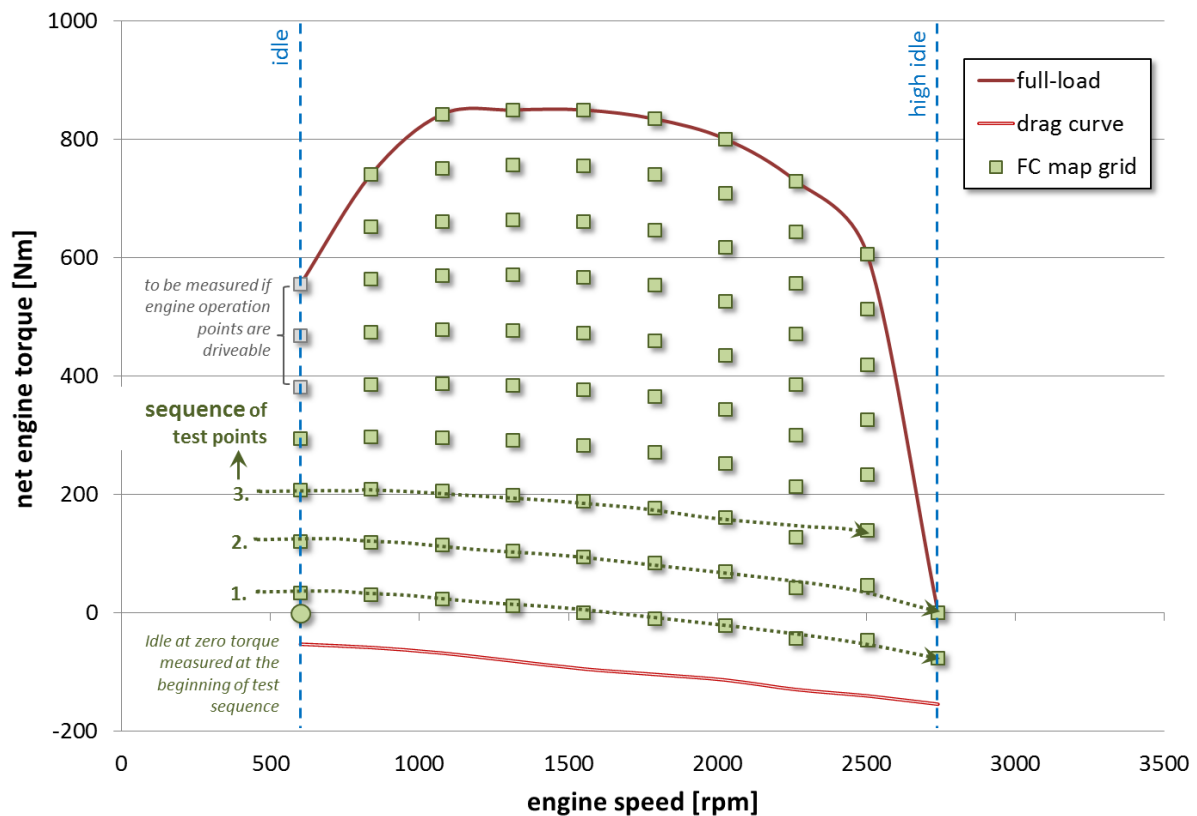


Abbildung 5: Beispiel eines Verbrauchskennfeldes

Für die Vermessung des Kennfeldes gilt:

- Die Messung zusätzlicher Drehzahl- und Lastpunkte ist zulässig.
- Während der Kennfeldvermessung ist der Kraftstoffverbrauch jedes einzelnen Punktes zu messen, sobald sich die Motor- und Abgasnachbehandlungstemperaturen stabilisiert haben. In diesem Kontext ist eine genaue Beschreibung der Messprozedur einschließlich der exakten Definition einer Reihenfolge der Prüfpunkte zu erarbeiten. Grundsätzlich kann die Messung den Vorgaben des WHSC folgen, jedoch mit unterschiedlichen stationären Lastpunkten.
- Grundsätzlich ist für jede Kombination von Motorhard- und -software ein gesondertes Kennfeld zu vermessen. Mögliche Regelungen zur Definition von Motorfamilien und einer damit verbundenen Reduktion an Messungen bedürfen einer weiteren Betrachtung.

2.4.2.2 Anwendung eines 'WHTC-Korrekturfaktors'

Die einfache Anwendung eines stationären Verbrauchskennfeldes im HDV-CO₂-Prozess weist zwei zentrale Defizite auf:

1. Die Emissionen und Kraftstoffverbräuche aus der WHSC-/WHTC-Prüfung und dem stationären Verbrauchskennfeld werden unter Umständen nicht vergleichbar sein.
2. Effekte des transienten Motorverhaltens sind im stationären Kennfeld nicht berücksichtigt.

Um diesen Defiziten entgegenzuwirken, wird die Anwendung eines WHTC-Korrekturfaktors vorgeschlagen, welcher auf Basis der Ergebnisse des WHTC ermittelt wird. Das gemessene stationäre Verbrauchskennfeld soll mit diesem Faktor vor der Anwendung im HDV-CO₂-Simulator multipliziert werden.

Der Korrekturfaktor stellt sich wie folgt dar:

1. Basierend auf den gemessenen Betriebspunkten eines bestimmten Motors im WHTC (Motordrehzahl und Drehmoment in z. B. 1 Hz) wird der Kraftstoffverbrauch des stationären Verbrauchskennfeldes entsprechend interpoliert (zurückgerechnet).
2. Der WHTC-Korrekturfaktor wird dann ermittelt, indem der WHTC-Kraftstoffverbrauch durch den stationär ermittelten Kraftstoffverbrauch dividiert wird.

Dieser Ansatz ist in Abbildung 6 dargestellt.

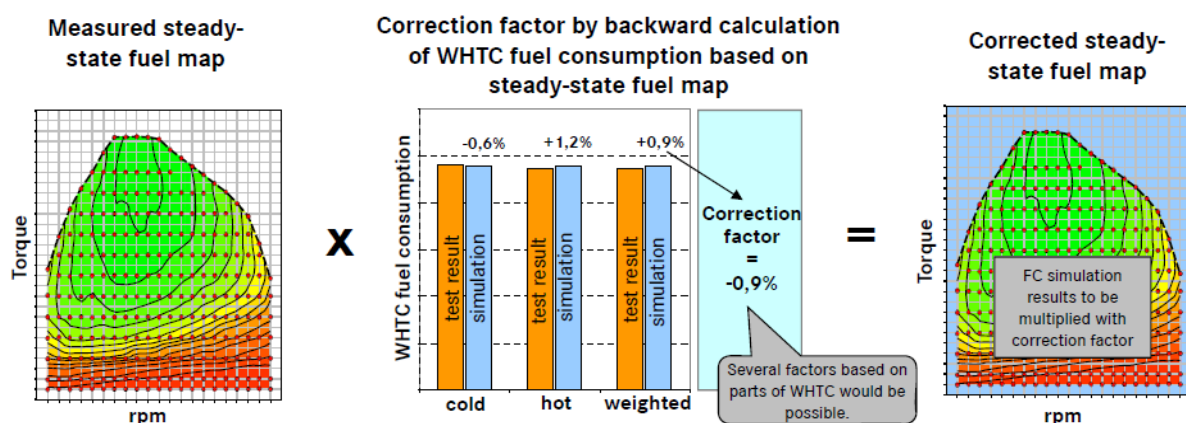


Abbildung 6: Darstellung des Prozesses zur Ermittlung des WHTC-Korrekturfaktors /3/

Das Funktionsprinzip des WHTC-Korrekturfaktors ist es, eine möglichst gute Übereinstimmung zwischen dem WHTC-Prüfzyklus und dem stationären Kraftstoffverbrauchskennfeld sicherzu-

stellen. Falls ein Motor hinsichtlich der limitierten Emissionen insbesondere für den WHTC optimiert wäre (was bei Betrachtung der NO_x-Rohemissionen zu einem Anstieg des Kraftstoffverbrauches führen würde) und im stationären Betrieb auf den Kraftstoffverbrauch hin optimiert, würde dies zu einem hohen Korrekturfaktor führen.

Dieser würde dann das stationäre Verbrauchskennfeld in den Bereich des WHTC-Verbrauchsniveaus verschieben.

Eine weitere Funktion des WHTC-Korrekturfaktors ist die Berücksichtigung von Effekten der Zyklusdynamik auf den Kraftstoffverbrauch. Hierzu zählen beispielsweise Mechanismen wie sich ändernde Wirkungsgrade (Verhaltensverhalten) während transienter Phasen.

Es ist noch offen, ob ein allgemeiner Korrekturfaktor auf alle Fahrzyklen Anwendung finden kann oder ob ein zyklusspezifischer Faktor entsprechend der Fahrzeugeinsatzprofile geschaffen werden muss. Dies könnte zum Beispiel ein „Urban“-Korrekturfaktor sein, welcher auf dem innerstädtischen (*urban*) Abschnitt des WHTC basiert und dann auch nur für ein urbanes Fahrzeugnutzungsprofil Anwendung finden würde.

Der WHTC-Korrekturfaktor kann ebenfalls als Funktion der durchschnittlichen Fahrzeuggeschwindigkeit definiert werden, falls der innerstädtische, der Überland- oder der Autobahnabschnitt des WHTC separat bewertet werden soll. Der sich ergebende Korrekturfaktor kann so vereinfacht als Funktion der Fahrzeuggeschwindigkeit zu den korrespondierenden WHTC-Phasen dargestellt werden. Der Korrekturfaktor für alle weiteren CO₂-Prüfzyklen kann dann entsprechend der durchschnittlichen Geschwindigkeit von dieser Drei-Punkt-Korrektur abgeleitet werden.

Die Motorbetriebstemperatur sowie das Kaltstartverhalten haben ebenfalls einigen Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch. Allerdings liegen Kaltstartbedingungen bei Nutzfahrzeugen in aller Regel nur mit einem geringen zeitlichen Anteil am gesamten Betriebszyklus vor. Wenn der WHTC-Korrekturfaktor auf dem 14 % kalt zu 86 % warm gewichteten WHTC-Ergebnis basiert, ist dieser Einfluss in einem einfachen Ansatz berücksichtigt. Ein weiterreichendes Modell zur Berücksichtigung möglicher Kaltstarteffekte wird im Rahmen der derzeitigen HDV-CO₂-Arbeiten nicht berücksichtigt.

Das Regenerationsverhalten von Partikelfiltern kann im realen Betrieb ebenfalls zu einem Anstieg des Kraftstoffverbrauches führen. Im Rahmen der EURO-VI-Gesetzgebung ist dieser Aspekt bereits im WHTC-Ergebnis sowohl für kontinuierlich als auch für periodisch regenerierende Filtersysteme beinhaltet, und damit auch im WHTC-Korrekturfaktor berücksichtigt. In

den meisten Betriebsbedingungen kann der Einfluss auf den gesamten Kraftstoffverbrauch sicherlich vernachlässigt werden.

Die Nutzung von Reagenzien/Urea (AdBlue) bei SCR-Nachbehandlungen verursacht ebenfalls CO₂-Emissionen. Das CO₂ entsteht hier als Nebenprodukt bei der chemischen Umsetzung von Urea zu Ammoniak (NH₃). Bei EURO-V-Motoren beträgt der damit verbundene CO₂-Anteil ca. 0,5 % der gesamten CO₂-Emissionen. Für EURO-VI-Motoren wird dieser Anteil noch niedriger erwartet. Demnach wird der damit verbundene Einfluss im Rahmen der CO₂-Zertifizierung zunächst nicht weiter berücksichtigt.

2.4.2.3 Weitere zur Simulation erforderliche Motorparameter

Zur Simulation des Motorbetriebes im HDV-CO₂-Simulator sind neben einem Kraftstoffverbrauchskennfeld weitere Motoreigenschaften und Kenndaten erforderlich. Die hauptsächlich benötigten Parameter sind:

1. die Motorvolllastkurve (maximales Drehmoment als Funktion der Motordrehzahl),
2. die Motorschleppkurve (Drehmoment als Funktion der Motordrehzahl im Schubbetrieb) sowie diverse
3. Motoreigenschaften hinsichtlich des Drehmomentanstieges nach Fahrpedalanforderung.

Daten zu 1 und 2 sind über standardisierte Prüfvorgaben auf dem Motorenprüfstand verfügbar. Eine Methode zur Abbildung des Drehmomentanstieges nach Fahrpedalanforderung ist bisher noch nicht festgelegt. In diesem Zusammenhang ist ein allgemeiner Ansatz, zum Beispiel die Verzögerung bei Ladedruckaufbau als Funktion über die Motordrehzahl, denkbar. Zur Parametrierung dieses Modellelementes ist es erforderlich, standardisierte Testvorgaben für den Motorprüfstand zu definieren.

2.4.3 Triebstrang

Die Daten zu den Verlustleistungen im Triebstrang beinhalten einzelne Werte für das Fahrgetriebe, den Retarder im Leerlauf, vorhandene Differentiale, Planetengetriebe und Radlager. Eingabewerte für das Modell zu allen relevanten Gangpaaren bestehen aus Kennfeldern, in welchen Drehmomentverluste auf das Eingangsmoment des Triebstranges bezogen sind. Abbildung 7 zeigt ein exemplarisches Kennfeld dazu.

n_n	$T_{q_{in,gross}}$	$T_{q_{in,ls,idle}}$	$T_{q_{in,ls,gear}}$	$T_{q_{in,ls,bearing}}$	$T_{q_{in,ls,total}}$
rpm	Nm	Nm	Nm	Nm	Nm
...	...	...	...	...	...
1 500	1 000	4.9	20.8	2.3	28.0
1 500	1 150	4.9	24.3	3.0	32.2
1 500	1 300	4.9	26.6	3.6	35.1
2 000	0	5.7	0.0	0.0	5.7
2 000	100	5.7	1.6	0.1	7.4
2 000	250	5.7	6.0	0.3	12.0
2 000	400	5.7	9.3	0.6	15.6
2 000	550	5.7	12.6	0.9	19.3
2 000	700	5.7	15.4	1.3	22.4
2 000	850	5.7	18.8	1.9	26.4
...	...	...	...	...	...

$T_{q_{in,ls,...}}$: torque loss referred to input shaft

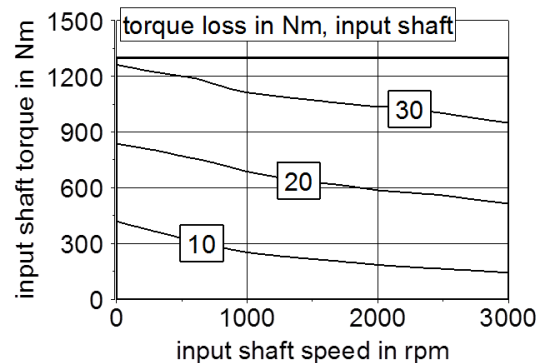


Abbildung 7: Kennfeld der Getriebeverluste

Diese Kennfelder werden über folgende Methoden generiert:

- Messung der Leerlaufverluste ($T_{q_{in,ls,idle}}$) mittels Drehmomentmessung unter entlasteten Bedingungen über den Betriebsdrehzahlbereich;
- Berechnung der lastabhängigen Reibungsverluste der Gangpaarungen ($T_{q_{in,ls,gear}}$) gemäß ISO/TR 13989-2 /7/;
- Berechnung der Lagerreibungsverluste ($T_{q_{in,ls,bearing}}$) in den Getrieben und Radlagern entsprechend **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**ng 26 oder anderen anerkannten Methoden.

$$M_b = \mu_b \cdot r_b \cdot F_{z,w}$$

Gleichung 26

mit: M_b - Reibmoment im Radlager

μ_b - Reibungskoeffizient der Radlager (für HDV ca. 0,0015 bis 0,002)

r_b - Lagerradius

Die Ergebnisse sind Kennfelder der Drehmomentverluste, wie oben dargestellt, mit zum Beispiel 50 Punkten für jedes Gangpaar. Die Summe aller einzelnen Verluste vom Getriebeeingang bis zum Radlager ergibt den gesamten Triebstrangverlust. Die Kraftübertragung von Nutzfahrzeugen mit mehreren angetriebenen Achsen wird gleichartig behandelt. Jedoch ist bei Fahrzeugen mit mehreren angetriebenen Achsen das Verteilergetriebe zur Leistungsverzweigung gewichtet zu berücksichtigen.

Falls keine gemessenen oder berechneten Werte für die Triebstrangverluste zur Verfügung stehen, können Standardwerte eingesetzt werden, die im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung die geringste Effizienz der realen Komponenten aufweisen. Diese Standardwerte sollen für al-

le Nutzfahrzeugklassen und Getriebetypen im Rahmen der Pilotphase anhand gemessener Getriebeverluste von Versuchsfahrzeugen ermittelt werden.

Details dazu, wie man Automatikgetriebe von Stadtbussen mit hydraulischen Wandlern, Planetenradsätzen und hydro-mechanischer Leistungsverzweigungen berücksichtigt, sind noch nicht festgelegt. Ein Vorschlag hierzu wird von Getriebeherstellern und ACEA erarbeitet.

2.4.4 Nebenaggregate

Der Leistungsbedarf der Ölpumpe, der Kühlmittelpumpe, der Kraftstoffförderpumpe, der Kraftstoffhochdruckpumpe und der Lichtmaschine zur Erzeugung der vom Motor benötigten Energie ist bereits im Kraftstoffverbrauchskennfeld berücksichtigt und erfordert daher kein separates Modell.

Zur Berücksichtigung der verbleibenden Nebenaggregate ist ein zusätzliches Modell zur Abbildung in der HDV-CO₂-Prüfprozedur erforderlich. Dies hängt sicherlich auch davon ab, ob Anreize zu Optimierung solcher Nebenaggregate geschaffen werden können. Die wichtigsten zusätzlich zu berücksichtigenden Nebenaggregate sind der Lüfter, der Luftpresser, die Lenkhilfpumpe, der Klimakompressor sowie die Lichtmaschine zur Stromerzeugung für alle übrigen elektrischen Verbraucher. Weitere Details zu elektrischen Verbrauchern finden sich in Kapitel 3.5.5 des LOT2-Berichtes.

Für die Pilotphase wird empfohlen, ebendiese Ansätze aus Kapitel 3.5.5 des LOT2-Berichtes heranzuziehen.

An dieser Stelle ist noch zu erwähnen, dass nicht alle Nebenaggregate kontinuierlich in Betrieb sind. Insbesondere das Kühlluftgebläse, der Luftpresser und die Lenkhilfpumpe sind, abhängig von verschiedenen Faktoren, nur intermittierend im Einsatz. Daher kann die Annahme einer kontinuierlichen durchschnittlichen Leistungsaufnahme zu einer Übervereinfachung führen.

Unabhängig vom gewählten Ansatz sollten dennoch Standardwerte erarbeitet werden, falls keine komponentenspezifischen Daten zur Verfügung stehen. Grundsätzlich können diese Standardwerte auch in einem ersten Schritt der Testprozedur Anwendung finden. Später können diese dann schrittweise vom OEM durch spezifische Werte aus einer Einzelkomponentenprüfung ersetzt werden, sobald entsprechende standardisierte Prüfprozeduren und Simulationsverfahren für die relevanten Nebenaggregate erarbeitet sind.

2.5 Simulation von Kraftstoffverbrauch und CO₂-Emissionen

In der HDV-CO₂-Prozedur werden die Ergebnisse über den Kraftstoffverbrauch und die CO₂-Emissionen mittels einer standardisierten Softwarelösung, dem HDV-CO₂-Simulator, berechnet.

Dieses „Werkzeug“ sollte vom Verordnungsgeber bereitgestellt werden und auch hinsichtlich Updates für die Weiterentwicklung der Vorgaben gepflegt werden können. Fahrzeug-, Aufbau- und Anhängerhersteller sowie Zulieferer von Nebenaggregaten sollen diese Simulation nutzen, um so die Kraftstoffeffizienz ihrer Nutzfahrzeugkombinationen bzw. Komponenten ermitteln zu können. Als Hauptzweck der Simulation ist die Deklaration der jeweiligen CO₂-Emissionen zu sehen.

Der HDV-CO₂-Simulator soll folgende Kernpunkte beinhalten:

- eine Nutzerschnittstelle zum Import standardisierter Eingabedaten,
- eine Datenbank mit Standardwerten (Fahrzeugkonfigurationen, Fahrzyklen je Einsatzprofil, Standardwerte für nicht verfügbare Komponenten), die in der Richtlinie spezifiziert sind,
- ein Kernmodell, welches die Simulation von Kraftstoffverbrauch und CO₂-Emissionen durchführt,
- ein Post-Processing-Modul, welches standardisierte Ergebnisse erzeugt und diese hinsichtlich ihrer Plausibilität validiert.

Der HDV-CO₂-Simulator ist in Abbildung 8 schematisch dargestellt.

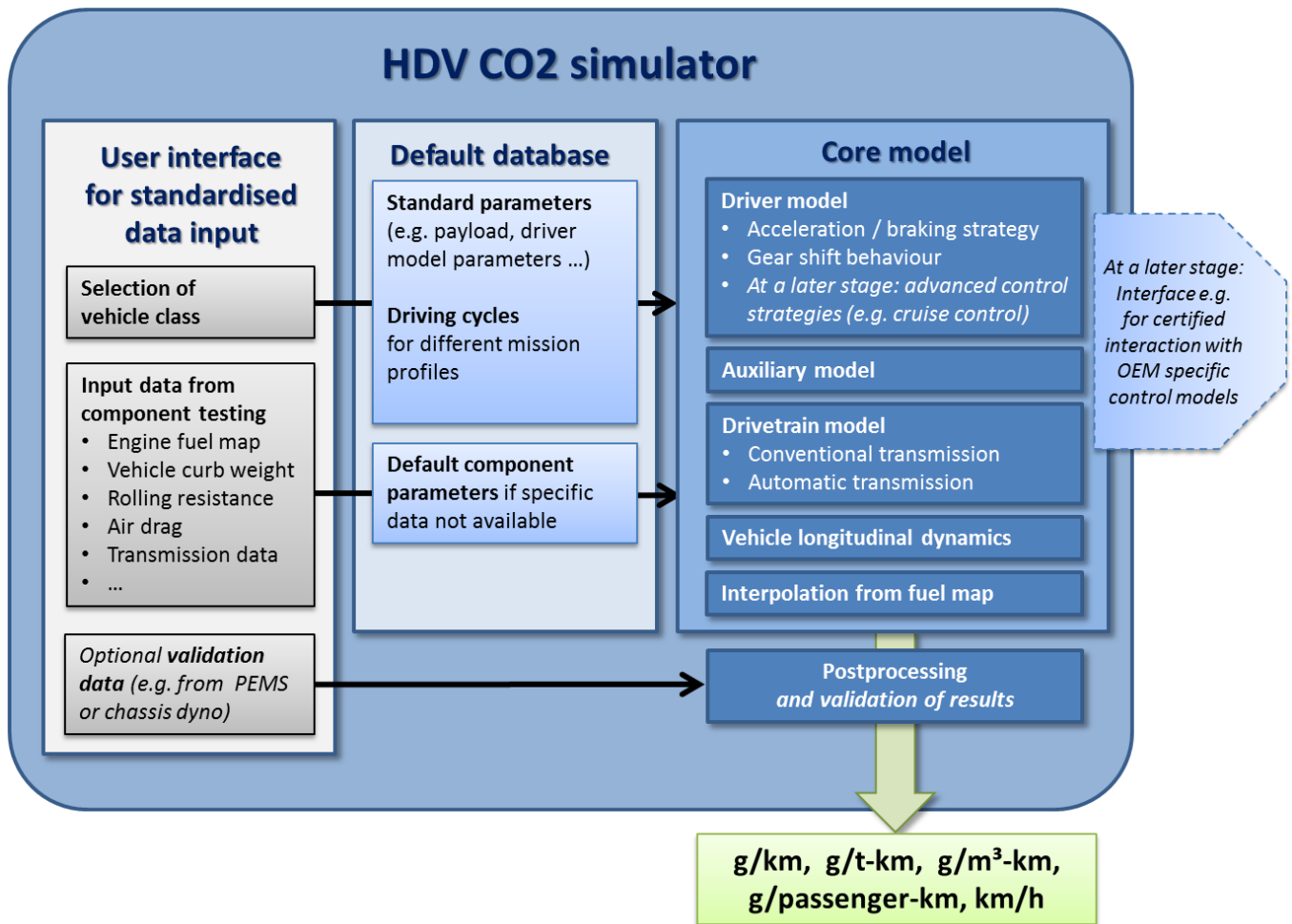


Abbildung 8: Schematischer Aufbau des HDV-CO₂-Simulators

Im Folgenden werden die Funktionen der einzelnen Elemente des HDV-CO₂-Simulators beschrieben.

2.5.1 Nutzerschnittstelle zum Import standardisierter Eingabedaten

Der HDV-CO₂-Simulator soll über einer Schnittstelle verfügen, welche die definierten Fahrzeugkonfigurationen verwaltet und den Import von standardisierten Eingabedaten ermöglicht. Dabei sollen nur die in der Gesetzgebung festgelegten Standardformate unterstützt werden.

Die Auswertung wichtiger Komponententests (z. B. Konstantfahrten zur Bestimmung des Luftwiderstandes einer Nutzfahrzeugkombination) könnte in dieses Modul des HDV-CO₂-Simulators integriert werden oder aber als separates Tool zur Verfügung gestellt werden.

2.5.2 Datenbank der Standardwerte

Die Datenbank der Standardwerte soll alle Größen beinhalten, die für eine spätere Verordnung festgelegt werden müssen. Dazu gehören:

- alle Standard-Parameter der Nutzfahrzeugkonfiguration (z. B. Nutzlast, Fahrermodell),
- Fahrzyklen der unterschiedlichen Einsatzprofile,
- Tabellen mit Standard-Parametern aller Fahrzeugkomponenten, für welche keine konkreten Daten aus Komponententests vorliegen.

2.5.3 Das Kernmodell

Das Kernmodell beinhaltet alle Simulationsalgorithmen, welche zur Ermittlung des Kraftstoffverbrauches und der CO₂-Emissionen gemäß der späteren Vorgaben erforderlich sind. Das Kernmodell simuliert das Nutzfahrzeug, wie es dem „Target-Speed“-Zyklus über die Zeit aufgelöst folgt.

2.5.4 Fahrermodell

Das Fahrverhalten wird signifikant durch die Fahrzeugmasse und die Motorisierung des Nutzfahrzeuges beeinflusst. Es hat (u. a. charakterisiert durch die Fahrzeugbeschleunigung und die Schaltstrategie) einen wichtigen Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch und die Fahrzeit. Um einen realistischen Fahrstil für die möglichen Kombinationen aus Einsatzprofil und Nutzfahrzeugkonfiguration abbilden zu können, wird ein Simulationsansatz basierend auf „Target-Speed“-Zyklen und Fahrermodellen vorgeschlagen. Das Fahrermodell soll den „Target-Speed“-Zyklen nach bestimmten Strategien für Beschleunigung, Verzögerung und Gangwechsel folgen. Das Fahrermodell soll auf allgemein gültigen Algorithmen basieren, damit beispielsweise ein einzelner Fahrer auf allen Nutzfahrzeugkategorien Anwendung finden kann. Das Fahrermodell soll einen grundsätzlichen Parametersatz beinhalten (z. B. gewünschte Beschleunigung als Funktion der Fahrzeuggeschwindigkeit, unterschiedliche Parametersätze für verschiedene Nutzfahrzeugkategorien) welche durch den Anwender des Modells nicht geändert werden können.

Später können weitere Regelstrategien implementiert werden, welche allgemein in Bereich der Nutzfahrzeuge zu finden sind. Dazu gehören beispielsweise die Berücksichtigung einer Geschwindigkeitsregelanlage oder eines Freilaufmodus. Auch für die weiteren Regelstrategien sollte ein allgemeingültiger Algorithmus genutzt werden. Ein Satz von OEM-spezifischen Parametern (z. B. Gradient der Beschleunigung) ist in diesem Modell zulässig. In diesem Zu-

sammenhang sollten alle spezifischen Parameter in einem verifizierbaren Prozess deklariert werden.

2.5.5 Triebstrangmodell

Die Hauptaufgaben dieses Moduls sind die Ermittlung der Drehmomentübertragung im Triebstrang (Getriebe und Differential) und die Darstellung der entsprechenden Drehmomentverluste. Die Strukturen der Algorithmen müssen entsprechend der Vorgaben zu den Komponententests definiert werden. Hinsichtlich möglicher Getriebe sind zunächst die zwei wichtigsten Technologiekonzepte in dem Modell zu berücksichtigen:

- konventionelle Getriebe (Handschaltgetriebe und automatisierte Getriebe),
- Automatikgetriebe mit hydrodynamischen Drehmomentwandlern (Stadtbus).

2.5.6 Nebenaggregatmodell

In diesem Modell wird die Leistungsaufnahme der Nebenaggregate berechnet. Entsprechend einem noch zu definierenden Ansatz zur Berücksichtigung dieser Komponenten soll die spätere Funktion unterschiedliche Stufen konstanten Leistungsbedarfes bis hin zur detaillierten Beschreibung der unterschiedlichen Nebenaggregate enthalten.

In einem späteren Schritt kann diesem Modul eine Schnittstelle zur Interaktion mit OEM-spezifischen Regelmodellen für Nebenaggregate zugefügt werden.

2.5.7 Fahrzeuglängsdynamik

Das Modul zur Fahrzeuglängsdynamik soll die Bewegungsgleichungen basierend auf dem vom Motor bereitgestellten Drehmoment, der Leistungsaufnahme von Nebenaggregaten, dem Triebstrangverhalten und den Fahrwiderständen darstellen. Die wichtigsten Motorcharakteristiken, z. B. die Begrenzungen hinsichtlich der Drehmomentanstiegsgradienten, sollen ebenfalls in diesem Modul dargestellt werden.

Ausgabewerte dieses Moduls sind die Beschleunigung und die Geschwindigkeit des Fahrzeuges sowie die Motordrehzahl, abhängig vom Detaillierungsgrad des Triebstrangmodells z. B. für Automatikgetriebe.

2.5.8 Interpolation aus dem Verbrauchskennfeld

In Abhängigkeit vom berechneten Motordrehmoment und der Motordrehzahl muss der Kraftstoffverbrauch für den jeweiligen Zeitpunkt des Zyklus aus dem Kraftstoffverbrauchskennfeld interpoliert werden. Für diesen Zweck wird ein Interpolationsalgorithmus in den HDV-CO₂-Simulator implementiert. Die CO₂-Emissionen werden dann unter Anwendung kraftstoffspezifischer Konvertierungsfaktoren berechnet.

2.5.9 Datennachbereitung

Der HDV-CO₂-Simulator soll einen Satz von Nachbearbeitungsroutinen zur Datenverifizierung beinhalten. Folgende Aufgaben sollen dadurch erfüllt werden können:

- Ausführung von Plausibilitätskontrollen am Modell in Übereinstimmung mit den Daten der Komponententests. (z. B. Vergleich des simulierten Kraftstoffverbrauches für Konstantfahrten mit dem gemessenen Kraftstoffverbrauch der entsprechenden Testprozedur),
- Erzeugung von Zyklus-Ergebnissen für den Kraftstoffverbrauch und die CO₂-Emissionen in einer für die betrachtete Nutzfahrzeugkonfiguration relevanten Einheit zur Deklaration der offiziellen Ergebnisse,
- als mögliche Option: Validierungsprozedur z. B. als Vergleich mit Daten aus PEMS- oder Rollenprüfstandsmessungen.

2.5.10 Weitere notwendige Arbeiten zur Entwicklung des HDV-CO₂-Simulators

Im UBA- sowie im LOT2-Vorhaben wurden alle Simulationen mittels PHEM (Passenger car and Heavy-duty Emission Model) /2/ durchgeführt. PHEM bietet dazu alle erforderlichen Funktionen zur Berechnung des Kraftstoffverbrauches des getesteten Nutzfahrzeuges. Die Aufbereitung und Umwandlung der Ergebnisdaten aus den Komponententests erfolgte mit separaten Tools, welche meist auf Microsoft Excel und VBA-Skripten basierten. Die Funktionalität dieser zusätzlichen Tools soll in der nächsten Phase des Projektes in den gesamten Simulator integriert werden, um so eine effiziente und konsistente Bewertung der Testergebnisse aller teilnehmenden Hersteller zu gewährleisten. Der Simulator der Pilotphase braucht noch keine Sicherheitssysteme vorzuhalten, da er als „Stand-Alone“-Anwendung jedem teilnehmenden Labor der Pilotphase zur Verfügung steht.

Diese Simulationsanwendung soll als ausführbare „Stand-Alone“-Anwendung entwickelt und zusammen mit einer Bedienungsanleitung allen OEMs und anderen Herstellern, die eine CO₂-„Zertifizierung“ anstreben, zur Verfügung gestellt werden.

Das Simulations-Tool soll als Demonstrator gesehen werden, in dem alle mathematischen Funktionen sowie Datensätze enthalten sind. Standard-Datensätze, die aus dem UBA- und LOT2-Vorhaben nicht verfügbar sind, sollen als „Dummy“ generiert werden können.

Die fertige Simulation wird auf diesem getestet und, falls notwendig, verbesserten und korrigierten Demonstrator aufbauen. Dem fertigen Tool können dann Sicherheits- und Zugangspunkte sowie möglicherweise ein Internetportal mit einer Serverfunktion hinzugefügt werden.

Einige Elemente des Modells werden auch nach Abschluss der Vorhaben (UBA/LOT2) nicht in abgeschlossener Version zur Verfügung stehen und müssen daher separat weiterentwickelt werden. Hierzu zählen:

- das Fahrermodell,
- das OEM-spezifische Modell zu automatisierten Gangwechseln,
- das OEM-spezifische Modell für automatische Getriebesysteme,
- das OEM-spezifische Modell zu Nebenaggregaten sowie
- das OEM-spezifische Modell von weiteren Fahrzeugkontrollsystemen (z. B. Geschwindigkeitsregelanlage, Freilauffunktion).

Weiter wird die Anwendbarkeit von PEMS-Ergebnissen aus „In-Service-Compliance-Tests“ zwecks Validierung der Zertifizierungsdaten diskutiert. Eventuell könnte eine zusätzliche Messung während der PEMS-Prüfung auf einer Teststrecke oder Straße (dort, wo Steigung, Umgebungsbedingungen und Kraftstoffverbräuche exakt bestimmt werden können) als Validierung dienen. Um ein solches Vorgehen zu ermöglichen, muss das Simulations-Tool dahingehend erweitert werden, dass PEMS-Ergebnisse ebenfalls als Eingabedaten (an Stelle der Standard-Tests) herangezogen werden können.

2.5.11 Schnittstelle der Simulation für OEM-spezifische Technologien

Nicht alle Fahrzeugkomponenten oder Regelstrategien können durch den Standard-Simulator berücksichtigt werden. Das würde zu einem zu komplexen System führen. Einzelne OEMs bieten jedoch eigene technologische Ansätze mit unterschiedlichen Kraftstoffeinsparpotentialen an. Um solche Technologien berücksichtigen zu können, muss eine

Schnittstelle geschaffen werden, die es ermöglicht, herstellerspezifische Maßnahmen in die Simulation einzubringen. Einige mögliche herstellerspezifische Maßnahmen und Technologien sind im Folgenden aufgelistet:

Alternative Kraftstoffe, pneumatische Ladedruck-Boost-Systeme, EGR-Verfahren, Urea-Verdampfung für SCR-Systeme mittels Abwärme, automatisch verringerter Luftwiderstand bei hohen Geschwindigkeiten, Bremsenergie rückgewinnung, Terrain-abhängige Triebstrangregelung, Motor-Start-Stopp, Beschleunigungsbegrenzung, Gangwechselanzeige für Handschaltgetriebe, Verringerung des elektrischen Leistungsbedarfes, steuerbare Hinterachse am Fahrzeug oder Anhänger (Liftachse), etc.

Die oben aufgeführten Maßnahmen sind nur Beispiele und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Da Technologien zur Kraftstoffeinsparung permanent entwickelt werden, kann die Entwicklung einer Standard-Simulation niemals abgeschlossen sein, sondern muss stetig an den Stand der Technik angepasst werden. Daher besteht Bedarf für eine definierte Schnittstelle. Ein Standard für diese Schnittstelle hinsichtlich Datenformat und Eingangsgrößen muss mit der Industrie diskutiert und entwickelt werden. Dieser Ansatz führt zu dem Bedarf einer externen Validierung der OEM-Sub-Modelle durch Typgenehmigungsbehörden oder technische Dienste, um so Missbrauch zu vermeiden.

2.6 Maßeinheit der Simulationsergebnisse

In Folgenden werden mögliche Maßeinheiten zur Darstellung eines CO₂- bzw. Verbrauchswertes diskutiert und vorgestellt.

Während Einheiten, welche mit der Zuladung verknüpft sind [g/t-km], [g/m³-km], abfallende Werte bei ansteigendem zulässigen Gesamtgewicht eines Fahrzeuges zeigen, verhalten sich Werte in fahrtstreckenbezogenen Einheiten mit schwerer werdenden Fahrzeugen ansteigend. Grundsätzlich kann ein gewichtetes Ergebnis aus [g/t-km], [g/m³-km] und [g/km] dargestellt werden, welches über die unterschiedlichen Nutzfahrzeugklassen vergleichbare Ergebnisse liefert, sofern diese Fahrzeuge ein vergleichbares Einsatzprofil und demnach identische Fahrzyklen aufweisen. Weil der aktuelle Testansatz eine Differenzierung in Fahrzeugsegmente mit unterschiedlichen Prüfzyklen je nach Einsatzprofil vorsieht, ist bisher noch keine physi-

kalische Maßeinheit gefunden, welche das Prüfergebnis hinsichtlich des Kraftstoffverbrauches der einzelnen Nutzfahrzeugsegmente vergleichbar macht⁴.

Daher scheint es für die Pilotphase von Bedeutung zu sein, alle spezifischen Kraftstoffverbrauchs- und CO₂-Werte zu ermitteln. Hierzu zählen:

g/t-km	typische Fahrten mit durchschnittlicher Beladung (Verwendung der durchschnittlichen Zuladung in [t] für das entsprechende Nutzfahrzeugsegment
g/t _{max} -km	Fahrten mit maximaler Zuladung (Simulationsergebnis mit voll beladenem Fahrzeug); hier zeigen Leichtbaukonstruktionen den größten Vorteil, weil eine höhere Zuladung realisiert werden kann
g/m ³ -km	Fahrten mit Zuladung unter Ausschöpfung des maximal verfügbaren Ladevolumens, aber unterhalb der maximalen Nutzlast; typische spezifische Volumen dieser Ladung sind zu definieren, z. B. 25 m ³ /t was Schaummaterialien entspricht, alternativ kann die Definition über die maximal ladbare Anzahl von Europaletten (gemäß DIN EN 13698 mit 1200 mm x 800 mm (l x b) und einer definierten Höhe von z. B. 2400 mm erfolgen
g/km	relevant für Leerfahrten

Weil all diese Maßeinheiten Informationen beinhalten, die für den Kunden von Bedeutung sein können, sollten in der Pilotphase der HDV-CO₂-Testprozedur alle Werte ermittelt und dargestellt werden. Da die Werte mit diesem Ansatz der Simulation einfach ermittelt werden können, ist kein größerer Aufwand zu erwarten.

Für ein CO₂-Label oder auch einen Grenzwert wären unterschiedliche Maßeinheiten und unterschiedliche Werte ja nach Fahrzeugsegment schwierig zu beherrschen.

Um diesem Problem zu begegnen, sollte eine Methode (Gleichung 27) validiert werden, welche das beste und schlechteste Fahrzeug eines Segmentes als Benchmark anwendet.

⁴ Es ist fraglich, ob es vorteilhaft wäre, nur einen Wert zu generieren, der über alle Nutzfahrzeugkategorien vergleichbar ist, weil so der Fahrzeugkunde die Information verlieren würde, welche Fahrzeugkategorie gemäß seiner Anforderung die höchste Effizienz aufweist.

$$\text{Benchmark}_{\text{low}} = \frac{\sum_{n_1}^{n_{20}} \text{FC}_{w,n}}{\sum_{n_1}^{n_{20}} n}$$

$$\text{Benchmark}_{\text{high}} = \frac{\sum_{n_{81}}^{n_{100}} \text{FC}_{w,n}}{\sum_{n_{81}}^{n_{100}} n}$$

$$\text{FC}_{\text{rel}} = \frac{\text{FC}_{w,\text{veh}} - \text{Benchmark}_{\text{low}}}{\text{Benchmark}_{\text{high}} - \text{Benchmark}_{\text{low}}}$$

Gleichung 27

mit: Benchmark- Benchmark-Wert

$n_{\dots\dots\dots}$ - Anzahl genehmigter HDV-Typen in einer Fahrzeugkategorie

$\text{FC}_w \dots\dots\dots$ - Ergebnis des Kraftstoffverbrauchstests (evtl. gewichteter Durchschnitt von g/t-km, g/m³-km und g/km)

n_1 bis n_{20} - unterste 20 % der Testergebnisse

n_{81} bis n_{100} - höchste 20 % der Testergebnisse

Damit ist FC_{rel} ein normiertes Maß zwischen den besten und den schlechtesten 20 % der getesteten Fahrzeuge innerhalb einer Fahrzeugkategorie. Verbrauchseffiziente Fahrzeuge erhalten einen geringeren Wert, ineffiziente Fahrzeuge einen höheren Wert. Sicher benötigt ein solches System als Basis eine gewisse Anzahl an getesteten Fahrzeugen innerhalb eines Segmentes. Ob eine Pilotphase eine ausreichende Menge an Daten liefern kann, ist offen, so dass ein detailliertes Schema für ein eventuelles „Labeling“ o. ä. nicht entworfen werden kann, bevor nicht ausreichend Daten aus der HDV-CO₂-Typprüfung vorliegen.

Insgesamt können die Ergebnisse der Pilotphase in den Maßeinheiten wie in Tabelle 4 gezeigt dargestellt werden.

Tabelle 4: Schematischer Aufbau der für die HDV-CO₂-Pilotphase vorgeschlagenen Maßeinheit

Specifications		
Mission	Long Haul	
Vehicle category	tractor 12-16t, 4x2	
Test set up	tractor + standard trailer	
Results from CO2-Simulator		
Efficiency Index:	0.19	
Single results:		
Loaded with reference weight		
loading [t]	12.35	
loading [m³]	not defined	
	Fuel consumption	CO2-Emission [g/x-km]
l/100km	31.7	830
l/100 t-km	2.56	67.2
l/100 m³-km	not defined	not defined
Full loaded		
loading [t]	24.9	
loading [m³]	110	
	Fuel consumption	CO2-Emission [g/x-km]
l/100km	41.4	1086
l/100 t-km	1.66	43.6
l/100 m³-km	0.37	9.8
Empty		
loading [t]	0	
loading [m³]	0	
	Fuel consumption	CO2-Emission [g/x-km]
l/100km	22.4	587
l/100 t-km	not defined	not defined
l/100 m³-km	not defined	not defined
Detailed description of vehicle, engine, tires and transmission:		
.....		

2.7 Validierung der Ergebnisse

Eine Validierung der HDV-CO₂-Prüfergebnisse wird im Rahmen der Pilotphase und darüber hinaus, zumindest für eine Stichprobe, als notwendig erachtet. Dazu bieten sich folgende Optionen an:

- a) Durchführung eines kurzen HDV-CO₂-Testzyklus auf einem Rollenprüfstand,
- b) Durchführung von PEMS-Messungen,
- c) Erweiterung der Messreihe auf der Teststrecke um Fahrwiderstandsmessungen und On-Board-Kraftstoffverbrauchsmessungen mit zusätzlichen SORT-ähnlichen Zyklen zu den Konstantfahrt-Messungen.

In allen Fällen a) bis c) sollte der Fahrzeuggeschwindigkeitsverlauf als alternative Eingabeoption für den HDV-CO₂-Simulator verwendet werden. Dann werden die simulierten Ergebnisse mit den gemessenen Ergebnissen verglichen. Die statistischen Parameter hierzu sowie die Grenzwerte müssen anhand der Pilotphase erarbeitet werden.

Der Rollwiderstand zu a) kann nicht validiert werden, weil dieser auf dem Rollenprüfstand durch Elektromotoren des Prüfstandes gemäß den Einstellungen der Prüfstandbetreibers vorgegeben wird. Somit muss der Rollwiderstand zur Einstellung des Prüfstandes herangezogen werden, der bei den HDV-CO₂-Tests ermittelt wurde.

Rollenprüfstandsmessungen für Nutzfahrzeuge sind bisher durch keine Gesetzgebung gefordert oder definiert. Daher wird dazu in der Pilotphase die „beste Ingenieurspraxis“ herangezogen.

Bezüglich b) ist die Standard-PEMS-Messung hinsichtlich Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit nicht ausreichend, damit Grenzwerte einer zulässigen Abweichung von HDV-CO₂-Ergebnissen zu einem Validierungsergebnis festgelegt werden können. Zur Verbesserung der Reproduzierbarkeit von PEMS, sollte das Fahrzeug auf einer Teststrecke oder einen ausreichend beschriebenen Straßenabschnitt betrieben werden – dort, wo Steigungen bekannt sind – und alle Umgebungsbedingungen (Windstärke, Windrichtung etc.) während der PEMS-Messung aufgezeichnet werden können. Der Bedarf an Messgrößen sollte sich nach den Bedingungen aus Kapitel 2.4.1 richten. Eine weitere Verbesserung der Genauigkeit wäre bei zusätzlicher Verwendung eines genauen Kraftstoffverbrauchssystems zu erwarten.

Option c) ist aus technischer Sicht ähnlich Option b) zu sehen, würde allerdings während der HDV-CO₂-Rollwiderstandtests durchgeführt, während b) auf die In-Use-Prüfung im Rahmen der EURO-VI-Gesetzgebung aufgesattelt werden könnte.

Letzteres ist mit „In-Use-Fahrzeugen“ verbunden, während Option c) mit „Typ-Prüf-Fahrzeugen“ verbunden wäre.

Für die Pilotphase wird empfohlen, Option c) für alle getesteten Fahrzeuge anzuwenden, weil die Verwendung eines Kraftstoffverbrauchsmesssystems ohnehin im Pilotprogramm als sinnvoll erscheint. Wo immer möglich können ebenfalls Rollenprüfstandsmessungen zu Option c) zugefügt werden. Rollenprüfstandsmessungen liefern nützliche Daten über die Variabilität der Einflüsse von Nebenaggregaten, da der Leistungsbedarf von Nebenaggregaten üblicherweise nicht während der Rollwiderstandsmessungen im Rahmen der Testprozedur mitbestimmt wird.

In der finalen Version der CO₂-Testprozedur scheint jedoch die Einbindung der bereits eingeführten PEMS-Messung von Vorteil zu sein, vorausgesetzt, dass eine ausreichende Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit erreicht werden kann. Aus der Pilotphase kann die mögliche Genauigkeit abgeleitet werden. Ferner soll die Pilotphase Informationen darüber liefern, ob die Leistungsaufnahme von Nebenaggregaten während der CO₂-PEMS-Messungen aufgezeichnet werden soll.

2.8 Vorschlag eines Prüf- und Genehmigungsverfahrens

Aus heutiger Sicht liegt die Durchführung der Prüfungen zur Erlangung einer Typgenehmigung in der Verantwortung des Herstellers und eines technischen Dienstes. Die Genehmigungsbehörde erteilt nach Gutachtenerstellung durch den technischen Dienst die jeweilige Typgenehmigung.

Die OEMs erhalten die Messdaten zu allen Komponenten entweder durch eigene Messungen oder von ihren Zulieferern. Die Prüfungen müssen den Vorgaben der Richtlinie folgen. Dies wird von den technischen Diensten/Genehmigungsbehörden überprüft. Die Daten müssen im Anschluss im standardisierten Format für das Simulations-Tool bereitgestellt werden.

Nachdem alle erforderlichen Eingabedaten zur Verwendung mit dem Simulations-Tool aufbereitet sind, kann die Simulation durchlaufen werden (Abbildung 9). Nach der Überprüfung werden die Daten offiziell bei der Genehmigungsbehörde eingereicht. Die Daten zu jeder einzelnen Komponente sowie die Ergebnisse zum gesamten Fahrzeug sollen vorzugsweise in einer Datenbank abgelegt werden. Dies würde einen recht einfachen Mehrstufenansatz für Fahr-

zeuge erlauben, die nicht direkt durch den Hersteller des Fahrgestelles, sondern durch z. B. einen Aufbauhersteller, vermarktet würden.

Dort hat dieser dann Zugang zu allen zum Fahrgestell gehörigen Komponenten (Motor, Getriebe etc.) und kann die Komponenten hinzufügen, die in seiner Verantwortung liegen (Luftwiderstand, Gewicht des gesamten Fahrzeuges etc.). Zum Schutze von vertraulichen Informationen können Daten auch in verschlüsselter Form bereitgestellt werden, die nur durch das Simulations-Tool eingelesen werden können.

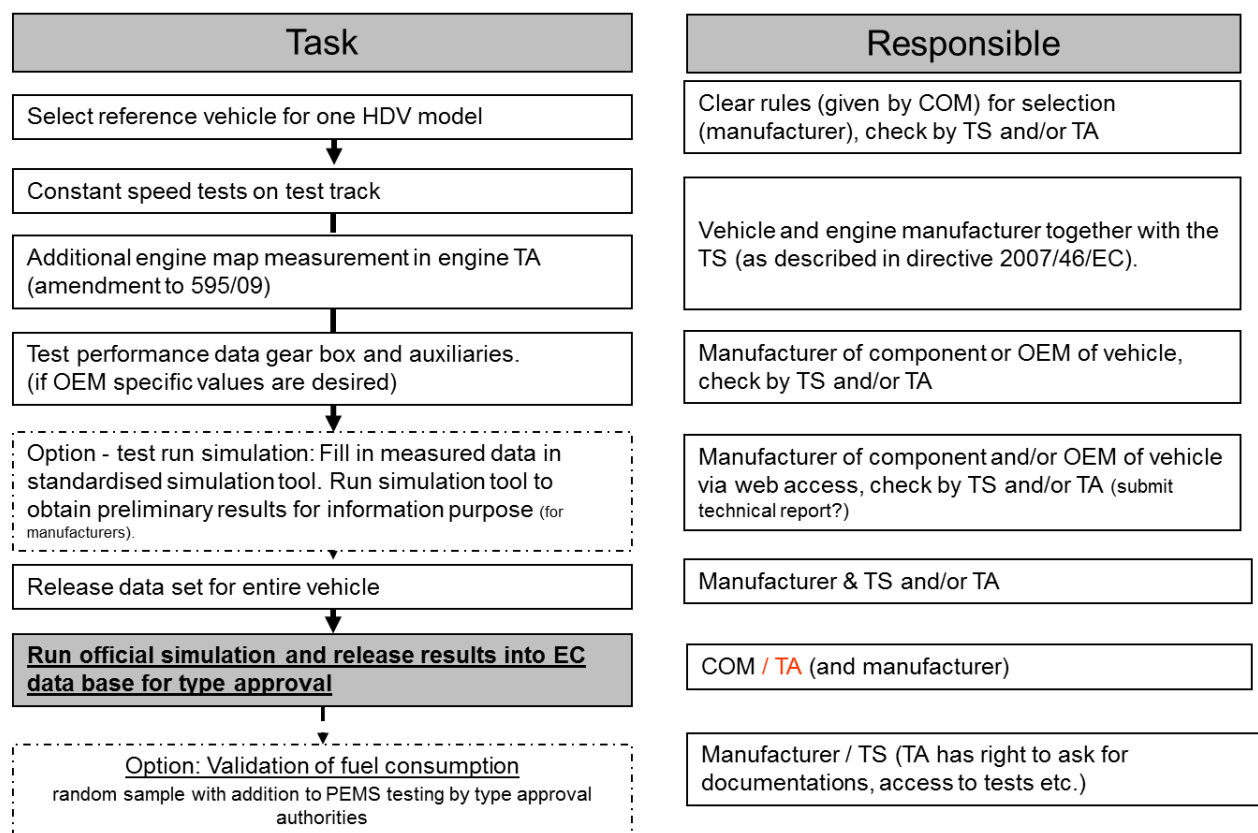


Abbildung 9: Ablaufplan der vorgeschlagenen Verantwortlichkeiten der Fahrzeughersteller für HDV-CO₂-Typgenehmigungen

Während die Basistests mit Norm-Aufbauten und -Aufliegern bzw. -Anhängern durchgeführt werden, wird empfohlen, die realen Aufbauten und Auflieger bzw. Anhänger zumindest in einem zweiten Schritt ebenfalls dem Verfahren zuzuführen. Eine Definition, welche Aufbauten und Auflieger bzw. Anhänger zu prüfen wären, bedarf noch weiterer Arbeit, könnte aber folgendermaßen aussehen:

- Jeder Hersteller kann sein Produkt testen und zertifizieren, um z. B. eine bessere Effizienz seiner Produkte gegenüber den Normaufbau nachzuweisen.

- Gewicht und Abmaße (Ladevolumen, Frontfläche) werden für alle Produkte mit einer Verkaufszahl größer einem Grenzwert „W“ erfasst.
- Jeder Aufbau oder Auflieger bzw. Anhänger, welcher in Fahrzeugsegmenten mit einem hohen Autobahneinsatzprofil betrieben wird, muss hinsichtlich des Luftwiderstandes vermessen werden, wenn die Verkaufszahlen einen bestimmten Wert überschreiten.

Die vorgeschlagenen Verantwortlichkeiten für Aufbauhersteller sind in Abbildung 10 dargestellt. Ob hier bei den Prüfungen Konstantfahrten oder Ausrollversuche die bessere Lösung darstellen oder ob absolute oder relative Werte für den Luftwiderstand mehr geeignet sind, soll anhand von Ergebnissen der Pilotphase entschieden werden.

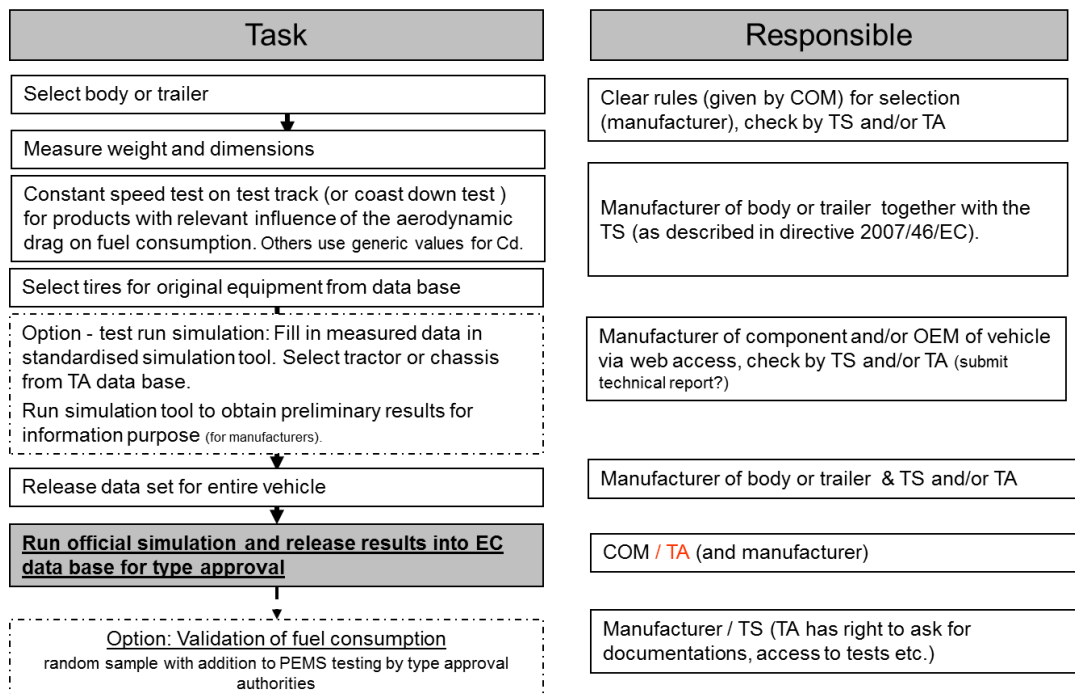


Abbildung 10: Ablaufplan der vorgeschlagenen Verantwortlichkeiten für Aufbauhersteller für HDV-CO₂-Typgenehmigungen

3 Ausblick auf CO₂-Gesetzgebung in den USA, Japan und der VR China

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über CO₂-Vorgaben in den USA, Japan und der VR China. Details zur Durchführbarkeit und Klassifizierung einzelner Fahrzeuge sind dem LOT2-Bericht unter Punkt 3.1 ff. zu entnehmen.

3.1 U.S. EPA/NHTSA Final Rule

Am 15. September 2011 wurde im U.S. Code of Federal Regulations die Richtlinie „Greenhouse Gas Emissions Standards for Medium- and Heavy Duty Engines and Vehicles“ (6) veröffentlicht. Ein Entwurf dieser Regulierung wurde erstmals im November 2010 publiziert. Die meisten Teile dieser Herangehensweise finden sich im Part 1037 des 40. U.S. Code of Federal Regulations.

Dieses Dokument beinhaltet sowohl Prüf- und Verifizierungsvorgaben als auch Grenzwerte für die CO₂-Emissionen und den Kraftstoffverbrauch von Nutzfahrzeugen. Die Grenzwerte für die CO₂-Emissionen sind in der Maßeinheit g/ton-mi definiert, die Grenzwerte für den Kraftstoffverbrauch in der Maßeinheit gal/1000 ton-mi. Der CO₂-Grenzwert ist von der EPA (Environmental Protection Agency) festgelegt, der Verbrauchsgrenzwert von der NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration), zugehörig zum U.S. Department of Transportation (DOT). Zusammen mit dem CO₂ reguliert die EPA ebenfalls CH₄ (Methan) und N₂O (Distickstoffmonoxid) unter dem Oberbegriff „Greenhouse Gases/GHG“. CO₂-Guthaben aus dem ATB (Averaging, Banking and Trading)-Programm können für den Fall, dass die Grenzwerte für CH₄ und N₂O „geringfügig“ überschritten werden, als Ausgleich eingesetzt werden.

Weiter werden motorbezogene Grenzwerte hinsichtlich CO₂ in g/bhp-hr und Kraftstoffverbrauch in gal/100 bhp-hr behandelt. Vor dem Hintergrund, dass es auf dem U.S.-Nutzfahrzeugmarkt nicht unüblich ist, sich als Fahrzeugkäufer den Motor zu seinem Fahrzeug von verschiedenen Herstellern auszuwählen, ist eine Unterscheidung zwischen Motor und Fahrzeug verständlich /8/.

3.1.1 Anwendungsbereich

In den USA werden Nutzfahrzeuge üblicherweise nach Fahrzeugbestand und Nutzungserhebung (Vehicle Inventory and Use Survey, VIUS) vom DOT klassifiziert.

Grundsätzlich besteht die U.S.-Fahrzeugflotte aus acht Hauptfahrzeugklassen, angefangen beim Light-duty vehicle/PKW (ohne Mindestgewichtsrestriktionen) der Class 1 bis zum Heavy heavy-duty vehicle/schweren LKW der Class 8. Die Klassifizierung ist in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: U.S. Fahrzeugklassen gemäß VIUS /9/

Class	min. weight (lb) and (kg)	max. weight (lb) and (kg)	Category
1	-	6000 / 2727	light-duty
2	6001 / 2728	10000 / 4545	light-duty
3	10001 / 4546	14000 / 6364	medium-duty
4	14001 / 6365	16000 / 7272	medium-duty
5	16001 / 7273	19500 / 8864	medium-duty
6	19501 / 8865	26000 / 11818	light heavy-duty
7	26001 / 11819	33000 / 15000	heavy heavy-duty
8	33001 / 15001		heavy heavy-duty

Die angegebenen Gewichte drücken die Fahrzeugbruttomasse aus. Dies ist das Gewicht des vollbeladenen Fahrzeuges inkl. Nutzlast und einschließlich Betriebsstoffen, Fahrer und Passagieren sowie optionaler Ausstattungen.

Eine grundsätzliche Gewichtsobergrenze für Nutzfahrzeuge gibt es in den USA nicht. Dies ist von Bundesstaat zu Bundesstaat durch maximal zulässige Achslasten oder ähnliche Einschränkungen wie z. B. maximal zulässigen Flächenlasten für Straßen reguliert.

Die U.S.-Vorgaben gelten derzeit für Nutzfahrzeuge der Klassen 2 bis 8 sowie für Sattelzüge der Klassen 7 und 8.

Zugkombinationen der Klassen 7 und 8 (inkl. Anhänger), die auch mit einer Schlafkabine ausgestattet sein können, werden hauptsächlich für den Güterverkehr verwendet. Die Lastzüge im Güterfernverkehr weisen eine Jahresfahrleistung von mehr als 240.000 km auf. Solche Klasse-7- und Klasse-8-Fahrzeuge stellen etwa 25 % der U.S.-Nutzfahrzeugflotte dar, wenn nur schwerere Fahrzeuge der Klassen 5 bis 6 berücksichtigt werden. Abbildung 11 gibt einen Überblick über die hier berücksichtigten Fahrzeugklassen.

Der Hauptunterschied zwischen „normalen“ LKW und Zugmaschinen liegt in der zu erwarteten jährlichen Laufleistung (<250.000 km LKW, >250.000 km Zugmaschinen) .

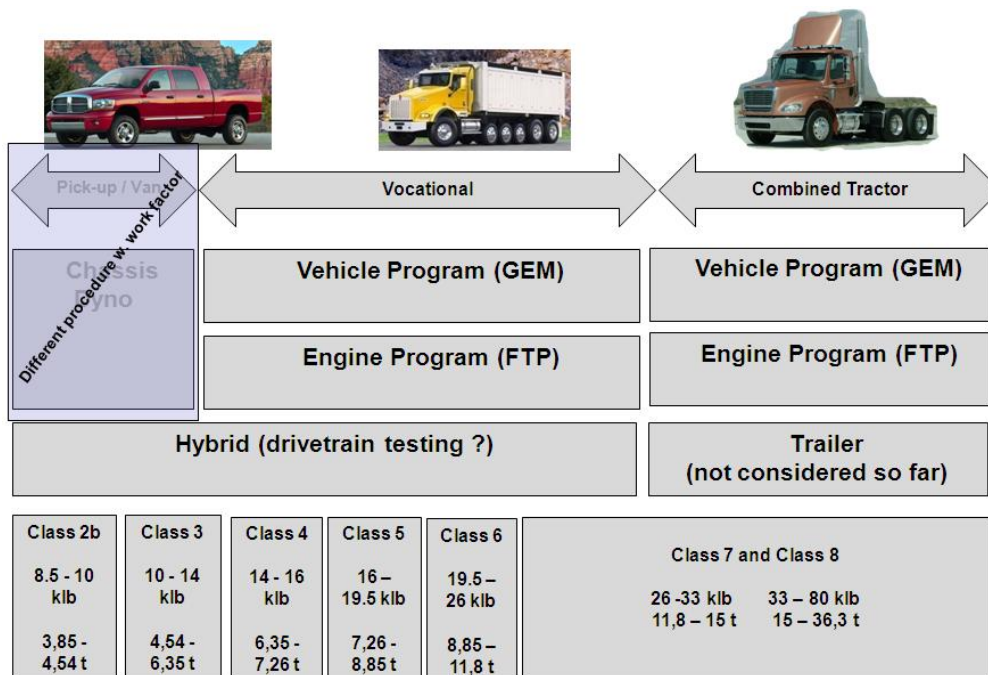


Abbildung 11: Anwendungsbereich der U.S. CO₂-Vorgaben /9/

Die Fahrzeugklassen 2b und 3 werden als PKW eingestuft und entfallen in der weiteren Betrachtung.

3.1.1.1 Grenzwerte

Die Grenzwerte der EPA- und NHTSA-Vorgaben basieren auf den schon erwähnten Klassen und einigen zusätzlich definierten Unterklassen bzw. Unterkategorien. Die Grenzwerte unterscheiden zwischen Kraftstoffverbrauch und CO₂-Emissionen für Zugmaschinen und LKW sowie für Motoren.

3.1.1.1.1 Fahrzeugbezogene Grenzwerte für Zugmaschinen

Die fahrzeugbezogenen Grenzwerte für Zugmaschinen werden in zwei Stufen (2014 und 2017) eingeführt. Darüber hinaus wird innerhalb der Klassen 7 und 8 nach Fahrzeugen mit Tageskabine (Klassen 7 und 8) und Fahrzeugen mit Schlafkabine (nur Klasse 8) differenziert. Weiter werden Unterschiede des Kabinentyps berücksichtigt, indem diese je nach Profil (niedrig bis Hochdach) eingeteilt werden (Abbildung 12). Anhänger bzw. Auflieger und Aufbauten werden nicht weiter berücksichtigt.

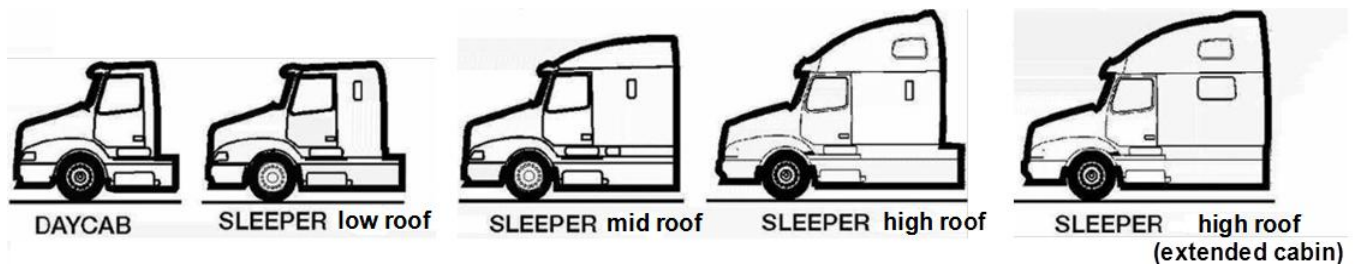


Abbildung 12: Kabinentypen (Quelle: Volvo)

Tabelle 6 zeigt die Grenzwerte, wie sie im Federal Register aufgeführt sind. Die Einführungsphase ist für das Modelljahr 2014 vorgesehen. Dies bedeutet, dass die Fahrzeughersteller schon im Jahre 2013 entsprechend vorbereitet sein müssen. Ab 2017 ist einer Verschärfung der Vorgaben geplant, die durch die Einführung von motorbezogenen Grenzwerten ab Modelljahr 2017 flankiert werden. Die von der EPA vorgeschlagenen Grenzwerte sollen über den gesamten Lebenszyklus der entsprechenden Klasse erfüllt werden. Die im Jahre 2014 eingeführten Grenzwerte werden auf freiwilliger Basis angewandt und gelten ab 2016 verbindlich.

Tabelle 6: Grenzwerte für Zugmaschinen

	Day cab		Sleeper cab
	Class 7	Class 8	Class 8
2014 Model Year CO ₂ Grams per Ton-Mile			
Low Roof	107	81	68
Mid Roof	119	88	76
High Roof	124	92	75
2014–2016 Model Year Gallons of Fuel per 1,000 Ton-Mile ⁵⁹			
Low Roof	10.5	8.0	6.7
Mid Roof	11.7	8.7	7.4
High Roof	12.2	9.0	7.3
2017 Model Year CO ₂ Grams per Ton-Mile			
Low Roof	104	80	66
Mid Roof	115	86	73
High Roof	120	89	72
2017 Model Year and Later Gallons of Fuel per 1,000 Ton-Mile			
Low Roof	10.2	7.8	6.5
Mid Roof	11.3	8.4	7.2
High Roof	11.8	8.7	7.1

Bei Betrachtung der CO₂-Grenzwerte in g/ton-mi fällt auf, dass für eine Klasse-8-Schlafkabine geringere Werte festgelegt sind als für eine Klasse-8-Tageskabine. Der Grund hierfür ist die Annahme, dass Fahrzeuge mit Schlafkabine längere Betriebsphasen im Leerlaufbetrieb (*idle*) aufweisen und somit größere Optimierungsmöglichkeiten hinsichtlich des Kraftstoffverbrauches bieten (*idle reduction*). Das bedeutet, dass für Fahrzeuge mit Schlafkabinen mehr Frei-

heitsgrade zur Optimierung angenommen werden. Weiter sind diese Fahrzeuge häufig aerodynamisch optimiert (z. B. mit Dachspoilern). Dies ist bei Fahrzeugen mit Tageskabinen seltener der Fall.

Um einen Vergleich zur der in Europa üblichen Verbrauchsangabe in l/100 km zu ermöglichen, können die 10,3 gal Kraftstoff je 1.000 ton-mi für ein Fahrzeug der Klasse 7 mit einer Tageskabine auf einen Wert von 36,5 l/100 km umgerechnet werden, wenn man eine Fahrzeugmasse (GVW, brutto) von 15.000 kg annimmt (1 U.S. liquid gallon = 3,78 Liter; 1 mile = 1,6 km).

3.1.1.1.2 Motorbezogene Grenzwerte für Zugmaschinen

Tabelle 7 zeigt die spezifischen CO₂- und Kraftstoffverbrauchsgrenzwerte für Motoren, die in Zugmaschinen installiert werden. Ähnlich wie bei den Fahrzeuggrenzwerten beginnt die Einführung auf freiwilliger Basis im Jahr 2014. Verbindlich werden die Grenzwerte 2017 und damit ein Jahr später als die Fahrzeuggrenzwerte. Grund hierfür ist die notwendige zeitliche Synchronisation mit neuen Abgasgrenzwerten, deren Inkrafttreten ebenfalls 2017 vorgesehen ist. Da Zugmaschinen mit „>Medium heavy-duty“ (MHD)-Motoren und „Heavy heavy-duty“ (HHD)-Motoren ausgerüstet werden können, werden die Grenzwerte in zwei Kategorien aufgeteilt.

Tabelle 7: Motorbezogene Grenzwerte für Zugmaschinen

	Effective 2014 model year		Effective 2017 model year	
	CO ₂ standard (g/bhp-hr)	Voluntary fuel consumption standard (gal/100 bhp-hr)	CO ₂ standard (g/bhp-hr)	Fuel consumption standard (gal/100 bhp-hr)
MHD diesel engine	502	4.93	487	4.78
HHD diesel engine	475	4.67	460	4.52

Zur Verdeutlichung muss hier angemerkt werden, dass die genannten Motorkategorien nicht mit dem zuvor genannten VIUS-Fahrzeugklassen verwechselt werden dürfen. Die hier erwähnten Motorkategorien stammen aus dem Federal Register zur Definition von Motoren zum Einsatz in schweren Nutzfahrzeugen.

Dieselmotoren der Kategorie „Medium heavy-duty“ sind für Fahrzeuge mit einem Gesamtgewicht von 8,8 t bis 15 t (brutto) vorgesehen, Motoren der Kategorie „Heavy heavy-duty“ stehen für Fahrzeuge mit einem Gesamtgewicht von mehr als 15 t brutto.

Der Wert von 502 g/bhp-hr CO₂, festgelegt für MHD-Motoren ab 2014, entspricht etwa einem CO₂-Ausstoß von 660 g/kWh. Die Prüfung des Motors erfolgt gemäß dem „Steady-state SET (supplemental engine test)“-Zyklus, welcher vom ESC (European Steady-state Cycle) abgeleitet ist. Grund für dieses Vorgehen ist die Annahme seitens der EPA, dass solche Zugmaschi-

nen in den USA meist unter eher „stationären“ Bedingungen betrieben werden. Die EPA nimmt an, dass die „Baseline“ für HDD-Motoren hinsichtlich ihres CO₂-Verhaltens für das Modelljahr 2010 bei 490 g CO₂/bhp-hr liegt. Die „Baseline“ für MHD-Motoren hinsichtlich CO₂ liegt bei 518 g CO₂/bhp-hr.

3.1.1.1.3 Grenzwerte für LKW

Die Grenzwerte für LKW sind in Tabelle 8 dargestellt. Hier findet ebenfalls ein EPA-CO₂-Grenzwert sowie ein NHTSA-Kraftstoffverbrauchsgrenzwert Anwendung. Die LKW beginnen in Klasse 2 (Class 2b), so dass innerhalb dieses Bereiches auch Fahrzeuge mit einem geringen Gesamtgewicht reguliert sind. Die Einführungsphase erstreckt sich ebenfalls von 2014 (freiwillig) über 2016 bis zur letzten Stufe 2017 und ist damit synchron zu den bereits festgelegten Emissionsgrenzwerten.

Tabelle 8: Fahrzeuggrenzwerte für LKW

EPA CO ₂ (gram/ton-mile) Standard Effective 2014 Model Year			
	Light Heavy-Duty Class 2b–5	Medium Heavy-Duty Class 6–7	Heavy Heavy-Duty Class 8
CO ₂ Emissions	388	234	226
NHTSA Fuel Consumption (gallon per 1,000 ton-mile) Standard Effective 2016 Model Year ¹³⁴			
	Light Heavy-Duty Class 2b–5	Medium Heavy-Duty Class 6–7	Heavy Heavy-Duty Class 8
Fuel Consumption	38.1	23.0	22.2
EPA CO ₂ (gram/ton-mile) Standard Effective 2017 Model Year			
	Light Heavy-Duty Class 2b–5	Medium Heavy-Duty Class 6–7	Heavy Heavy-Duty Class 8
CO ₂ Emissions	373	225	222
NHTSA Fuel Consumption (gallon per ton-mile) Standard Effective 2017 Model Year			
	Light Heavy-Duty Class 2b–5	Medium Heavy-Duty Class 6–7	Heavy Heavy-Duty Class 8
Fuel Consumption	36.7	22.1	21.8

3.1.1.1.4 Motorbezogene Grenzwerte für LKW

Wie auch für Zugmaschinen, sind hier zusätzliche motorbezogene Grenzwerte für LKW-Motoren definiert (Tabelle 9). Es gelten die bereits genannten zeitlichen Einführungsmodalitäten.

Im Gegensatz zu Zugmaschinen werden hier nur „Light heavy-duty“-Motoren berücksichtigt. Dabei werden für die Verwendung dieser Motoren nur Fahrzeuge mit einer Gesamtmasse von 3,8 t bis 8,8 t betrachtet. Die Prüfung erfolgt für diese Fahrzeugklasse, im Gegensatz zu den Zugmaschinen, im transienten FTP-Zyklus (*U.S. transient cycle*).

Tabelle 9: Motorbezogene Grenzwerte für LKW

Model year	Standard	Light heavy-duty diesel	Medium heavy-duty diesel	Heavy heavy-duty diesel
2014–2016	CO ₂ Standard (g/bhp-hr)	600	600	567
	Voluntary Fuel Consumption Standard (gallon/100 bhp-hr) ...	5.89	5.89	5.57
2017 and Later	CO ₂ Standard (g/bhp-hr)	576	576	555
	Fuel Consumption (gallon/100 bhp-hr)	5.66	5.66	5.45

Die Baseline für das Modelljahr 2010 hinsichtlich CO₂ liegt bei 630 g CO₂/bhp-hr (6,19 gal/100 bhp-hr) für LHD/-MHD Motoren. Für HHD-Motoren wird die Baseline bei 584 g CO₂/bhp-hr (5,84 gal/1000 bhp-hr) angesetzt. Die exakte Durchführung der U.S.-CO₂-Zertifizierung ist ab dem Kapitel 3.1.1.3 im LOT2-Bericht detailliert beschrieben.

3.1.2 CO₂-Gesetzgebung in Japan

Die Vorgaben Japans zur CO₂-Limitierung stehen unter dem Titel “Reference Energy Consumption Efficiency” und sind in den “Energy Conservation Standards” niedergelegt. Die dazugehörige Prüfprozedur TRIAS wurde schon im Jahr 2007 herausgegeben. Grenzwerte werden in der Maßeinheit km/l definiert und finden ab 1. April 2015 Anwendung. Die japanische Gesetzgebung definiert Vorgaben für ein Fahrzeug-Labeling (Abbildung 13).



Abbildung 13: Fahrzeug-Label bei Übererfüllung der Standards um mindestens 20 %

3.1.2.1 Prüfmethode

Die Prüfprozedur zur Bestimmung des Kraftstoffverbrauches von schweren Nutzfahrzeugen in Japan wird in der Richtlinie TRIAS 5-8-2007 /10/ beschrieben. Die Prüfprozedur findet Anwendung auf alle im „Energy Conservation Standard“ aufgeführten Fahrzeuge. Für Nutzfahrzeuge erstreckt sich der Anwendungsbereich über LKW und Zugmaschinen größer 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht (zGG) und Busse mit einer Anzahl von mehr als zehn Sitzplätzen. Die Prüfprozedur besteht aus einer Kombination von Motorprüfstandsmessungen und Fahrzeugsimulationsmodellen.

3.1.2.1.1 Fahrzeugkategorien

Tabelle 10 zeigt die japanische Nutzfahrzeugklassifikation. Es existieren 11 Klassen/Unter-Kategorien die über das zGG gebildet werden. Der Bereich erstreckt sich von 3,5 t bis zu Fahrzeugen mit mehr als 20 t zGG. Die „Intercity Running Ratio“ in der letzten Spalte bezieht sich auf einen Wichtungsfaktor innerhalb der Zyklen (siehe LOT2-Bericht, 3.1.2.1.1 ff.).

Tabelle 10: Fahrzeugklassifikation für Nutzfahrzeuge in Japan

Fuel consumption classification No.	Classification		Standard vehicle specifications					Intercity running ratio (%)
	Range of gross vehicle weight (t)	Range of maximum loading capacity (t)	Vehicle weight (kg)	Maximum loading capacity (kg)	Passenger capacity (persons)	Overall height (m)	Overall width (m)	
T1	3.5 < & ≤ 7.5	≤ 1.5	1,957	1,490	3	1.982	1.695	10
T2		1.5 < & ≤ 2	2,356	2,000	3	2.099	1.751	
T3		2 < & ≤ 3	2,652	2,995	3	2.041	1.729	
T4		3 <	2,979	3,749	3	2.363	2.161	
T5	7.5 < & ≤ 8	–	3,543	4,275	2	2.454	2.235	
T6	8 < & ≤ 10	–	3,659	5,789	2	2.625	2.239	
T7	10 < & ≤ 12	–	4,048	7,483	2	2.541	2.350	
T8	12 < & ≤ 14	–	4,516	7,992	2	2.572	2.379	
T9	14 < & ≤ 16	–	5,533	8,900	2	2.745	2.480	
T10	16 < & ≤ 20	–	8,688	11,089	2	3.049	2.490	
T11	20 <	–	8,765	15,530	2	2.934	2.490	30

Tabelle 11 zeigt die Klassifikation der Zugmaschinen. Hier finden lediglich zwei Klassen Anwendung: eine für Zugmaschinen unter und eine für Zugmaschinen über 20 t zGG. Weiterhin werden fünf Klassen für (Stadt-)Busse im Linienverkehr dargestellt. Tabelle 12 zeigt sieben Klassen für Busse inkl. Fahrzeugen für den Überland- und Gelegenheitsverkehr.

Tabelle 11: Klassen für Zugmaschinen und Busse im (Stadt-)Linienverkehr /11/

Fuel consumption classification No.	Classification	Standard vehicle specifications					Intercity running ratio (%)
	Range of gross vehicle weight (Tractor head) (t)	Vehicle weight (kg)	Maximum loading capacity (kg)	Passenger capacity (persons)	Overall height (m)	Overall width (m)	
TT1	≤ 20	10,525	24,000	2	2.927	2.490	20
TT2	20 <	19,028	40,000	2	2.890	2.490	10

Fuel consumption classification No.	Classification	Vehicle weight (kg)	Passenger capacity (persons)	Overall height (m)	Overall width (m)	Intercity running ratio (%)
	Range of gross vehicle weight (t)					
BR1	6 < & ≤ 8	5,186	39	2.880	2.072	0
BR2	8 < & ≤ 10	6,672	46	2.947	2.301	
BR3	10 < & ≤ 12	7,324	62	2.949	2.304	
BR4	12 < & ≤ 14	8,654	77	2.969	2.385	
BR5	14 < &	9,790	79	2.962	2.490	

Tabelle 12: Intercity-Busklassen

Fuel consumption classification No.	Classification	Standard vehicle specifications				Intercity running ratio (%)
	Range of gross vehicle weight (t)	Vehicle weight (kg)	Passenger capacity (persons)	Overall height (m)	Overall width (m)	
B1	$3.5 < \& \leq 6$	3,543	29	2.593	2.027	10
B2	$6 < \& \leq 8$	5,622	29	3.019	2.197	
B3	$8 < \& \leq 10$	6,608	49	3.105	2.314	
B4	$10 < \& \leq 12$	8,022	58	3.160	2.399	
B5	$12 < \& \leq 14$	9,774	60	3.168	2.490	
B6	$14 < \& \leq 16$	12,110	62	3.320	2.490	35
B7	$16 < \&$	14,583	51	3.668	2.490	

Abbildung 14 zeigt die Nutzfahrzeugpopulation Japans im Jahr 2009. Diese statistischen Daten wurden von der Japan Automobile Manufacturer Association (JAMA) zusammengestellt /10/. Die Gewichtsklassen in dieser Statistik decken sich nicht mit den im TRIAS definierten Fahrzeugklassen. Aus diesem Grund ist ein direkter Vergleich nur schwer möglich. Nichts desto trotz kann man erkennen, dass der japanische Markt nur von wenigen Klassen dominiert ist und dass eher geringere Fahrzeuggewichte dominieren. Es ist weiter festzuhalten, dass die Fahrzeug-Segmentierung sehr fein in einem Bereich um zwei Tonnen differenziert.

Abbildung 15 zeigt die japanische Bus-Population. Auch hier sind die Klassen des TRIAS nicht Deckungsgleich mit den Segmenten der JAMA-Statistik. Dennoch ist erkennbar, dass die Busflotte, abgesehen von den Bussen mit 20 bis 29 sowie mit mehr als 80 Sitzplätzen, sehr homogen verteilt ist. Zum Vergleich: Ein typischer europäischer Solo-Bus (12 m Länge) verfügt über 30 bis 35 Sitzplätze und eine zusätzliche Kapazität von etwa 60 Stehplätzen. Ein Gelenkbus (18 m Länge) bietet 40 bis 50 Sitzplätze und eine Kapazität von etwa 100 Stehplätzen.

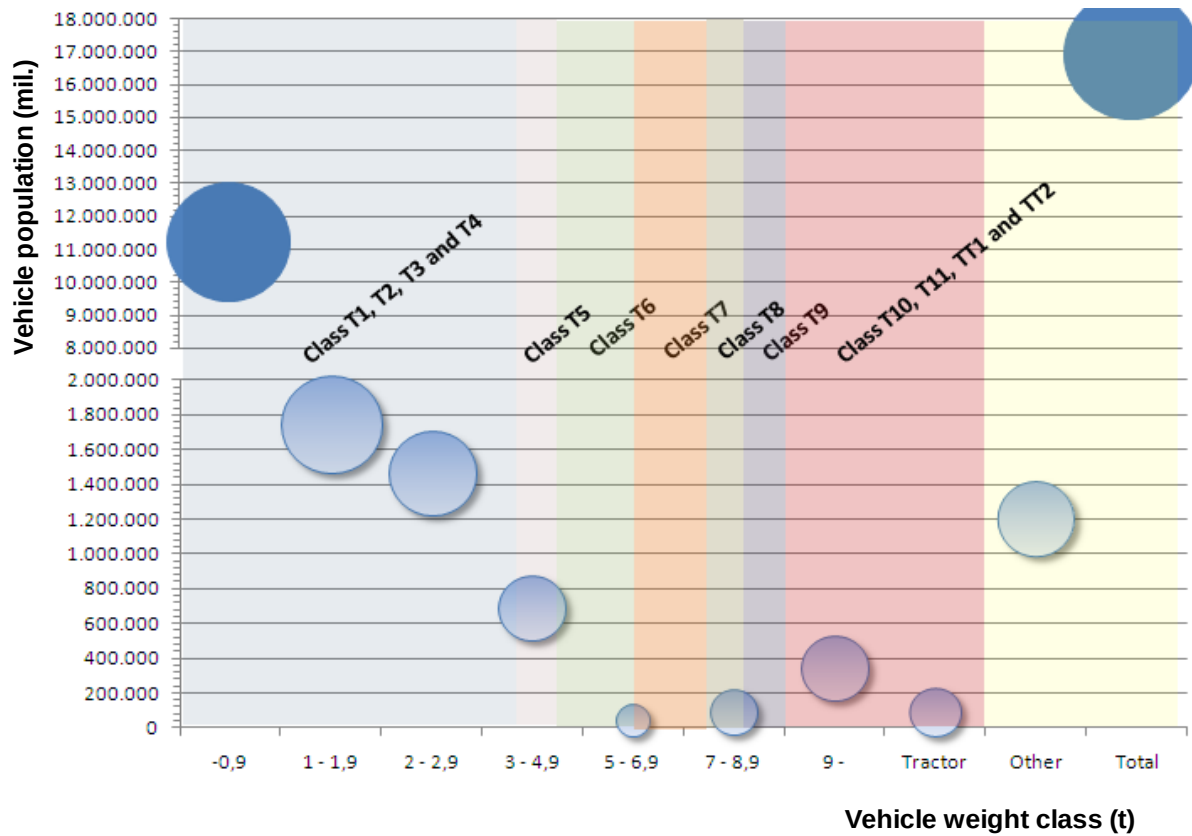


Abbildung 14: Population der Nutzfahrzeuge in Japan

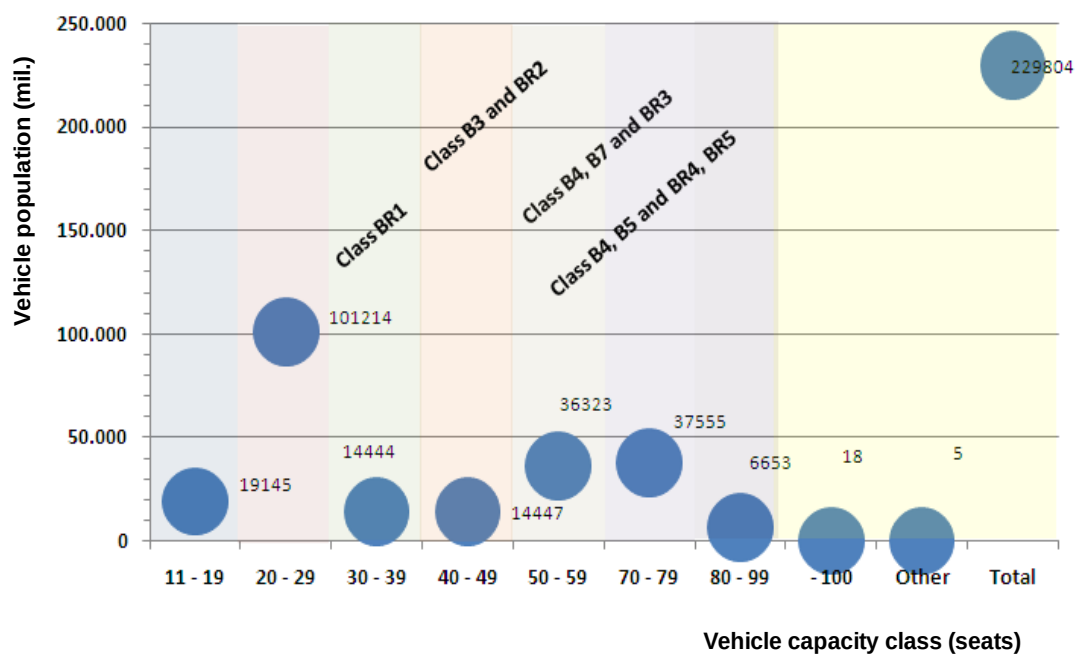


Abbildung 15: Population der Busse in Japan

3.1.3 CO₂-Gesetzgebung in der VR China

Die VR China hat erst kürzlich einen Standard bezüglich der CO₂-Emissionen von Nutzfahrzeugen eingeführt. Daher sind bislang nur wenige Informationen erhältlich. Einen ersten Überblick verschafft die Internetseite:

www.theicct.org/2011/04/overview-vehicle-emissions-controls-china.

Ein SAE-Paper über die „Entwicklung eines Standards zur Ermittlung des Kraftstoffverbrauches schwerer Nutzfahrzeuge in China“ wurde im September 2011 veröffentlicht. Dieses Dokument ist im Folgenden zusammengefasst und gibt einen kurzen Überblick über die chinesische Prüfprozedur /12/.

Der chinesische Ansatz beinhaltet bisher keine Grenzwerte oder Labeling-Verfahren. Er beschreibt, wie der Kraftstoffverbrauch für ein voll beladenes Fahrzeug, ausgedrückt in l/100 km, zu bestimmen ist. Der Standard ist auf alle Fahrzeuge mit einem zGG größer 3.500 kg anzuwenden.

3.1.3.1 Prüfansatz

Die Messungen zu den chinesischen CO₂-Vorgaben von Nutzfahrzeugen basieren auf Rollenprüfstandtests für sogenannte „Basis“-Fahrzeugtypen. Weitere Fahrzeuge, die jedoch durch den „Basis“-Typ charakterisiert werden können, gelten als „Variante“. Für die Variante kann als Alternative zur Rollenprüfstandsmessung ein Simulationsmodell herangezogen werden. Dennoch können alle „Varianten“ auch auf dem Rollenprüfstand vermessen werden. Die exakten Parameter, welche die „Basis“ und die „Variante“ beschreiben, sind in dem SAE-Paper nicht aufgeführt. Abbildung 16 zeigt einen allgemeinen Überblick über die Prüfstruktur.

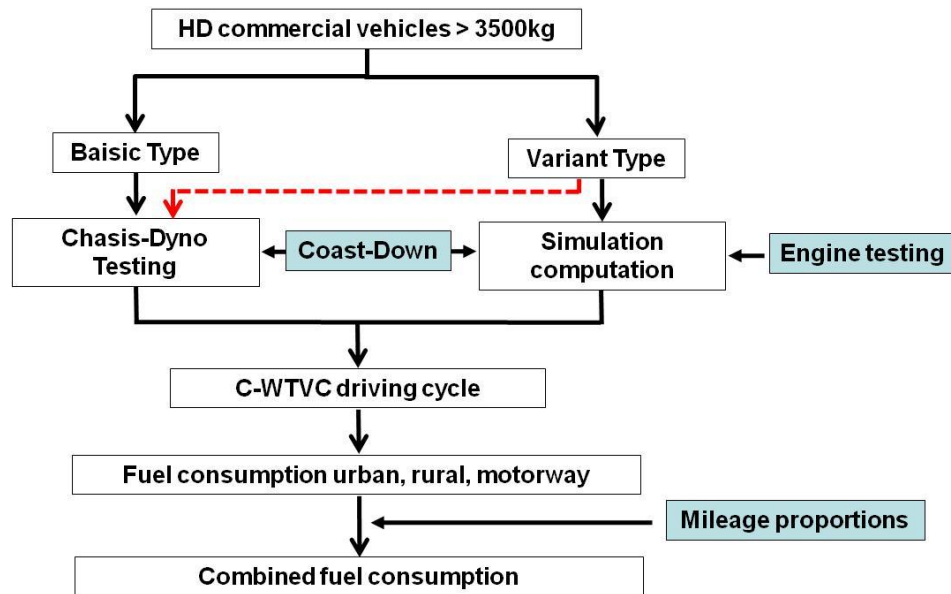


Abbildung 16: Überblick über den chinesischen CO₂-Prüfstandard /17/

4 Detaillierte Beschreibung der durchgeführten Arbeiten

In diesem Kapitel werden die Ansätze zur Definition von Fahrzeugsegmenten und zur Durchführung der einzelnen Messaufgaben aus Kapitel 2 in Hinblick auf die Gestaltung einer CO₂-Gesetzgebung beschrieben.

4.1 Fahrzeug- und Motorenauswahl

Wie in Kapitel 2 beschrieben, werden über die Fahrzeugklassifikation der heranzuziehende Testzyklus, die notwendige Fahrzeugbeladung zur Simulation sowie der Normaufbau zur Messung des Luftwiderstandes definiert. Um Kosten einzusparen, sollen im Falle von Variationen nur die Fahrzeugkomponenten zwingend separat vermessen werden, die einen messbaren Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch haben. Über eine geschickte Festlegung von Fahrzeugfamilien kann dies erreicht werden.

4.1.1 Fahrzeugsegmente

Die Fahrzeugsegmentierung soll dabei helfen einen regulatorischen Ansatz für zukünftige CO₂-Messungen an Nutzfahrzeugen zu entwickeln. Ein solcher Ansatz sollte idealerweise den typischen Einsatz der einzelnen Fahrzeuge berücksichtigen, ebenfalls aber auch auf die seit langem etablierten Fahrzeugklassen der Rahmenrichtlinie (2007/47/EG) sowie der Verordnung (EG) No. 678/2011 aufbauen.

Die dargelegte Fahrzeugklassifizierung basiert auf ACEA-Daten, auf Angaben aus dem LOT1-Bericht /1a/ sowie auf Abschätzungen, die im LOT2-Konsortium getätigt wurden.

Zum jetzigen Zeitpunkt wird die Segmentierung nur bei Fahrzeugen mit einem zGG von mehr als 7,5 t angewandt. Es existiert keine Grundlage der Typprüfung im Bezug auf diese Gewichtsklasse. Diese wird lediglich für Fahrerlaubnisklassen herangezogen (Klasse C1). Natürlich sind auch Fahrzeuge unter 7,5 t eindeutig als Nutzfahrzeuge zu sehen; dies ist jedoch bisher nicht abschließend festgelegt.

Die Verordnung (EG) 715/2007 definiert bestimmte Fahrzeugkategorien (M_1 , M_2 , N_1 und N_2) mit einer Referenzmasse unter 2610 kg innerhalb des Verwendungsbereiches der PKW-Gesetzgebung. Unter dem Umstand, dass der Antragsteller bereits eine Typpgenehmigung für ein solches Fahrzeug besitzt, kann die Referenzmasse auf 2840 kg heraufgesetzt werden. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass jedes Fahrzeug über der genannten Gewichtsgrenze als schweres Nutzfahrzeug anzusehen ist.

Nutzfahrzeuge der Klassen N_1 und N_2 mit einem zGG von maximal 3,5 t (N_1) bzw. maximal 12 t (N_2) sind häufig (insbesondere in der Klasse N_1) hinsichtlich der Motorentechnologie von PKW abgeleitet. Daher scheint es sinnvoll, eine neue Gewichtsgrenze festzulegen, welche deutlicher zwischen PKW, leichten Nutzfahrzeugen und schweren Nutzfahrzeugen differenzieren kann.

Aus unserer Sicht scheint eine Trennung bei 4,5 t bis 5 t zGG als sinnvoll. Zieht man die von ACEA vorgeschlagene Segmentierung nach Fahrzeugeinsätzen (Tabelle 13) heran /3/, stellen die Fahrzeuge mit einem zGG von 4,5 t bis 5 t in diesem Schema mit dem Einsatzprofil „Urban delivery“ die leichteste Gruppe dar.

Diese allgemeine Segmentierung ist für die Bildung eines Fahrzeug-Familienkonzeptes ebenso geeignet wie zur Definition von Prüfzyklen. Es kann angenommen werden, dass der Verlauf der CO₂-Emissionen eines einzelnen Fahrzeuges (über den Zyklus) für eines der Nutzungsprofile repräsentativ ist.

Tabelle 13: Segmentierung nach Fahrzeugeinsatz (vehicle cycle)

Vehicle cycle	Description	Average annual driving distance
Long haul	Delivery to national and international sites (mainly highway operation and a small share of regional roads).	135.000 km
Regional delivery	Regional delivery of consumer goods from a central warehouse to local stores (innercity, suburban, regional and also mountain roads)	60.000 km
Urban delivery	Urban delivery of consumer goods from a central store to selling points (innercity and partly suburban roads)	40.000 km
Municipal utility	Urban truck operation like refuse collection (many stops, partly low vehicle speed operation, driving to and back to central base point)	25.000 km
Construction	Construction site vehicles with delivery from central store to very few local customers (innercity, suburban and regional roads; only small share of off-road driving)	60.000 km

Basierend auf dieser Segmentierung wurde eine Zuordnung von Fahrzeugkategorien zu Einsatzprofilen definiert. Die sich so ergebenden 17 Nutzfahrzeugklassen können anhand der Fahrzeugpopulation im europäischen Umfeld als repräsentativ angesehen werden (Tabelle 1, Tabelle 14).

Fünf dieser 17 Klassen, die allradgetriebene Fahrzeuge enthalten, sind derzeit ausgeklammert, da diese gemäß ACEA-Statistik lediglich einen Marktanteil von unter 1 % aufweisen. Wegen vielfältiger Nutzungsmöglichkeiten, sind den meisten Fahrzeugen mehrere Prüfzyklen zuzuordnen. Lediglich Baustellenfahrzeuge können mit nur einem Prüfzyklus repräsentiert werden. Fahrzeuge mit wenig verbreiteten Achskonfigurationen (z. B. 8x6/2) sind ebenfalls noch nicht berücksichtigt.

Der CO₂-Wert, der später deklariert werden soll, muss für jede Fahrzeugklasse in jedem angewandten Nutzungsprofil bestimmt werden. Das bedeutet, dass z. B. für einen LKW der Fahrzeugklasse 1 ein CO₂-Wert für den regionalen und den innerstädtischen Verkehr deklariert werden muss. Um ein detaillierteres Bild der Nutzfahrzeugpopulation zu geben, wurden zusätzlich Daten über die gesamte Verteilung innerhalb der Flotte und dem prozentualen Anteil der 17 Klassen angegeben. Die Daten in Tabelle 14 sind insofern interessant, als dass die Mehrheit der Fahrzeugkonfigurationen deutlich zu identifizieren ist. Innerhalb der gesamten Nutzfahrzeugpopulation Europas besitzt die 4x2-Zugmaschine mit Sattelaufleger den höchsten Anteil aller Fahrzeugkonfigurationen.

Tabelle 14: Fahrzeugpopulation (Nutzfahrzeuge) /1b/

Truck type	Config	Chassis config,	GVW	class	Share truck**	Truck****		Bodywork rigid truck*				
					All	Tractor	Rigid	Box***	Bulk/tank	Container/Swap body	Tipper	Other
Truck 2axl	4x2	Rigid & tractor	7,5 - 10	1	20,2%	86,2%	36,7%	19%			6%	12%
		Rigid & tractor	10 - 12	2								
		Rigid & tractor	12 - 16	3								
		Rigid	>=16	4	11,0%		20,0%	10%	0,5%	4%	2%	4%
		Tractor	>=16	5	38,7%							
	4x4	Rigid	7,5 - 16	6	0,8%		1,5%				0,5%	1,0%
		Rigid	>=16	7	0,9%		1,6%				0,6%	1,0%
		Tractor	>=16	8	0,4%	0,9%						
Truck 3axl	6x2/2-4	Rigid	all	9	10,7%		19,4%	10%	2%	4%	1%	3%
		Tractor	all	10	4,7%	10,5%						
	6x4	Rigid	all	11	4,3%		7,8%				3%	5%
		Tractor	all	12	1,0%	2,2%						
	6x6	Rigid	all	13	0,9%		1,6%				0,6%	1,0%
		Tractor	all	14	0,1%	0,2%						
Truck 4axl	8x2	Rigid	all	15	0,3%		0,5%				0,2%	0,3%
	8x4	Rigid	all	16	5,6%		10,2%				3,5%	6,7%
	8x6/8x8	Rigid	all	17	0,4%		0,7%				0,2%	0,5%
Total share bodies**					100,0%	100,0%	100,0%	39,0%	2,0%	7,5%	17,5%	34,0%

*TNO projection

**LOT 1 report (Shares of different bodies (Figure 2-34: New registrations of rigid trucks by body type from VDA members for 2008 and 2009) and truck classes (Table 2.22: EU27 Deliveries from the 7 major European manufacturers for trucks > 7.5 tonnes GVW))

***Sum of Box van, Refrigerated, Curtain. Curtain has largest share.

****Calculated from Share truck

From LOT 1 report	Container / swap body					
	Box	Bulk/tank	Tipper	Other		
Rigid truck	39%	2%	18%	34%		100%
tractor - semi-trailer	60%	7%	12%	13%		100%

Betrachtet man nur Zugmaschinen, so hat die Kombination aus 4x2-Zugmaschine mit Auflieger einen Anteil von 86,2 % an allen Sattelzugkombinationen. Dieser Konfiguration folgt der 4x2-Lastwagen bis 16 t (20,2 %) bzw. über 16 t (11 %). Der nächst größere Anteil an der Population beinhaltet drei- und vierachsige Fahrzeuge mit Achskonfigurationen wie 6x2 (10,7 %), 8x4 (5,6 %), 6x2/4 (4,7 %) und 6x4 (4,3 %). Alle anderen Konfigurationen halten einen Anteil an der Population von um 1 %.

In Kombination mit der Fahrzeugpopulation und den durchschnittlichen Jahresfahrleistungen der einzelnen Fahrzeugfahrzyklen können die Fahrzeugklassen bestimmt werden, welche den größten Anteil an den CO₂-Emissionen haben bzw. das größte CO₂-Einsparpotential darstellen.

Dies ist die 4x2-Zugmaschine mit Sattelaufleger als typischer Fernverkehr-LKW in Europa.

4.1.2 Anhänger-/Aufliegersegmente (Trailer-Segmente)

Die Einteilung der Anhänger war Projektbestandteil der LOT1-Arbeiten /1a/. Tabelle 15 zeigt den Anteil einzelner Trailer innerhalb der Population in Europa.

Tabelle 15: Trailer-Verteilung

Type	Share*	Config	Share*	Bodywork***				
				Box**	Bulk/ tank	Container /Swap body	Tipper	Other
Semi trailer	80%	10-15t	0,5%	60%	7%	8%	12%	13%
		>15t	99,5%					
Drawbar trailer	20%	10-15t	44%	31%	4%	16%	18%	31%
		>15t	56%					

*Combination of figures 2-29, 2-49, 2-50 of LOT1 report, <10t is removed because it is most likely not applicable for Heavy Duty trucks

**Sum of Box van, Refrigerated, Curtain. Curtain has largest share.

***For Semi trailers a combination of figures 2-35 and 2-37 is used, for drawbar-trailers a combination of 2-36 and 2-38 is used of the LOT1 report

Drawbar trailer

Two types:

- full trailer (2- or 3-axes)
- centre axle trailer

Die Mehrheit der Anhänger wird von Aufliegern über 15 t gestellt. Auflieger zwischen 10 t und 15 t können mit ihrem Anteil von 0,5 % vernachlässigt werden, da sie nahezu nicht im Nutzfahrzeugportfolio auftauchen. Anhänger mit Deichsel verteilen sich in den Gewichtsklassen 10 t bis 15 t und über 15 t anzahlmäßig nahezu gleichmäßig. Bei beiden Typen von Anhängern hat der geschlossene Aufbau den höchsten Anteil.

4.1.3 Aufbau-Segmentierung

Die Verordnung (EG) Nr. 678/2011 definiert eine Vielzahl von Aufbauten, die zur Gruppierung sämtlicher Aufbauten herangezogen werden können. Für das hier vorgeschlagene Familienkonzept scheint diese Gruppierung jedoch nicht nötig sein, ist aber auf jeden Fall sehr hilfreich, um künftige Klassifizierungsstrukturen zu verfeinern. Tabelle 16 zeigt die Aufbaugruppierung samt Anteilen von LKW, Aufliegern und Anhängern /1a/.

Tabelle 16: Vorschlag zur Gruppierung von Fahrzeugaufbauten gemäß (EG) Nr. 678/2011

Body type	Share*	Code	Official kinds of bodywork (EN 678/2011, page 52)
Box	43%	3	Box body
		4	Conditioned body with insulated walls and equipment to maintain the interior temperature
		5	Conditioned body with insulated walls but without equipment to maintain the interior temperature
		6	Curtain-sided
		13	Livestock carrier
Bulk/tank	4%	11	Tank
		12	Tank intended for transport of dangerous goods
Container / Swap body	11%	7	Swap body (interchangeable superstructure)
		8	Container carrier
Tipper	16%	9	Vehicles fitted with hook lift
		10	Tipper
Other	26%	1	Flat bed
		2	Drop-side
		14	Vehicle transporter
		15	Concrete mixer
		16	Concrete pump vehicle
		17	Timber
		18	Refuse collection vehicle
		19	Street sweeper, cleansing and drain clearing
		20	Compressor
		21	Boat carrier
		22	Glider carrier
		23	Vehicles for retail or display purposes
		24	Recovery vehicle
		25	Ladder vehicle
		26	Crane lorry (other than a mobile crane as defined in Section 5 of Part A of Annex II)
		27	Aerial work platform vehicle
		28	Digger derrick vehicle
		29	Low floor trailer
		30	Glazing transporter
		31	Fire engine
		99	Bodywork that is not included in the present list.

Average shares from rigid truck, semi-trailers and drawbar trailers from LOT1 report.

4.1.4 Bussegmentierung

Busse können grundsätzlich in drei Hauptklassen eingeteilt werden: Linienverkehr innerstädtisch, Überlandverkehr und Gelegenheitsverkehr. Tabelle 17 zeigt diese drei Klassen mit den entsprechend zugehörigen Fahrprofilen und km-Laufleistungen.

Tabelle 17: Fahrzeugsegmentierung von Bussen /1b/

Vehicle segment	Vehicle cycle	Average yearly run distance (km)	kg/passenger
City Class I	1. heavy urban, 2. urban, 3. suburban	60.000	68
Interurban Class II	4. Interurban (mainly urban and Rural)	60.000	71
Coach Class III	5. Coach (mainly rural and motorway)	80.000	71

Wie bei den LKW findet diese Segmentierung nur Anwendung auf Busse (Fahrzeuge der Klasse M) mit einem zGG größer 7,5 t. Wie ebenfalls schon bei den LKW erwähnt, können Busse unter 7,5 t dem „Heavy-Duty“-Bussegment zugeschrieben werden, weil die Klasse M3 schon ab einem zGG von 5 t einsetzt. Daher ist auch hier zukünftig ein klarer Schnitt zwischen den Definitionen „Heavy-Duty“ und „Light-Duty“ notwendig.

Die Fahrzeugklassen sind in der Richtlinie 2001/85/EG definiert und beziehen sich auf Fahrzeuge mit einer Transportkapazität von mehr als acht Passagieren. Der Hauptunterschied liegt in der Möglichkeit, neben sitzenden auch stehende Passagiere zu befördern. Klasse I beinhaltet die Beförderung von etwa gleichermaßen vielen stehenden und sitzenden Passagieren. Bei Klasse II liegt der Schwerpunkt auf sitzenden Passagieren mit einem kleinen Anteil stehender Passagiere. Klasse III beinhaltet Fahrzeuge für die ausschließlich sitzende Beförderung. Weil der Markt hier deutliche Unterscheidungen der Klassen zeigt, wird vorgeschlagen, eine zusätzliche Definitionsmatrix einzuführen, die Fahrzeuge aufnimmt, welche nicht in eine der drei genannten Klassen eingruppiert werden können. Für eine solche Matrix kann die Innenbodenhöhe (vgl. Abbildung 2) und das Vorhandensein von Unterflur-Gepäckfächern herangezogen werden.

So zeichnet sich ein Klasse-I-Bus (Stadtbus) immer durch einen niedrigen Boden (stufenfreier Eingangsbereich) und mindestens zwei Türanlagen aus. Ein Doppeldecker kann ebenfalls der Klasse I zugeordnet werden, wenn er die Anforderungen der 2001/85/EG in Kombination mit nicht vorhandenen Gepäckabteilen erfüllt. Weitere Verfeinerungen für Klasse-II-Fahrzeuge sind das Vorhandensein von Unterflur-Gepäckfächern und Bodenhöhen unter 900 mm. Busse der Klasse III zeichnen sich immer durch einen hohen Innenboden aus (größer 900 mm) und sind als Doppeldecker (inkl. Gepäckabteil) aufgebaut. Tabelle 18 fasst die zusätzlichen Verfeinerungen der Bus-Definitionen zusammen.

Tabelle 18: Zusätzliche Fahrzeugsegmentierung von Bussen

		refined definition if vehicle can be registered as:	
Mission	EC Classification according to 2001/85/EC	Class I or II	Class II or III
City	Class I	1. Low Floor 2. Low Entry (minimum 2 doors with low entrance) 3. double decker (w/o luggage compartment)	-
Interurban	Class II	luggage compartment	Floor height $\leq$ 900mm
Coach	Class III	-	Floor height $>$ 900mm (and double decker)

Tabelle 19 zeigt die Verteilung der unterschiedlichen Busklassen über die Buspopulation in Europa. Dazu ist als weiteres beschreibendes Merkmal von Bussen die Anzahl der Achsen zur klaren Trennung hinzugekommen. Die Mehrheit der Busse hat eine 4x2-Achskonfiguration und gehört zur Klasse I (innerstädtisch) und Klasse II (Überland). Dann folgen Reisebusse der Klasse III mit der Achskonfiguration 4x2. Üblicherweise wird der 4x2-Bus als Solo-Bus bezeichnet.

Die 6x2-Bus-Konfiguration beinhaltet zwei Konzepte: den 15-m langen dreiachsigen Solo-Bus und den 18-m-Gelenkbus. Andere Achskonfigurationen wie 8x2 sind wegen ihrer geringen Verbreiten als exotisch einzustufen und finden hier keine weitere Berücksichtigung. Die Konfiguration 6x2 findet sich in jeder Klasse. Die Fahrzeugklassen in Tabelle 19 sind eine Fortsetzung der 17 Klassen aus Tabelle 14.

Tabelle 19: Fahrzeugpopulation (Busse) /1b/

Type	Config	Chassis config,	GVW	class	Share*	GVM	Maximum overall outer dimensions (96/53/EC)**
							l x w x h
Bus 2axl	4x2	Citybus	all	18	37,3%	<18t	13.5 x 2.55 x 4.00
		Interurb. Bus	all	19		<18t	13.5 x 2.55 x 4.00
		Coach	all	20	29,8%	<18t	13.5 x 2.55 x 4.00
Bus 3 axl	6x2	Citybus	all	21	15,1%	>18t	15 x 2.55 x 4.00
		Artic. Citybus	all	22		>18t	18.75 x 2.55 x 4.00***
		Interurb. Bus	all	23	17,7%	>18t	15 x 2.55 x 4.00
		Coach	all	24		>18t	15 x 2.55 x 4.00

* LOT 1 report: Figure 2–42: EU27 estimated split of buses and coaches by type and weight class (2005 fleets)

**Dimensions checked with DE/BE/NL/SP and IT

***Spain and Italy have a max. of 18m

4.2 Entwicklung eines Klassifizierungsschemas

Dieser Abschnitt beinhaltet weitere Detailinformationen über die Fahrzeugklassifizierung, die bereits in Kapitel 2.2 vorgestellt wurde. Die hier herangezogenen Zahlen stammen aus dem LOT1-Bericht /1a/, von ACEA /2/ sowie aus Abschätzungen innerhalb von LOT2-Gruppe.

Das Klassifizierungsschema kann als erster regulatorischer Ansatz zur Definition von Familienbildungskriterien verstanden werden, der auf das Fahrzeugportfolio eines Herstellers Anwendung finden kann. Dieser zusätzliche Ansatz soll sowohl die übliche Motorfamilienbetrachtung (Motor losgelöst vom Fahrzeug) der Nutzfahrzeugmotorentypprüfung als auch die Gesamtfahrzeugtypprüfung reflektieren. Die vorgeschlagene Methode soll folgende Kernaspekte beinhalten:

- Berücksichtigung der bestehenden Motorfamilienbildungskriterien hinsichtlich der Abgasemissionen (2005/55/EG und VO 64/2012 (EURO VI),
- Berücksichtigung des bestehenden europäischen Nutzfahrzeugklassifizierungsschemas (2007/46/EG und VO 678/2011),
- Festlegung der im ersten Schritt zu berücksichtigenden Fahrzeugsegmente,
- Festlegung von Kriterien zur Deklaration eines CO₂-Wertes für spezifizierte Fahrzeuge innerhalb einer Familie,
- Benennung notwendiger Maßnahmen für weitere Untersuchungen zur Abdeckung der gesamten Flotte.

4.2.1 Jahresfahrleistung und CO₂-Emissionen verschiedener Nutzfahrzeugklassen

Im Jahr 2010 hat ACEA eine Nutzfahrzeugklassifizierung auf der Basis von Achskonfigurationen und dem zGG vorgeschlagen. Zusätzlich hat ACEA Einsatzprofile definiert, welche die Art der Fahrzeugnutzung beschreiben. Dieser ACEA-Vorschlag ist im LOT1-Bericht beschrieben /1a/. und wurde seitens ACEA im Jahr 2011 erweitert.

Entsprechend der ACEA-Klassifizierung sind die zu berücksichtigenden Nutzfahrzeugkategorien in Tabelle 20 zusammengefasst. LKW werden nach ihrer Achskonfiguration, ihrem Aufbau und ihrem zGG klassifiziert. Zusätzlich werden sie in fünf Einsatzprofile bzw. Fahrzeugzyklen gruppiert (Tabelle 21).

Tabelle 20: ACEA-Nutzfahrzeug (Nfz)-Klassifizierung, zGG $\geq 7,5$ t (Oktober 2011)

Axle Configuration		Chassis Configuration	GVW (t)
Truck 2 Axles	4x2	Rigid + (Tractor)	7.5-10t
		Rigid + (Tractor)	10-12t
		Rigid + (Tractor)	12-16t
		Rigid	>16t
		Tractor	>16t
	4x4	Rigid	7.5-16t
		Rigid	>16t
		Tractor	>16t
Truck 3 Axles	6x2/2-4	Rigid	All Weights
		Tractor	All Weights
	6x4	Rigid	All Weights
		Tractor	All Weights
	6x6	Rigid	All Weights
		Tractor	All Weights
Truck 4 Axles	8x2	Rigid	All Weights
	8x4	Rigid	All Weights
	8x6/8x8	Rigid	All Weights

Tabelle 21: ACEA-Einsatzprofile, zGG $\geq 7,5$ t (Oktober 2011)

No.	Vehicle Cycle /Mission	Mission / Vehicle Cycle Description
1	Urban Delivery	Urban delivery of consumer goods from a central store to selling points (inner-city and partly suburban roads).
2	Municipal Delivery	Urban truck operation like refuse collection (many stops, partly low vehicle speed operation, driving to and back to central base point).
3	Regional Delivery	Regional delivery of consumer goods from a central warehouse to local stores (inner-city, suburban, regional and also mountain roads).
4	Long Haul	Delivery to national and international sites (mainly highway operation and a small share of regional roads).
5	Construction	Construction site vehicles with delivery from central store to very few local customers (inner-city, suburban and regional roads; only small share of off-road driving).

Busse mit einem zGG $\geq 7,5$ t werden gemäß ACEA (Oktober 2011) in fünf Einsatzprofile gruppiert: City Class I, welche den gesamten innerstädtischen Linienverkehr beinhaltet; Interurban Class II, welche den Überlandverkehr beinhaltet; und Coach Class III für den Gelegenheitsverkehr (Tabelle 22). Jedoch werden hier nur die drei Haupteinsatzprofile berücksichtigt und damit in diesem Bericht acht Einsatzprofile für alle Nutzfahrzeuge.

Tabelle 22: ACEA Einsatzprofile für Busse, zGG $\geq 7,5$ t (Oktober 2011)

No.	Vehicle /Mission	Cycle	Sub-categories
1	City Class I		Heavy Urban
2			Urban
3			Suburban
4	Interurban Class II		-
5	Coach Class III		-

4.2.1.1 Jahresfahrleistungen der einzelnen Nutzfahrzeugklassen

Aussagen von ACEA sowie Daten aus dem LOT1-Bericht ermöglichen eine Abschätzung der durchschnittlichen Jahresfahrleistungen (in km) der acht hier betrachteten Einsatzprofile (Tabelle 23).

Tabelle 23: Abschätzung der Jahresfahrleistung (in km) je nach Einsatzprofil (gem. ACEA)

HDV Category	Urban Delivery	Municipal Delivery	Regional Delivery	Long Haul	Construction	City Class I	Interurban Class II	Coach Class III
Annual Mileage (km)	40000	25000	60000	135000	60000	60000	60000	80000

Die Abschätzung der Jahresfahrleistung ist für jede Nutzfahrzeugklasse in Tabelle 24 dargestellt.

Tabelle 24: Zuordnung der Jahresfahrleistung nach Einsatzprofil der Nfz-Kategorien /1a/

Categories		Urban Delivery	Municipal Delivery	Regional Delivery	Long Haul	Construction	City Class I	Interurban Class II	Coach Class III	Sum
Truck 2 Axles	4x2 Rigid + (Tractor) 7.5-10t	12000	5000	18000	27000					62000
	4x2 Rigid + (Tractor) > 10-12t	12000	5000	18000	27000					62000
	4x2 Rigid + (Tractor) > 12-16t	12000	5000	18000	27000					62000
	4x2 Rigid > 16t	8000	5000	12000	54000					79000
	4x2 Tractor > 16t			21000	67500	9000				97500
	4x4 Rigid 7.5-16t		5000			48000				53000
	4x4 Rigid >16t		5000			48000				53000
	4x4 Tractor >16t					60000				60000
Truck 3 Axles	6x2/2-4 Rigid All Weights		12500	10200	44550					67250
	6x2/2-4 Tractor All Weights				135000					135000
	6x4 Rigid All Weights				27000	48000				75000
	6x4 Tractor All Weights				81000	24000				105000
	6x6 Rigid All Weights					60000				60000
	6x6 Tractor All Weights					60000				60000
Truck 4 Axles	8x2 Rigid All Weights		6250	45000						51250
	8x4 Rigid All Weights					60000				60000
	8x6/8x8 Rigid All Weights					60000				60000
Bus - Coach	City Class I						60000			60000
	Interurban Class II							60000		60000
	Coach Class III								80000	80000

4.2.1.2 Nutzfahrzeugneuzulassungen (2000-2009)

Um die CO₂-Emissionen der einzelnen Nfz-Kategorien auszudrücken, ist die Fahrzeugflotte vorerst zu identifizieren. Anhand der Daten der Tabelle 2.23 und der Abbildungen 2.40 und 2.43 des LOT1-Berichtes /1a/ können die neu zugelassenen Nfz der Jahre 2000 bis 2009 den Nfz-Kategorien zugeordnet werden (Tabelle 25). Es wird vorausgesetzt, dass die Neuzulassungen dieser Jahre ein repräsentatives Bild der Fahrzeugflotte liefern. Ein Vergleich (Abbildung 20) des Fahrzeugbestands mit Daten aus dem EC4MACS-Project liefert ein ähnliches Bild (www.ec4macs.eu).

Die Zuordnung neuer Nutzfahrzeuge zu den acht Einsatzprofilen wird in Abbildung 17 dargestellt. Darin haben Fernverkehrsfahrzeuge den größten Anteil an der Flotte der Jahre 2000 bis 2009, während Busse den kleinsten Anteil haben.

Tabelle 25: Nfz-Neuzulassungen zugeordnet zu Nfz-Kategorien (2000-2009)

Categories		Urban Delivery	Municipal Delivery	Regional Delivery	Long Haul	Construction	City Class I	Interurban Class II	Coach Class III	Sum
Truck 2 Axles	4x2 Rigid + (Tractor) 7.5-10t	65384	43589	65384	43589					217947
	4x2 Rigid + (Tractor) > 10-12t	65384	43589	65384	43589					217947
	4x2 Rigid + (Tractor) > 12-16t	65384	43589	65384	43589					217947
	4x2 Rigid > 16t	71327	71327	71327	142654					356636
	4x2 Tractor > 16t			436735	623907	187172				1247813
	4x4 Rigid 7.5-16t		5170			20682				25852
	4x4 Rigid >16t		5606			22424				28030
	4x4 Tractor >16t					12290				12290
Truck 3 Axles	6x2/2-4 Rigid All Weights		172388	58612	113776					344776
	6x2/2-4 Tractor All Weights				151503					151503
	6x4 Rigid All Weights				27610	110438				138048
	6x4 Tractor All Weights				18934	12622				31556
	6x6 Rigid All Weights					28072				28072
	6x6 Tractor All					2762				2762

Categories		Urban Delivery	Municipal Delivery	Regional Delivery	Long Haul	Construction	City Class I	Interurban Class II	Coach Class III	Sum
	Weights									
Truck 4 Axles	8x2 Rigid All Weights		2325	6974						9298
	8x4 Rigid All Weights					180797				180797
	8x6/8x8 Rigid All Weights					15251				15251
Bus - Coach	City Class I						182499			182499
	Interurban Class II							126425		126425
	Coach Class III								98510	98510

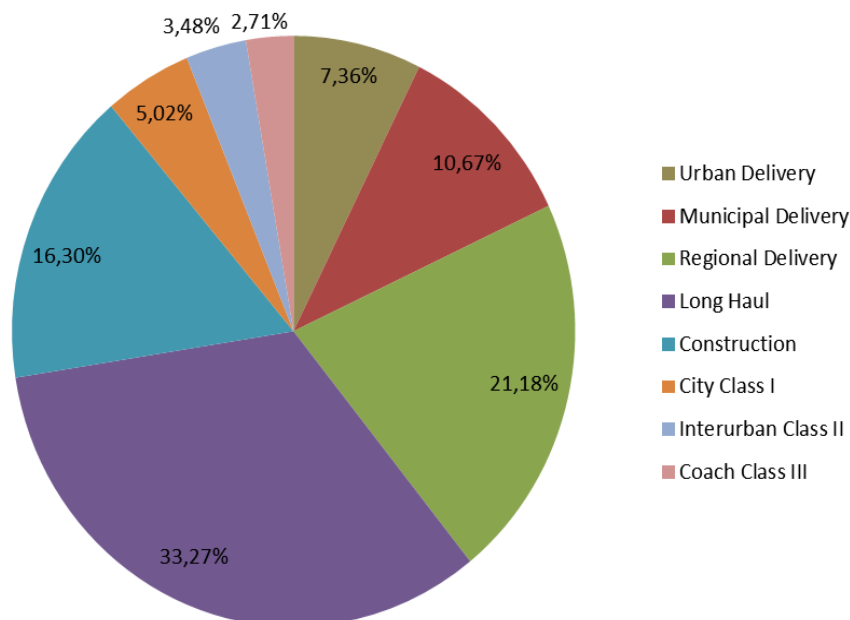


Abbildung 17: Nfz-Neuzulassungen zugeordnet zu Nfz-Einsatzprofilen (2000-2009)

4.2.1.3 CO₂-Emissionen verschiedener Nutzfahrzeugklassen

Tabelle 26 basiert auf Daten von TNO und Tabelle 4.10 des LOT1-Berichtes für Busse /1a/ und fasst den durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch der einzelnen Nfz-Kategorien zusammen. Unter der Annahme einer Kraftstoffdichte von 0,84 kg/l (typischer Dieselmotorkraftstoff) kann der jährliche CO₂-Ausstoß jeder Nfz-Kategorie durch Multiplikation der entsprechenden Werte der Tabelle 23 mit Tabelle 24 und mit Tabelle 25 dargestellt werden.

Tabelle 26: Durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch neuer Nfz nach Fahrzeugkategorie (Basis: TNO (18, Seite 17) und LOT1, vereinfachte Annahmen) /1b/

Categories		Fuel Consumption l/100 km
Truck 2 Axles	4x2 Rigid + (Tractor) 7.5-10t	16,9
	4x2 Rigid + (Tractor) > 10-12t	16,9
	4x2 Rigid + (Tractor) > 12-16t	16,9
	4x2 Rigid > 16t	24,4
	4x2 Tractor > 16t	35,7
	4x4 Rigid 7.5-16t	16,9
	4x4 Rigid >16t	24,4
	4x4 Tractor >16t	35,7
Truck 3 Axles	6x2/2-4 Rigid All Weights	24,4
	6x2/2-4 Tractor All Weights	35,7
	6x4 Rigid All Weights	33,8
	6x4 Tractor All Weights	35,7
	6x6 Rigid All Weights	33,8
	6x6 Tractor All Weights	35,7
Truck 4 Axles	8x2 Rigid All Weights	33,8
	8x4 Rigid All Weights	33,8
	8x6/8x8 Rigid All Weights	33,8
Bus - Coach	City Class I	36,0
	Interurban Class II	31,9
	Coach Class III	27,7

Zur Abschätzung den jährlichen CO₂-Ausstoßes wird angenommen, dass der im Kraftstoff enthaltenen Kohlenstoff komplett zu CO₂ oxidiert. Daher wird der Emissionsfaktor von Diesel gemäß COPERT /14/ als 3,14 kg CO₂/kg Kraftstoff angenommen. So ergibt sich ein jährlicher CO₂-Ausstoß je Nfz-Kategorie in kt nach folgender Gleichung:

$$E_{CO_2} = N_{Class} \cdot FC \cdot M_{Class} \cdot \rho_{Diesel} \cdot EF_{CO_2} \cdot 10^{-8} \quad \text{Gleichung 28}$$

- mit:
- E_{CO_2} - CO₂-Emissionen jeder Nfz-Kategorie [kt]
 - N_{Class} - Anzahl der Fahrzeuge in jeder Kategorie – Tabelle 25
 - FC - Durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch jeder Nfz-Kategorie Tabelle 27 [l/100 km]
 - M_{class} -Durchschnittliche Jahresfahrleistung pro Fahrzeug jeder Kategorie nach Tabelle 24 [km/vehicle]
 - ρ_{Diesel} - Dichte des Dieselmotorkraftstoffes = 0.835 kg/l
 - EF_{CO_2} - CO₂-Emissionsfaktor für Diesel, Tabelle 3-11 COPERT manual /14/ [kg_{CO2}/kg_{fuel}]

Unter Anwendung von Gleichung 24 wurden die CO₂-Emissionen für alle Nutzfahrzeugklassen ermittelt (Tabelle 27 und Abbildung 18). Den größten Anteil an den CO₂-Emissionen tragen 4x2-Zugmaschinen mit einem Gewicht >16 t.

Tabelle 27: CO₂-Emissionen aller Nfz-Kategorien (in kt) – Neuzulassungen (2000-2009)

Categories		Urban Delivery	Municipal Delivery	Regional Delivery	Long Haul	Construction	City Class I	Interurban Class II	Coach Class III	Sum
Truck 2 Axles	4x2 Rigid + (Tractor) 7.5-10t	1177	490	1765	2648					6081
	4x2 Rigid + (Tractor) > 10-12t	1177	490	1765	2648					6081
	4x2 Rigid + (Tractor) > 12-16t	1177	490	1765	2648					6081
	4x2 Rigid > 16t	1855	1159	2782	12518					18313
	4x2 Tractor > 16t			24894	80016	10669				115579
	4x4 Rigid 7.5-16t		58			558				617
	4x4 Rigid >16t		91			875				966
	4x4 Tractor >16t					701				701
Truck 3 Axles	6x2/2-4 Rigid All Weights		2801	2286	9984					15071
	6x2/2-4 Tractor All Weights				19430					19430
	6x4 Rigid All Weights				3355	5964				9318
	6x4 Tractor All Weights				2428	719				3148
	6x6 Rigid All Weights					1516				1516
	6x6 Tractor All Weights					157				157
Truck 4 Axles	8x2 Rigid All Weights		52	377						429
	8x4 Rigid All Weights					9763				9763
	8x6/8x8 Rigid All Weights					824				824
Bus - Coach	City Class I						10482			10482
	Interurban Class							6437		6437

Categories		Urban Delivery	Municipal Delivery	Regional Delivery	Long Haul	Construction	City Class I	Interurban Class II	Coach Class III	Sum
	II									
	Coach Class III								5807	5807
	Total:	5385	5633	35634	135675	31745	10482	6437	5807	236798

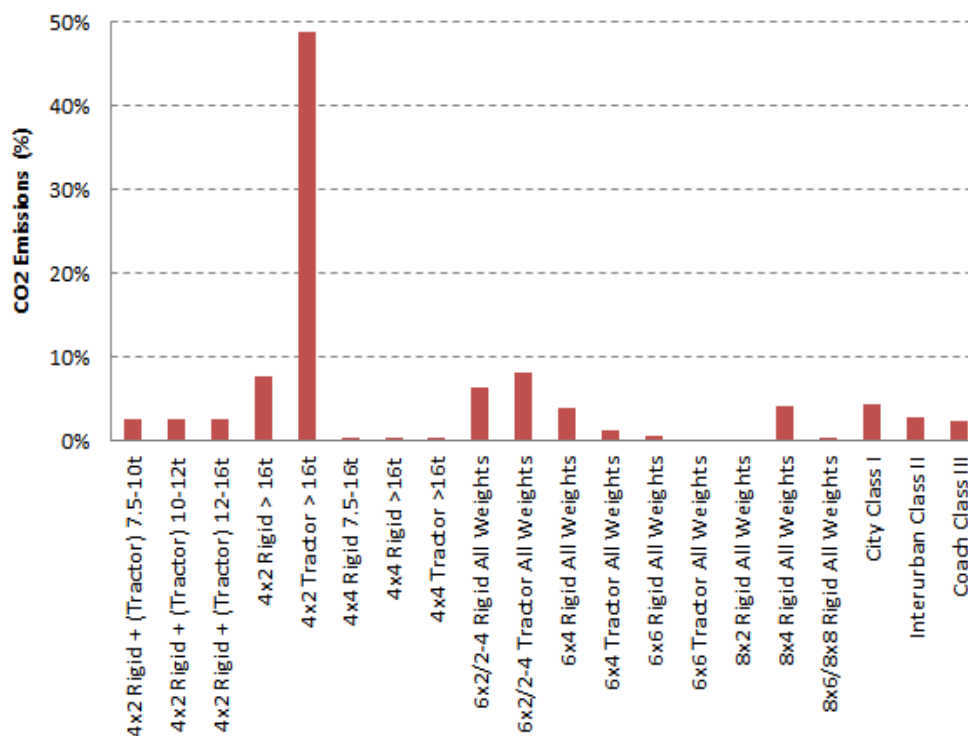


Abbildung 18: Verteilung der CO₂-Emissionen einzelner Fahrzeugkategorien (2000-2009)

Die Verteilung der CO₂-Emissionen der verschiedenen Einsatzprofile ist in Abbildung 19 dargestellt. Fernverkehrsfahrzeuge haben den größten Anteil an den CO₂-Emissionen, während Fahrzeuge des innerstädtischen Verteilerverkehrs den geringsten Anteil aufweisen (2000-2009). Grund dafür sind der größte Marktanteil und die größte Jahresfahrleistung dieser Gruppe. Wohingegen Verteilerfahrzeuge im innerstädtischen Verkehr nur relativ kurze Wegstrecken zurücklegen.

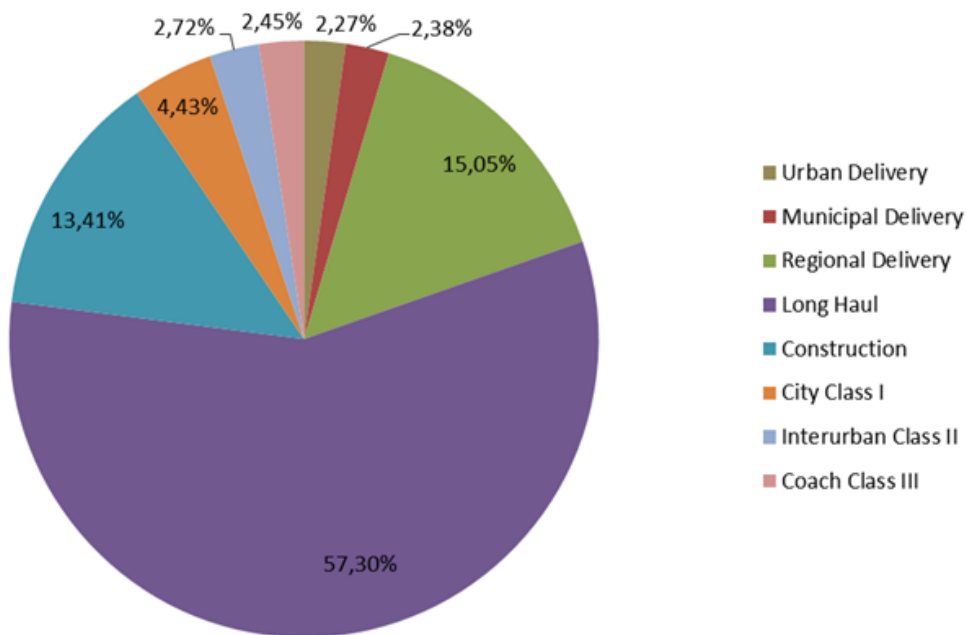


Abbildung 19: Verteilung der CO₂-Emissionen nach Einsatzprofilen (2000-2009)

ACEA schlägt vor, die Kategorien LKW 4x4 7,5 bis 16 t, Zugmaschinen 4x4 >16 t, LKW 6x6, Zugmaschinen 6x6 und LKW 8x6/8x8 von der Klassifizierung wie dargestellt in Tabelle 1 auszunehmen, da sie insgesamt nur einen Anteil von ca. 1,64 % an den gesamten CO₂-Emissionen haben /3/.

In den Berechnungen wurde der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch aus Kapitel 4.2.1.3 herangezogen. Die Abschätzungen von TNO werden bevorzugt, da sie mit Feld-Daten (z. B. EU Vehicle FLEETS /14/) besser übereinstimmen als mit Daten aus dem LOT1-Bericht. Das ist im Falle des innerstädtischen Verteilerverkehrs offensichtlich. Tabelle 28 zeigt den durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch der Nutzfahrzeuge entsprechend der Einsatzprofile und stellt Werte aus dem LOT1-Bericht den hier durchgeführten Berechnungen gegenüber.

Tabelle 28: Durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch von Nfz entsprechend deren Einsatzprofil /1b/

Average Fuel Consumption (l/100km)					
	Urban Delivery	Municipal Delivery	Regional Delivery	Long Haul	Construction
LOT 1	21	55,2	25,3	30,6	26,8
Calculated	18,9	21,9	29,0	31,2	33,6

Zur Untersuchung des Einfluss von Neuzulassungen auf die derzeitige Nfz-Flotte wurden die CO₂-Emissionen für beide Fälle berechnet (Altbestand/Neuzulassungen). Die angenommene Nfz-Flotte für 2010 basiert auf dem EC4MACSProjekt (www.ec4macs.eu) und wurde durch ACEA-Angaben in der Berechnung ersetzt.

Wie Abbildung 20 zeigt, liefern beide Flotten ein vergleichbares Bild hinsichtlich der CO₂-Verteilung je Fahrzeugkategorie. So ist die Anwendung von ACEA-Daten zur Bewertung von Neuzulassungen brauchbar.

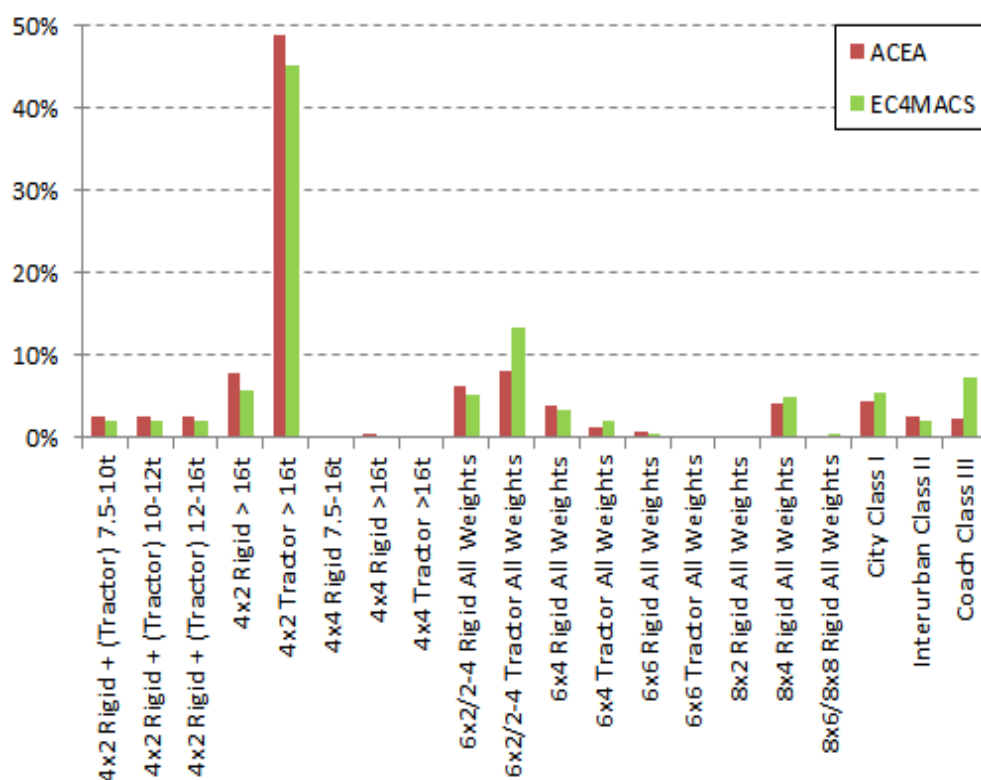


Abbildung 20: Geschätzte CO₂-Emissionen basierend auf ACEA (new registrations)- und EC4MACS (fleet)-Daten

4.2.1.4 Anteil des Luftwiderstandes am Energieverbrauch

Der Anteil des Luftwiderstandes am gesamten Energieverbrauch ist entscheidend zur Festlegung, für welche Fahrzeugklasse ein exakter Luftwiderstandsbeiwert bestimmt werden muss. Der Anteil am Luftwiderstand wurde für 17 Fahrzeugklassen (Tabelle 1) abgeschätzt und unter Berücksichtigung der Jahresfahrleistung pro Einsatzprofil in Tabelle 24 dargestellt.

Im Modell werden die folgenden Gleichungen für die drei Komponenten des Fahrwiderstandes – Luftwiderstand, Rollwiderstand, Beschleunigungswiderstand – herangezogen (Gleichung 25):

$$W_{\text{air}} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{air}} \cdot C_d \cdot A_{\text{cr}} \cdot \int (v_{\text{veh}}^3) \cdot dt$$

$$W_{\text{roll}} = \text{RRC} \cdot m_{\text{veh}} \cdot g \cdot \int (v_{\text{veh}}) \cdot dt \quad \text{Gleichung 29}$$

$$W_{\text{acc}} = (m_{\text{veh}} + m_{\text{rot,equiv}}) \cdot \int (a_{x,\text{pos}} \cdot v_{\text{veh}}) \cdot dt$$

Die Prüfzyklen für den Rollenprüfstand (siehe LOT2, Kapitel 3.5.6.1) repräsentieren Zyklen für innerstädtischen, Überland- und Fernverkehr. Die Fahrzeugspezifikationen zur Berechnung von Fahrwiderständen und Kraftstoffverbräuchen sind in Tabelle 29 dargestellt.

Tabelle 29: Fahrzeugspezifikationen zur Berechnung von Fahrwiderständen und Kraftstoffverbräuchen

Axles		Truck type	Vehicle class	Mass (50% pay load)* (kg)	C _d **	A (m ²)	C _d · A (m ²)	RRC***
Truck 2axl	4x2	Rig & tract	1-2-3	8875	0.50	8.12	4.1	0.0067
		Rigid	4	13750	0.50	8.74	4.4	0.0057
		Tractor	5	27500	0.60	9.76	5.9	0.0053
	4x4	Rigid	6	9750	0.75	7.02	5.3	0.0078
		Rigid	7	14500	0.75	7.53	5.6	0.0073
		Tractor	8	28000	0.75	7.53	5.6	0.0073
Truck 3axl	6x2/2-4	Rigid	9	18500	0.50	9.76	4.9	0.0051
		Tractor	10	33000	0.60	9.76	5.9	0.0051
	6x4	Rigid	11	19750	0.75	7.53	5.6	0.0074
		Tractor	12	34000	0.75	7.53	5.6	0.0074
	6x6	Rigid	13	20000	0.75	7.53	5.6	0.0074
		Tractor	14	34500	0.75	7.53	5.6	0.0074
Truck 4axl	8x2-8	Rigid	15-16-17	26500	0.75	7.53	5.6	0.0073

* <http://nl.bastrucks.com> , www.braem.com/nl

** Based on (15)

*** Based on (16), (22)

Alle Fahrzeugklassen mit mindestens Vierradantrieb (z. B. Baustellen-Kipper) haben einen wesentlich geringeren Anteil an Autobahnfahrten als Fahrzeuge mit nur einer angetriebenen Achse. Damit ist deren relativer Anteil am Luftwiderstand geringer. Tabelle 30 und Abbildung 20 zeigen, dass der Anteil des Luftwiderstandes in der Fahrzeugklasse mit geschlossenem Aufbau immer über 40 % liegt, während er für z. B. Kipper immer unter 35 % liegt.

Für eine CO₂-Verordnung kann entschieden werden, ob bestimmte Fahrzeugklassen mit einem Standardwert für den Luftwiderstand belegt werden oder ob gesonderte Luftwiderstandsmessungen erforderlich sind. Der Anteil des Luftwiderstandes hilft bei der Entscheidung, welche Fahrzeugklasse eine Luftwiderstandsmessung erfordert und für welche Fahrzeugklasse die Anwendung von Standardwerten ein günstigeres Kosten-Nutzen-Verhältnis zeigt.

Tabelle 30: Wichtung von Einsatzprofil und gewichtetem Luftwiderstand als Anteil am Gesamtfahrwiderstand

Truck type				Super-structure	weighing of mission profile				weighted air drag
					Urban / Munic. Delivery	Regional Deliv. / Rural	Long Haul / Motorway	Sum	
Truck 2axl	4x2	Rig & tract	7.5-16t	Box	27%	29%	44%	100%	42%
		Rigid	> 16t	Box	16%	15%	68%	100%	45%
		Tractor	> 16t	Box	1%	30%	69%	100%	42%
	4x4	Rigid	7.5-16t	Tipper	20%	80%		100%	35%
		Rigid	>16t	Tipper	20%	80%		100%	28%
		Tractor	>16t	Tipper	12%	88%		100%	19%
Truck 3axl	6x2/2-4	Rigid	All Weights	Box	19%	15%	66%	100%	41%
		Tractor	All Weights	Box			100%	100%	47%
	6x4	Rigid	All Weights	Tipper	8%	56%	36%	100%	34%
		Tractor	All Weights	Tipper	3%	20%	77%	100%	33%
	6x6	Rigid	All Weights	Tipper	12%	88%		100%	24%
		Tractor	All Weights	Tipper	12%	88%		100%	16%
Truck 4axl	8x2-8	Rigid	All Weights	Tipper	12%	88%		100%	20%

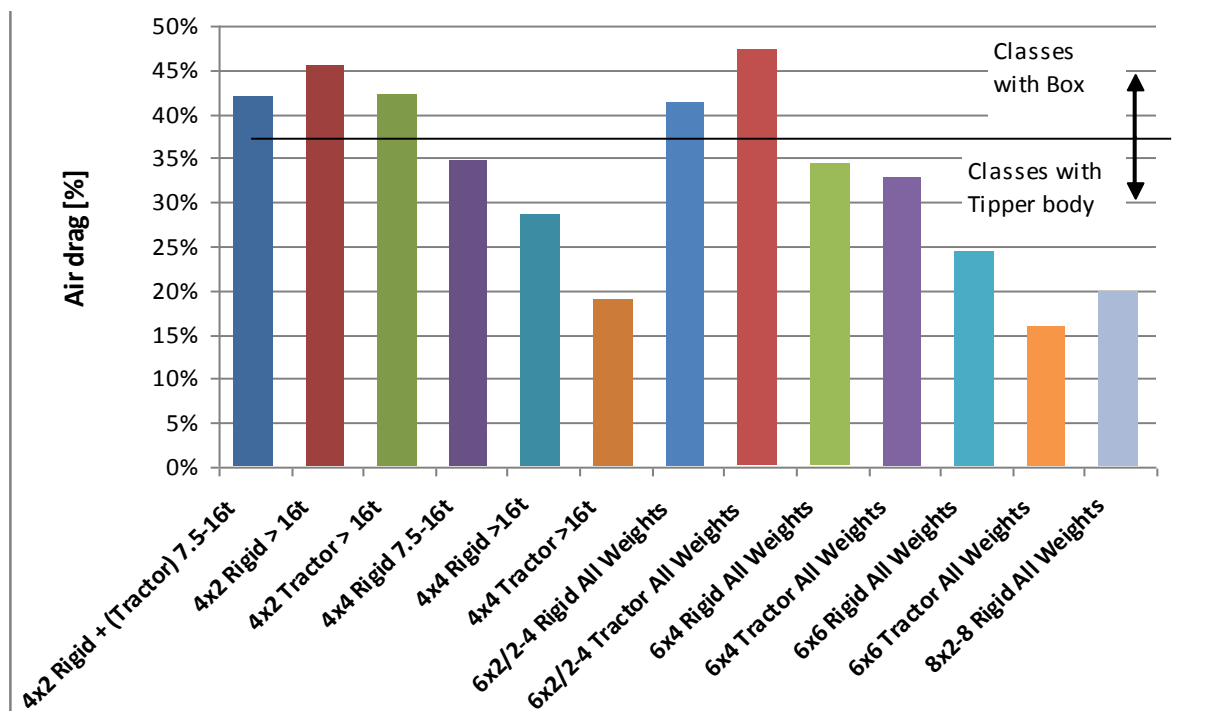


Abbildung 21: Luftwiderstand pro Fahrzeugklasse als Anteil am Gesamtfahrwiderstand

4.2.2 Motorfamilie nach Richtlinie 2005/55/EG und Verordnung 64/2012

Die Richtlinie 2005/55/EG und die Verordnung (EG) 64/2012 zur Zulassung von Nutzfahrzeugen beschreiben Kriterien zur Bildung von Motorfamilien basierend auf der ISO 16185. Die Bestimmungen definieren einen Stammmotor, welcher eine Motorfamilie hinsichtlich ihres Emissionsverhaltes repräsentiert. Die am Stammmotor ermittelten Emissionen gelten für alle Motoren innerhalb einer Familie. Auf Anfrage der Genehmigungsbehörde bzw. des technischen Dienstes können weitere Motoren der Familie geprüft werden, um die Ergebnisse des Stammmotors zu verifizieren. Der Stammmotor wird nach dem Kriterium der höchsten Kraftstoffförderung pro Hub ($\text{mm}^3/\text{stroke}$) bei maximalem Drehmoment ausgewählt. Im Fall, dass zwei Motoren der Familie dieses Kriterium erfüllen, wird als sekundäres Kriterium die höchste Kraftstoffförderung pro Hub bei Nenndrehzahl herangezogen.

Zur Einführung eines Klassifizierungsschemas und zur CO_2 -Bestimmung mittels Modellansatz ist zu überprüfen, ob dieses Familienkonzept übernommen werden kann oder eine andere Methode berücksichtigt werden muss. Dabei ist zu verifizieren, ob die Fahrzeug- und Komponententests für jeden Motor einer Familie durchgeführt werden müssen oder der existierende Familienansatz übertragen werden kann.

Zur Bewertung der Übertragbarkeit des existierenden Motorfamilienkonzeptes auf Fahrzeug- und Komponententests wurden Daten von Euro-V und EEV-Motoren innerhalb einer Motorfa-

milie (Stammmotor vs. Familienmotor) hinsichtlich CO₂-Ausstoß und spezifischem Kraftstoffverbrauch (be) gegenübergestellt. Tabelle 31 zeigt die hierzu verfügbaren Daten von Stamm- und Familienmotoren in anonymisierter Form.

Tabelle 31: CO₂-Verhältnis zwischen Stamm- und Familienmotor /1b/

	Parent engine nominal power range	%power of the family engine	be ETC [g/kWh]			CO ₂ ESC [g/kWh]			CO ₂ ETC [g/kWh]		
			Parent engine	Family engine (lowest rating)	ratio	Parent engine	Family engine (lowest rating)	ratio	Parent engine	Family engine (lowest rating)	ratio
Family 1	up to 380 kW	83,78	191,9	194,0	1,011	597,2	599,4	1,004	574,5	571,4	0,995
Family 2	up to 350 kW	79,10	194,0	195,8	1,009	630,0	631,3	1,002	633,8	640,9	1,011
Family 3	up to 300 kW	73,33	202,9	197,2	0,972	631,8	659,5	1,044	650,2	687,3	1,057
Family 4	up to 350 kW	89,55	202,4	202,8	1,002	625,3	627,3	1,003	632,9	634,0	1,002
Family 5	up to 350 kW	67,14	200,8	206,8	1,030	612,5	628,8	1,027	578,4	613,1	1,060
Family 6	up to 380 kW	94,59	203,8	205,3	1,007	617,0	621,7	1,008	676,4	680,5	1,006
Family 7	up to 350 kW	84,13	202,8	202,3	0,998	637,0	639,2	1,004	649,6	652,3	1,004
Family 8	up to 500 kW	78,13	204,2	204,7	1,002	627,9	630,0	1,003	688,4	685,9	0,996
Family 9	up to 150 kW	58,33	231,5	257,2	1,111	717,3	783,3	1,092	730,6	818,1	1,120
Family 10	up to 150 kW	87,50	236,4	236,9	1,002	694,8	680,5	0,979	730,8	708,2	0,969
Family 11	up to 100 kW	62,67	245,2	267,8	1,092	692,4	731,9	1,057	703,9	785,4	1,116
Family 12	up to 150 kW	54,17	238,9	254,8	1,066	692,1	724,5	1,047	692,7	751,2	1,084
Family 13	up to 250 kW	70,00	219,0	227,7	1,040	664,2	682,3	1,027	685,9	697,5	1,017
Family 14	up to 250 kW	82,16	228,2	228,1	1,000	701,9	680,0	0,969	682,3	699,1	1,025

Die hier aufgezeigten Daten zeigen, dass der spezifische Kraftstoffverbrauch und die spezifischen CO₂-Werte über die Typprüfzyklen ESC und ETC in einem Verhältnis um Eins liegen. Die Nennleistung der Stammmotoren weist nur auf den Leistungsbereich hin, in dem der Stammmotor liegt. Die prozentuale Leistung des Familienmotors weist auf die Leistung des Vergleichsmotors innerhalb der entsprechenden Familie hin. Für den ESC wird der spezifische Kraftstoffverbrauch (be) nicht ausgewiesen, da auf jede Stufe Wichtungsfaktoren angewandt werden (entfallen beim WHSC für Euro VI).

Dennoch erlauben die verfügbaren Daten keine korrekte physikalische Analyse des Einflusses der Variabilität innerhalb einer Motorfamilie hinsichtlich ihres Verbrauchskennfeldes. Falls innerhalb einer Motorfamilie die 100%-Einspritzrate des Stammmotors herabgesetzt ist, wird damit nur die Volllastkennlinie nach unten verschoben und alle übrigen Teillastpunkte in ihrem spezifischen Verbrauch bleiben unverändert. Weil im ETC und WHTC die Motorleistung als Funktion der Volllastkurve definiert ist, können die Lastpunkte von Motoren innerhalb einer Familie unterschiedlich sein. Daher zeigen die Ergebnisse des gesamten Zyklus nicht, ob Punkte mit vergleichbaren absoluten Werten für Drehzahl und Drehmoment eine ähnliche Kraftstoffeffizienz aufweisen.

Diese Daten sollten anhand von Werten weiterer Motorfamilien, welche auch ein Verbrauchskennfeld enthalten, evaluiert werden.

Dabei wären dann auch Motoren zum Einsatz in Fahrzeugen unterhalb der Grenze von 7,5 t zGG und Motoren der Emissionsstufe Euro VI zu berücksichtigen.

Zum jetzigen Zeitpunkt kann aber zusammengefasst werden, dass der Motorfamilienansatz zur Bestimmung der Abgasemissionen und zur Fahrzeugkomponentenprüfung für die Bestimmung eines CO₂-Wertes herangezogen werden kann.

4.2.3 Klassifizierungsschema nach 2007/46/EG und VO (EG) 678/2011

Die existierende Klassifizierung gemäß Richtlinie 2007/46/EG und der Verordnung VO (EG) 678/2011 ist hinsichtlich der CO₂-Deklaration von eher untergeordneter Bedeutung, aber dennoch notwendig, um die Gesamtfahrzeuggenehmigung berücksichtigen zu können.

Die durchgeführten Analysen zeigen, dass das existierende Schema für eine künftige CO₂-Deklaration herangezogen werden kann und hilft, Fahrzeuge korrekt zu klassifizieren. Für das CO₂-Schema sind fast alle Klassen nach 2007/46/EG, mit Ausnahme der Personenkraftwagen und einiger leichter Nfz, von Bedeutung. Wie schon erwähnt, wäre die Definition leichter Nutzfahrzeuge für eine CO₂-Deklaration anzupassen, damit eine striktere Trennung zwischen leichten und schweren Nutzfahrzeugen möglich wird.

Die Fahrzeugklassen gemäß 2007/46/EG sind wie folgt definiert:

- Klasse M: für die Personenbeförderung ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge mit mindestens vier Rädern;
- Klasse M1: für die Personenbeförderung ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge mit höchstens acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz;
- Klasse M2: für die Personenbeförderung ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge mit mehr als acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz und einer zulässigen Gesamtmasse bis zu 5 t;
- Klasse M3: für die Personenbeförderung ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge mit mehr als acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz und einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 5 t.

Fahrzeuge der Klasse M₁ sind in der HDV-CO₂-Prozedur innerhalb dieses Dokumentes nicht berücksichtigt. M₂-Fahrzeuge wären über den Anwendungsbereich der Richtlinie 715/2007 berücksichtigt, würden durch Anpassung des Verwendungsbereiches jedoch entfallen. M₃-Fahrzeuge (Busse) sind in Abschnitt 2.1 definiert.

- Klasse N: für die Güterbeförderung ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge mit mindestens vier Rädern;

- Klasse N1: für die Güterbeförderung ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge mit einer zulässigen Gesamtmasse bis zu 3,5 t;
- Klasse N2: für die Güterbeförderung ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 3,5 t bis zu 12 t;
- Klasse N3: für die Güterbeförderung ausgelegte und gebaute Kraftfahrzeuge mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 12 t.

N₁-Fahrzeuge fallen nicht unter diese CO₂-Prozedur. Sie sind den leichten Nfz mit einer Bezugsmasse <2810 kg/2840 kg zuzuordnen. N₂-Fahrzeuge fallen in das CO₂-Schema, wenn ihre Bezugsmasse den genannten Grenzwert überschreitet. Ein Schnitt zwischen leichten und schweren Nfz würde die aktuelle Situation klarer darstellen. N₃-Fahrzeuge fallen klar in das CO₂-Schema.

Anhänger/Auflieger sind wie folgt definiert:

- Klasse O: Anhänger (einschließlich Sattelanhänger);
- Klasse O1: Anhänger mit einer zulässigen Gesamtmasse bis zu 0,75 t;
- Klasse O2: Anhänger mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 0,75 t bis zu 3,5 t;
- Klasse O3: Anhänger mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 3,5 t bis zu 10 t;
- Klasse O4: Anhänger mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 10 t.

Basierend auf den Erkenntnissen aus LOT1 sollten momentan nur Anhänger/Auflieger mit einer maximalen Masse über 10 t für schwere Nutzfahrzeuge berücksichtigt werden (also nur Anhänger/Auflieger der Klasse O4).

Haupt-Fahrzeugsegmente (im ersten Schritt zu berücksichtigen)

In Anlehnung an die Fahrzeugstatistiken und basierend auf dem Ansatz einer schrittweisen Einführung eines CO₂-Deklarations-Schemas wären folgende Fahrzeugsegmente mit dem höchsten CO₂-Ausstoß in einem ersten Schritt zu berücksichtigen:

- 4x2-Zugmaschine mit einem dreiachsigen Auflieger in einer Gesamtfahrzeugkombination mit mehr als 16 t zGG,
- 4x2-LKW mit einem zGG zwischen 7,5 t und 10 t (Solo) und in Kombination mit einem Anhänger (zwei oder drei Achsen) zwischen 12 t und 16 t,

- 6x2-LKW mit einem zGG über 16 t ggf. mit einem Anhänger (noch festzulegen),
- Stadtbusse (Solo-/Gelenk-).

4.2.4 Kriterien zur Deklaration eines CO₂-Wertes für Fahrzeugfamilien

Basierend auf Abschnitt 2.2, dem Motorfamilienkonzept gemäß 2005/55/EG bzw. VO (EG) 64/2012 und den Fahrzeugkategorien gemäß 2007/48/EG kann ein Familienkonzept in einem späteren Schritt entwickelt werden. Die Hauptkriterien zur Definition einer CO₂-Fahrzeugfamilie sind im Folgenden beschrieben. Die grundlegende Idee einer solchen Familie ist die Zusammenfassung ähnlicher Fahrzeugkonfigurationen innerhalb eines deklarierten CO₂-Wertes. Mit bestimmten Parametern, die keinen oder nur einen geringen Einfluss auf den CO₂-Wert (Bereich ist noch zu definieren) haben, können Fahrzeugvariationen ohne Prüfung/Simulation berücksichtigt werden. Es wird aber ausdrücklich betont, dass solche Familienkriterien nicht allein darüber entscheiden können, was getestet wird und was nicht. Viele Aspekte können nur durch Simulation oder Prüfung in die Familie einbezogen werden.

Momentan werden folgende Auslegungsaspekte zur Einführung einer Fahrzeugfamilie berücksichtigt (Tabelle 32):

Tabelle 32: Vorschlag von Auslegungsparametern eines HDV-Familienkonzeptes

Engine family	Vehicle classes according to chapter 2.2	Rigid Vehicle and Drawbar Trailer	Semitrailer
To be further considered for family concepts			
To be analyzed from pilot phase data which additional criterions need to be considered compared to emission certification	Vehicle wheel base: range and dimensions to be defined	Bodywork: Box Bulk / Tank Container / Swap Body Tipper Other	
	Vehicle track width: range and dimensions to be defined	Drawbar trailer axle configuration Two axles (full) Three axles (full) Centre axle (number of axles)	Axle configuration: Two axles Three axles Other
	Truck cabin dimensions (dimensions to be defined): Small cab Standard cab Large cab Extra large cab		

4.2.4.1 Beispiel einer möglichen Fahrzeugfamilie

Eine Fahrzeugfamilie nach der Definition dieses Ansatzes muss immer die gesamte Fahrzeugkonfiguration beinhalten. Das bedeutet, dass der CO₂-Wert einer Familienkonfiguration auf den beabsichtigten Einsatz eines Fahrzeuges zu beziehen ist. Basierend darauf deutet der CO₂-Wert für einen Sattelzug immer auf diese Kombination hin und nicht auf das einzelne Fahrzeug (z. B. die Zugmaschine), weil eine Zugmaschine nicht dazu ausgelegt ist, alleine genutzt zu werden (evtl. nur um von Einsatzort zu Einsatzort zu gelangen, aber das ohne Zuladung).

Für Lastwagen sind diese Umstände anders zu betrachten. Lastwagen sind auch für den Einsatz ohne Anhänger ausgelegt (z. B. Müllsammelfahrzeuge) und sind nicht zwingend für eine Prüfung oder Simulation in einer Fahrzeug-Anhänger-Kombination vorgesehen. Dies gilt ebenso für das Bussegment, auch wenn einige Busse zur Erweiterung der Gepäckladekapazität mit Anhängern betrieben werden.

Lastwagen, welche einen Anhänger ziehen können, können sowohl mit als auch ohne einen Anhänger hinsichtlich ihres CO₂-Ausstoßes klassifiziert werden. So werden beide möglichen Nutzungsmöglichkeiten berücksichtigt..

Die Bestimmung eines zu deklarierenden CO₂-Wertes soll in einem ersten Ansatz mit standardisierten Aufbauten bzw. Anhängern durchgeführt werden. Es wird vorgeschlagen, dazu geschlossene Kofferaufbauten heranzuziehen. Die Dimensionen und Designkriterien solcher Aufbauten muss separat festgelegt werden.

Für Lastwagen ist ebenfalls die Berücksichtigung einer sogenannten Mehrstufentypgenehmigung zu berücksichtigen. Dies kann zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen. Solche Fahrzeuge werden vom Fahrzeughersteller ohne Aufbau (als reines Fahrgestell mit Fahrerkabine) an Aufbauhersteller ausgeliefert, die dann im Weiteren für spezielle Aufbauten verantwortlich sind. Der Aufbauhersteller beantragt eine zweite Typgenehmigung (mehrstufig) für seinen Aufbau, die auf der Fahrzeuggenehmigung des Herstellers fußt. Dieses Vorgehen ist in der Richtlinie 2007/46/EG geregelt, reflektiert allerdings den CO₂-Aspekt nicht optimal. Weil der zusätzliche Aufbau hinsichtlich weiterer Prüfungen nur den Luftwiderstand und das Gewicht beeinflusst, stellt sich der allgemeine Prozess wie folgt dar:

Der anfängliche CO₂-Wert eines Fahrzeuges/einer Fahrzeugkonfiguration wird mit standardisiertem Aufbau in einem modellbasierten Ansatz bestimmt. Für diese anfängliche Bestimmung ist es erforderlich, das Model mit Messdaten aus folgenden Versuchen zu versehen:

- Motorversuch (Leistungskennlinie, Verbrauchskennfeld)

-
- Komponentenversuch (Getriebewirkungsgrade etc.)
 - Fahrversuch (Fahrwiderstände etc.)

Damit wird ein CO₂-Wert für ein bestimmtes Fahrzeug/eine bestimmte Fahrzeugkonfiguration basierend auf den Familienbildungsbestimmungen deklariert. Falls von der Standardkonfiguration abweichende Konfigurationen in die Familie integriert werden sollen oder eine zusätzliche Familie aus den Basisdaten mit einem anderen Aufbau abgeleitet werden soll, muss nur noch der Luftwiderstand dieses zusätzlichen Aufbaus anhand der vorgeschlagenen Prüfmethode (direkte Drehmomentmessung) bestimmt werden. Dieser zusätzliche Luftwiderstandswert ($C_d \cdot A_{cr}$) kann dann an Stelle des anfänglichen ($C_d \cdot A_{cr}$) des Standardaufbaus/-anhängers in das Modell übernommen werden. Zur Berücksichtigung aller anderen notwendigen Parameter – wie z. B. des Gewichts, welches einfach durch Wägung ermittelt werden kann – können diese zusätzlichen Aufbauten/Anhänger einer bestehenden Familie zugefügt werden oder zur Generierung einer weiteren neuen Familie herangezogen werden. Es ist weiter zu prüfen, ob die Möglichkeit besteht, geringe Abweichungen zwischen zwei oder mehr Konfigurationen mittels Strömungssimulation (CFD) zu berücksichtigen.

Um für alle Beteiligten (Fahrzeughersteller, Aufbauhersteller, Anhängerhersteller) den größten Nutzen zu bieten, kann die Prozedur derart beschrieben werden, dass der Initiator des Anfangs-CO₂-Wertes nicht in Erweiterungen eingebunden werden muss, solange zum anfänglichen Fahrzeug alle Daten verfügbar sind. Die Verfügbarkeit dieser Daten kann künftig durch regulatorische Prozesse eingefordert werden (z. B. web-basierte Datenbank). Natürlich muss diese Idee mit Genehmigungsbehörden diskutiert und angestimmt werden, und zwar unter der Annahme, dass der Initiator des Anfangs-CO₂-Wertes, der in der Regel der LKW-Hersteller sein wird, alle notwendigen Daten in einer offenen oder verschlüsselten Form bereitstellt.

Wie schon anfangs erwähnt, ist der erste Vorschlag, standardisierte Anhänger/Auflieger und Aufbauten zu verwenden. Abbildung 21 zeigt das vereinfachte Prinzip des Deklarationsprozesses basierend auf dem Ansatz für einen LKW-Hersteller. Abbildung 22 zeigt den Prozess, wie er für die Anfangs-CO₂-Deklaration oder Familienerweiterung eines LKW- oder Anhänger-/Aufliegerherstellers möglich sein kann (es wird angenommen, dass alle notwendigen Daten verfügbar sind).

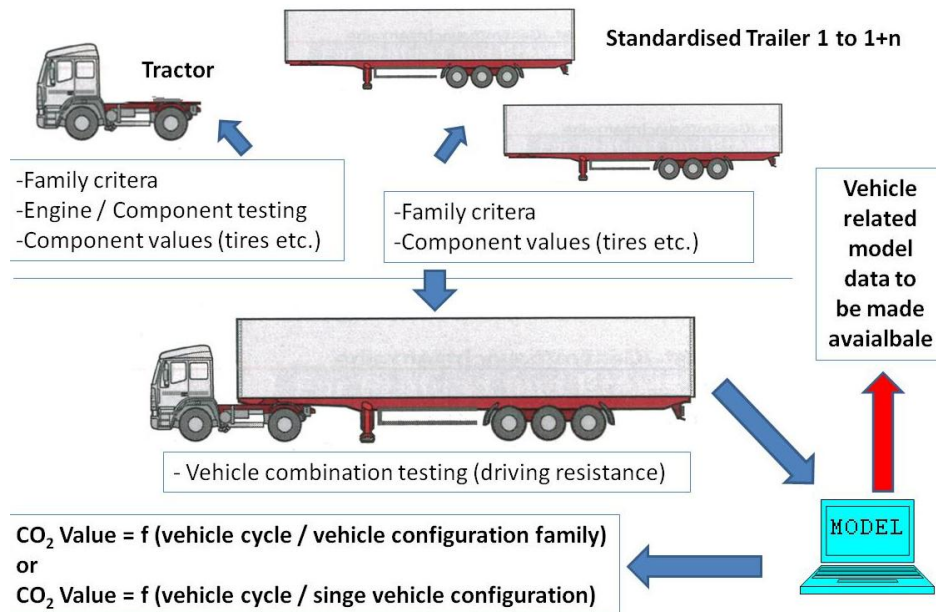


Abbildung 22: Vereinfachtes Prinzip zur Deklaration eines Anfangs-CO₂-Wertes (Standardaufbau)

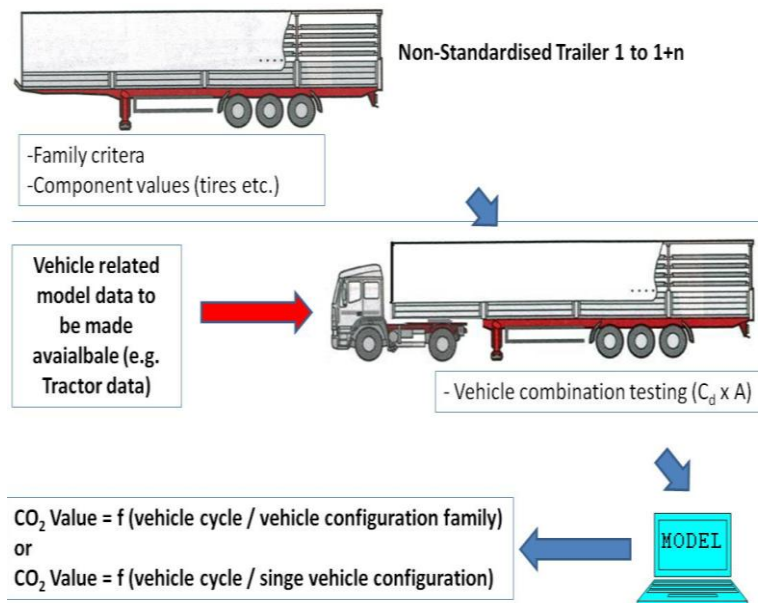


Abbildung 23: Vereinfachtes Prinzip der CO₂-Deklaration, Familien-Erweiterung (nicht Standardaufbau)

Entsprechend Tabelle 1 existieren neun Normaufbauten, drei Auflieger und zwei Anhänger, die zur Definition von Fahrzeugfamilien mit einem zGG <7,5 t zu berücksichtigen sind. Für diese Fahrzeuge erscheint es ausreichend, den Standardachsabstand für die Messungen zu definieren. Es ist Gegenstand weiterer Untersuchungen, ob mehr als ein (Standard-) Achsabstand berücksichtigt werden muss.

Die Definition von Standard-Aufbauten, -Aufliegern und -Anhängern hinsichtlich Dimensionen und Massen ist noch nicht abgeschlossen. Das Leergewicht soll auf den Nennwerten des Herstellers (inkl. Wägung der realen unbeladenen Masse) basieren. Das maximale Gewicht soll zu Vergleichszwecken auf die angewandten gesetzlichen Bestimmungen bezogen werden.

4.2.4.2 Künftige erforderliche Aktivitäten zur Etablierung eines Genehmigungsprozesses für HDV-CO₂-Familien

Zur Schaffung eines robusten zukünftigen Genehmigungsprozesses, ist es erforderlich, die Annahmen und Vorschläge aus den obigen Abschnitten regulatorisch zu definieren. Es ist von großer Wichtigkeit, Familienkriterien zu definieren, die dazu geeignet sind, die enorme Vielfalt des europäischen Nutzfahrzeugmarktes abzubilden. Dazu ist die Anpassung von bereits bestehenden regulatorischen Prozessen, die den HDV-Markt betreffen, ein Ziel künftiger Arbeiten. Die hierzu als wichtig erachteten europäischen Richtlinien sind:

- RICHTLINIE 2007/46/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 5. September 2007 zur Schaffung eines Rahmens für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge (Rahmenrichtlinie);
- VERORDNUNG (EG) Nr. 715/2007 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 20. Juni 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;
- VERORDNUNG (EU) Nr. 678/2011 DER KOMMISSION vom 14. Juli 2011 zur Ersetzung des Anhangs II und zur Änderung der Anhänge IV, IX und XI der Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Rahmens für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge (Rahmenrichtlinie);
- RICHTLINIE 2001/85/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 20. November 2001 über besondere Vorschriften für Fahrzeuge zur Personenbeförderung mit mehr als acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz und zur Änderung der Richtlinien 70/156/EWG und 97/27/EG;
- VERORDNUNG (EU) Nr. 582/2011 DER KOMMISSION vom 25. Mai 2011 zur Durchführung und Änderung der Verordnung (EG) Nr. 595/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen (Euro VI) und zur Änderung der Anhänge I und III der Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates.

Im Hinblick auf diese Richtlinien und Verordnungen scheint es erforderlich, die gegebenen Definitionen der Fahrzeugmassen zu überarbeiten, so dass zwischen leichten und schweren Nutzfahrzeugen belastbar differenziert werden kann und so eine solide legislative Basis geschaffen wird.

Die vorgeschlagene Fahrzeugsegmentierung soll zur Definition von Familienkriterien herangezogen werden können, so dass der gesamte Nutzfahrzeugmarkt (LKW-Hersteller, Fahrzeugbauer, Aufbauhersteller) diese anwenden kann.

Der CO₂-Deklarationsprozess muss am bereits bestehenden Prozess für die Gesamtfahrzeuggenehmigung ausgerichtet werden. Dies erleichtert die spätere Inkraftsetzung durch Nutzung bereits existierender Vorgaben und Methoden von Genehmigungsprozessen.

4.2.5 Achskonfigurationen und Aufbauten von Lastwagen

In Tabelle 33 ist der Marktanteil von Aufbauarten je Fahrzeugklasse dargestellt. Achs-/Aufbaukombinationen mit einem Anteil von mehr als 3,5 % sind grün hervorgehoben. In diesen Kästen ist der jährliche CO₂-Ausstoß in Klammern dargestellt. Dies basiert auf den Jahresfahrleistungen aus Tabelle 24 und dem CO₂-Emissionsfaktor pro Fahrzeugkategorie. Es zeigt sich, dass Fahrzeuge bis 16 t einen Marktanteil nach Zulassungen von 37 % aufweisen, aber am CO₂-Ausstoß „nur“ einen Anteil von 25 % haben.

Tabelle 33: Marktanteil von Aufbauarten nach Achskonfigurationen (Lastwagen).
In Klammern Anteil am jährlichen CO₂-Ausstoß (basierend auf Marktanteilen und Daten aus Tabelle 25 & Tabelle 26, CO₂ Anteile unter 3.5 % vernachlässigt) /1b/

Truck type	Config.	GVW	Market share body type rigid truck*					
			Market share	Box***	Bulk/tank	Container/swap body	Tipper	Other
Truck 2axl	4x2	7,5 - 10	37%	19% (13%)			6% (4.5%)	12% (8%)
		10 - 12						
		12 - 16						
	4x4	18 - 19	20%	10% (13%)	0,5%	3,5% (4.5%)	2%	4.0% (5.0%)
		7,5 - 16	1,5%				0,5%	1,0%
		18 - 19	1,6%				0,6%	1,0%
Truck 3axl	6x2/2-4	24 - 26	19,4%	10% (11%)	2%	4% (4.4%)	1%	3%
	6x4	24 - 26	7,8%				3%	5,2% (7.7%)
	6x6	24 - 26	1,6%				0,6%	1,0%
Truck 4axl	8x2	30	0,5%				0,2%	0,3%
	8x4	30	10,2%				3,5% (4.0%)	6,6% (7.5%)
	8x6/8x8	30	0,7%				0,2%	0,5%
Total			100%	39%	2%	8%	18%	34%

* Derived from LOT1, table 2.22: deliveries 7 major European truck manufacturers for trucks > 7.5 tonnes GVW. Percentages rigid trucks recalculated such that total is 100%.

** Includes Hard shell box, hard shell box refrigerated and curtain sided box.

Die Gruppe 'Other' ist durch Fahrzeuge definiert, die sich keiner Gruppe zuordnen lassen. Dies sind z. B.: Fahrzeugtransporter, Müllsammelfahrzeuge, Betonmischer etc. Diese Gruppe ist insgesamt relativ groß und weist eine enorme Vielfalt an Aufbauten auf.

Der geschlossene Aufbau hat mit 39 % den größten Marktanteil aller Lastwagen. Innerhalb der geschlossenen Aufbauten ist zwischen drei Typen zu unterscheiden (Tabelle 34). Die Marktanteile stammen aus dem LOT1-Bericht.

Tabelle 34: Marktanteil geschlossener Aufbauarten für Lastwagen (Siehe 2-34 des LOT1-Berichtes: Durchschnittliche VDA-Mitgliederdaten aus 2008 und 2009)

	Market share
Box: hard shell	14%
Box: hard shell, temperature conditioned	8%
Box: with curtain side	17%
Total	39%

4.2.6 Normaufbauten und Normauflieger

Die Norm-Aufbauten und -Auflieger sind erforderlich, um Zugmaschinen und Fahrgestelle hinsichtlich ihres Luftwiderstandes vergleichbar zu machen. Prüfungen ohne Aufbau oder Auflieger sind für den realen Einsatz nicht repräsentativ und könnten die Optimierung von Nutzfahrzeugen in die falsche Richtung lenken. Falls eine Zugmaschine nicht für das Ziehen von Aufliegern aerodynamisch optimiert ist, wird das Design höchstwahrscheinlich unvorteilhaft für das reale Nutzungsszenario.

4.2.6.1 Normaufbauten für Lastwagen

Tabelle 35 gibt einen Überblick über die typischen Dimensionen von Standard-Kofferaufbauten für Lastwagen. Diese Informationen stammen hauptsächlich von den Aufbauherstellern Spier und Saxas. Die typischen Dimensionen dieser beiden Hersteller liegen grundsätzlich sehr dicht beieinander. Über den Radius von Ecken und Kanten der Aufbauten liegen folgende Informationen vor:

- Radius zur Frontseite 40 mm bis 80 mm
- Radius zur Dachbeplankung $\leq$ 40mm bis 80 mm

Tabelle 35: Typische Dimensionen (und Bereiche) von Lastwagen-Kofferaufbauten

Class	GVM	Dimensions	External [mm]	Internal [mm]
4x2	5-7t	Length	4350 - 6100	4300 - 6050
		Width	2300 - 2550	2260 - 2480
		Height	2430 - 2640	2200 - 2370
4x2	7,5 - 12t	Length	6100 - 7250	6050 - 7200
		Width	2550	2480 - 2490
		Height	2660 - 2770	2370 - 2480
4x2	15/16t	Length	7250 - 7350	7200 - 7300
		Width	2550	2480
		Height	2660 - 2770	2370 - 2480
4x2	>16	Length	7350 - 8600	7300 - 8550
		Width	2550	2480 - 2500
		Height	2800 - 3000	2480 - 2700
6x2/2-4	all	Length	7350 - 9550	7300 - 9500
		Width	1. 2550	2. 2480
		Height	2800 - 3150	2700 - 2900

Norm-Kofferaufbau für einen 12-t-Lastwagen

An dieser Stelle wird der Norm-Kofferaufbau für einen Lastwagen diskutiert und beispielhaft dargestellt.

Die typischen Abmessungen eines solchen Kofferaufbaus für einen 12-t-Lastwagen sind in Tabelle 36 aufgeführt und liegen in einem Bereich von 6 m bis 7,2 m Länge und damit bis zu 7 m Innenlänge. Das Gewicht beträgt ca. 1200 kg bis 1300 kg zzgl. 320 kg für eine Ladebordwand.

Zur Definition eines Referenz-Lastwagens werden hier zwei Optionen diskutiert:

- 1) die Festlegung eines Norm-Koffers anhand der Außenmaße,
- 2) die Festlegung anhand der Innenmaße des Laderaumes.

Option 1) wird hier als Standard zur Definition von Kofferaufbauten vorgeschlagen. So sind Daten direkt zwischen einzelnen Herstellern und LKW-Typen (innerhalb derselben Klasse) vergleichbar. Bei innovativen Außendesigns wären die Dimensionen so zu definieren, dass ein Mindestinnenmaß geboten werden muss.

Ein Norm-Kofferaufbau ist in Tabelle 37 spezifiziert. Die Spezifikationen sind so gewählt, dass typische Kofferaufbauten mit einem hohen Verkaufsvolumen diese Anforderungen erfüllen.

Tabelle 36: Spezifikationen für den Norm-Kofferaufbau eines 12-t-Lastwagens

		External	Internal
Length	m	7.0 – 7.2	6.9 – 7.1
Width	m	2.55	≥2.48
Height	m	≥2.66	≥2.37
Corner radius with front panel	mm	80	-
Corner radius with roof panel	mm	40	-
Accessories		Tail lift 1500 kg	
Norm mass for box	kg	1600 kg	
Total mass for simulation/certification		Base truck mass + norm mass for box + norm cargo	

Andere Aufbaugruppen für Lastwagen.

Im Vergleich zum Norm-Kofferaufbau sollten folgende Aufbautenarten berücksichtigt werden:

- 1) unterschiedliche Koffertypen: Kühltransporter, Pritschen mit Planen oder Gardinen (Curtainsider) bzw. Längenversionen;
- 2) unterschiedliche Aufbautypen: Tanker, Container, Wechselbrücke, Kipper etc.

Für die erste Gruppe ist wahrscheinlich ein Korrekturfaktor für $(C_d \cdot A_{cr})$ darstellbar, der die Variationen (fester Koffer/Plane) berücksichtigt. Der Kühlaufbau ist 5 cm breiter und hat möglicherweise andere Kantenradien. Die Pritsche mit seitlichen Planen (Gardinen) hat etwa identische Dimensionen inklusive Gurten und Verschlüssen, zum Spannen der Plane.

Hinsichtlich der Länge des Aufbaus ist unsicher, ob ein Korrekturfaktor anwendbar ist, weil der Luftwiderstand im Wesentlichen durch den unteren Teil des Lastwagens verursacht wird. Dieser ist dem Basisfahrzeug zuzuordnen und nicht dem Aufbau, und zwar in Abhängigkeit des Radstandes und möglichen Seitenplanken (Unterfahrschutz). Falls es möglich ist, einen Korrekturfaktor zu generieren, ist dabei besonders auf die Familiendefinitionen zu achten.

Die zweite Gruppe ist durch weitere Variationen der Aufbautypen charakterisiert (siehe hierzu Klasse „Others“ in Abschnitt 4.2.5). Es ist wahrscheinlich möglich, einen normierten C_d -Wert oder $(C_d \cdot A_{cr})$ -Wert für diese Aufbauten zu generieren. Die Masse kann als tatsächliche Masse in die Simulation eingehen. Falls der Aufbauhersteller sein Produkt besser einschätzt, kann der reale $(C_d \cdot A_{cr})$ -Wert per Messung ermittelt werden.

Auf gleiche Weise können alternative Aufbauformen (bessere Aerodynamik und leichter bei Beibehaltung der Innenmaße) behandelt werden. Falls die Innenmaße vom Normaufbau abweichen, wäre dies mit dem deklarierten CO_2 -Wert zu kommunizieren.

4.2.6.2 Normauflieger

Der europäische Markt für Auflieger ist von wenigen Herstellern geprägt. Dazu gibt Tabelle 37 einen Überblick über den Anteil der verschiedenen Aufbauarten. Entsprechend dem LOT1-Bericht sind folgenden Anbieter die Top-5-Aufliegerhersteller in Europa (Marktanteile 2007/2008):

- | | |
|---------------------------------------|--------|
| 1) Schmitz Cargobull (Deutschland) | ~26 % |
| 2) Krone (Deutschland): | ~14 % |
| 3) Kögel Fahrzeugwerke (Deutschland): | ~8 % |
| 4) Schwarzmüller (Österreich): | ~4 % |
| 5) Tirsan (Türkei): | ~1.5 % |

Tabelle 37: Markt der Aufbautypen von Aufliegern (siehe LOT1, Abbildung 2-35 und 2-37)

		Market share	
	Box: hard shell	10%	
	Box: hard shell, temperature conditioned	14%	
	Box: with curtain side	36%	
Total Box			60%
Bulk			7%
Container			8%
Kipper			12%
Other			13%
Total			100%

Der geschlossene Aufbau weist mit 60 % den höchsten Marktanteil auf. Innerhalb dieser Gruppe hat der Auflieger mit seitlichen Gardinen den höchsten Anteil. Dennoch ist für den Normauflieger der feste Kofferaufbau die erste Wahl, weil dieser bei Fahrwiderstandsmessungen eine bessere Reproduzierbarkeit aufweist. Bei Gardinenaufliegern hängt diese von der Spannung der Planen und anderen Details ab.

Die folgenden Variationen geschlossener Aufbauten sind zu unterscheiden:

-
- Unterschiedliche Aufbaugröße: Die Standardgröße ist durch gesetzliche Vorgaben begrenzt; kürzere sog. City-Auflieger und Variationen der Boden- und Dachhöhe (max. 4 m) sind möglich.
 - Die Anzahl der Achsen und auch die Position variieren, ferner sind Lift- oder Lenkachsen möglich.
 - Verschiedene Zubehöre können am Auflieger installiert sein: Palettenbox, Reserverad, Schmutzfänger, Ladebordwand

Um einen Normauflieger zu definieren, müssen alle Aspekte, die einen Einfluss auf Fahrwiderstände haben, präzise beschrieben werden. Für die einzelnen Widerstandskomponenten sind das:

- Luftwiderstand: Kantenradius des Koffers, Position und Größe der Zubehöranbauten, Anzahl und Position der Achsen, Reifendimensionen und das Vorhandensein von Verkleidungen und Schmutzfängern;
- Rollwiderstand: Reifentyp, Reifenfülldruck, Masse des Aufliegers (nicht so von Bedeutung, wenn Rollwiderstandskoeffizient der EU-Reifennorm entnommen werden);
- Art der Bremsen und damit mögliche Unterschiede im „Frei-Lauf-Verhalten“;
- Radlager werden mit einem geringen Einfluss auf den Rollwiderstand eingestuft.

Der Normauflieger wird nach drei Kriterien ausgewählt: 1) Marktanteil/übliche Konfiguration, 2) Reproduzierbarkeit der Fahrwiderstände und 3) „Incentivierung“ optimierter Auflieger. Die Auswahl der Konfiguration und des installierten Zubehörs erfolgt nach weiteren Beratungen und derzeitigen Beobachtungen von Fernverkehrs-LKW. Weiter sind die in Europa noch nicht harmonisierten gesetzlichen Anforderungen für Auflieger/Anhänger zu berücksichtigen.

Aus den gegebenen Kriterien ergibt sich eine wie folgt ausgerüstete Aufliegerkonfiguration:

- Drei Achsen, enger Radstand,
- Scheibenbremsen (derzeit ca. 50 % Marktanteil, ansteigend),
- Schmutzfänger hinter allen Rädern,
- Unterfahrschutzplanken.

Zubehöre werden grundsätzlich nicht installiert. Dies sind beispielsweise:

- Ladebordwand, Palettenbox, Reserverad.

Diese Analyse führt zu einem Normauflieger wie in Tabelle 38 beschrieben, der den Spezifikationen des FAT /7/ weitestgehend entspricht. Die Maße werden in Abbildung 23 dargestellt.

Tabelle 38: Empfohlene Spezifikationen für einen Normauflieger

		External	Internal
Dimensions	Unit		
Length, L (external)	mm	13600 - 13700	13600
Width, B (external)	mm	2550	≥2470
Height, A (external)	mm	2860	≥2700
Full height unloaded, H	mm	4000	-
Trailer coupling height (5th wheel) unloaded (approx.), S	mm	1140	-
Wheelbase, R	mm	7600 - 7700	-
Axle distance, W	mm	1310	-
Front overhang, F	mm	1600	-
Corner with front panel 1	Broken with strip of 140 mm wide under 45° angle		
Corner with roof panel 2	Broken with radius of 25 mm		
Tire size	385/65 R 22,5", fixed brand / type		
Accessories	Mud flaps behind each wheel, under-ride protection, disk brakes, no spare wheel(s)		
Total mass for norm semi-trailer + cargo	kg	= 7000 + norm cargo mass	
Allowable Gross Mass	Kg	39000	
Total mass for simulation/certification	kg	Base truck mass + norm mass for semi-trailer + cargo	

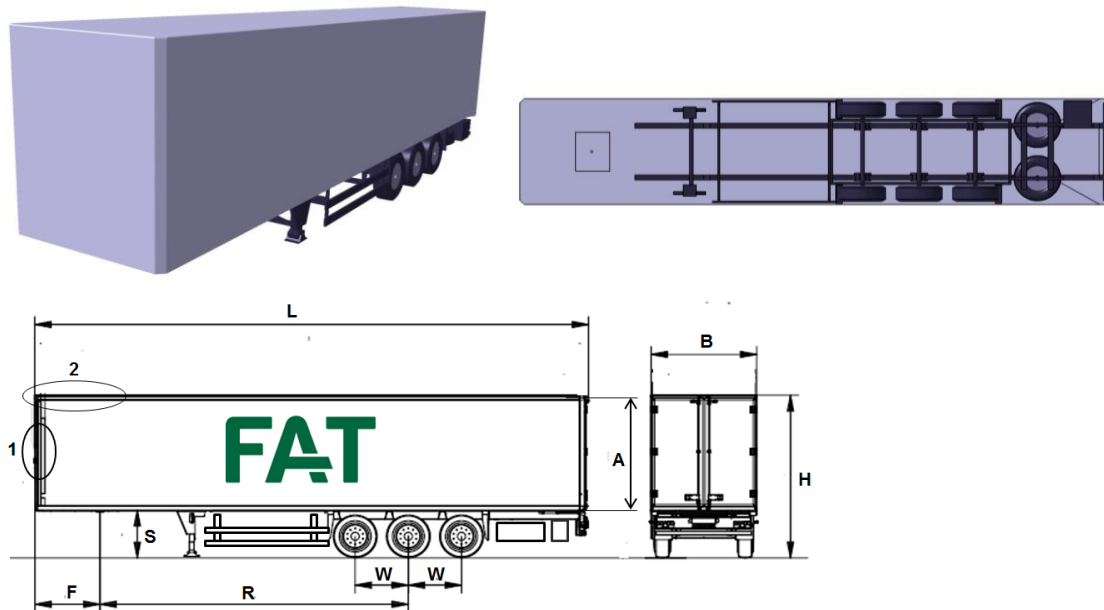


Abbildung 24: Maße des Aufliegers (schematisch)

4.2.6.3 Andere Aufbaugruppen für Auflieger

Zusätzlich zum Normauflieger sind analog zum Lastwagen (Abschnitt 4.2.6.1) Variationen der Aufbautypen möglich:

- 1) unterschiedliche Koffertypen: Kühltransporter, Pritschen mit Planen oder sog. Gardinen, Längenvariationen;
- 2) unterschiedliche Aufbautypen: Tanker, Container, Wechselbrücke, Kipper etc.

Zur Förderung von Innovationen im Bau von Aufliegern sollten die Hersteller die Möglichkeit haben geringere Fahrwiderstände als den Standardwert ($C_d \cdot A_{cr}$) durch Messungen nachweisen können.

- Geringere Masse oder geringere Rollwiderstände können direkt an die Simulation übergeben werden.
- Geringerer Luftwiderstand ist durch konkrete Messungen nachzuweisen.

4.3 Verifizierung der vorgeschlagenen Prüfprozedur am Beispiel zweier Fahrzeuge

Dieser Abschnitt beschreibt Fahrzeugversuche, die innerhalb der Studie im Rahmen eines Ringversuches durchgeführt wurden. Dabei wird auf zwei konkrete Fahrzeuge eingegangen, deren Versuchsprogramm auf Basis von Ergebnissen erster Vorversuche (UBA und LOT2) aufgestellt wurde. Details dieser Vorversuche wurden im Rahmen von Zwischenberichten und Projektbesprechungen dem Forschungsgeber bereits präsentiert. Dieser Abschnitt bietet ebenfalls den Vergleich zwischen Simulationsergebnissen und realen Fahrversuchen hinsichtlich des Kraftstoffverbrauches. Zu diesem Zweck wurde das Model PHEM zu Fahrzeuglängsdynamik und Emissionen herangezogen, welches in Abschnitt 2.1 beschrieben ist.

Mit den Mitteln des Umweltbundesamtes (UBA) und der Europäischen Kommission (LOT2) wurden diverse Messreihen an sechs Fahrzeugen durchgeführt (Tabelle 39).

Zusammenhängende Datensätze für die Haupteingabewerte des Simulationsmodelles – wie das Motorverbrauchskennfeld, detaillierte Getriebedaten sowie Schaltstrategien und Leistungsbedarfe von Nebenaggregaten – waren für die Fahrzeuge 4 (Fernverkehrssattelzug) und 6 (Verteiler-LKW) weitestgehend verfügbar. Keiner der Datensätze ist zu der in Abschnitt 2 vorgeschlagenen Zertifizierungsmethode vollends kompatibel, da einige Komponententests erst zum Projektende abschließend definiert wurden. Für das Fahrzeug 5 (18-t-Stadtbus) sind die meisten Daten, mit Ausnahme von Daten über den hydrodynamischen Wandler des Automatikgetriebes und seiner Verlustleistung, verfügbar. Es ist jedoch im Moment noch nicht festgelegt, wie die Regelstrategie von automatischen Getrieben im HDV-CO₂-Simulator berücksichtigt werden soll. Da jedoch alle gemessenen Daten zu diesem Bus vorliegen, können diese zur Validierung des Ansatzes herangezogen werden, sobald eine Simulationsstruktur für Automatikgetriebe festgelegt ist.

Tabelle 39: Übersicht der gemessenen LKW und Busse und durchgeführter Messungen

	HDV1	HDV2	HDV3	HDV4	HDV5	HDV6
Vehicle type	MB Actros, 2010, 235 kW, 18t, 4x2, tarp box; + tarp box trailer 18t tested solo & artic.	MB Atego, 2010, 210 kW, 12t, 4x2, tarp box; + tarp box trailer 10.5t tested solo & artic.	MAN TGA, 2008, 324 kW, 18 t, 4x2, tarp box	MB Actros, 2010, 350 kW, 40 t, 4x2, tarp box semi-trailer	Volvo 7700, 2007, 193 kW, 18t, 4x2, city bus	MB Atego, 2011, 175 kW, 12 t, 4x2, hard box
Constant speed test, FC measurement			TUG	AVL, TUG	TUG	TUG, TÜV
Constant speed test, PEMS measurement			TUG	AVL, TÜV		
Constant speed test, torque measurement						TUG, TÜV
Coast down test	TÜV	TÜV	TUG	AVL, TUG, TÜV, VTI		TUG, TÜV
Mobile air flow measurement						TUG
Stationary wind measurement	TÜV	TÜV		TUG, VTI	TUG	TUG, TÜV
Altitude correction			TUG	TUG, VTI	TUG	TUG
Onroad driving cycle, FC				AVL, TUG	TUG	TUG, TÜV
Onroad driving cycle, PEMS			TUG	AVL		
Chassis dynamometer tests			TUG	TUG, VTI	TUG	TUG, VTI
Auxiliary unit measurement				AVL, TUG, TNO, TÜV	TUG	TUG, TÜV, VTI
Powertrain testbed				TNO		TNO (Dec 2011)
FC simulation of whole HDV				TUG	TUG	TUG
CFD simulation						TUG
EU Lot2 funding	other funding resources					

4.3.1 Sattelzug für den Fernverkehr (40 t)

Ein Sattelzug mit einem zGG von 40 t („HDV4“) wurde hinsichtlich der vorgehenden Prozeduren vermessen. Die Zugmaschine war ein Mercedes Actros 1848 (bereitgestellt durch die Daimler AG, Stuttgart) mit der Emissionseinstufung Euro V und einem automatisiertem 12-Gang-Schaltgetriebe (Abbildung 24). Der Auflieger war ein Standard-Gardinen-Auflieger aus dem Hause Kögel. Eine solche Nutzfahrzeug-Kombination wird üblicherweise in Fernverkehr eingesetzt und fällt in die Nutzfahrzeugkategorie mit dem höchsten Jahresfahrleistungsanteil.



Abbildung 25: Sattelzug mit einem zGG von 40 t („HDV4“)

Da das „HDV4“ in der Anfangsphase des Projektes vermessen wurde, reflektieren einige der durchgeführten Tests die letztendlich in Abschnitt 2 vorgeschlagen Prüfprozeduren nur teilweise.

4.3.1.1 Komponententest

Die durchgeführten Komponententests beinhalteten hauptsächlich Messungen auf einem Nutzfahrzeugprüfstand zur Ermittlung motorspezifischer Daten und Fahrversuche auf unterschiedlichen Teststrecken. Zusätzliche Messungen auf dem Nutzfahrzeugprüfstand und dem Rollenprüfstand dienten der Ermittlung des Leistungsbedarfes von Nebenaggregaten. Diese Tests wurden zum besseren Verständnis des Einflusses einzelner Komponenten als Input für die Simulation herangezogen. Die Testprozeduren sind hier nicht im Detail beschrieben, da sie in der vorgeschlagenen CO₂-Zertifizierung keine spezielle Anwendung finden.

4.3.1.1.1 Kraftstoffverbrauchskennfeld

Das „HDV4“ wurde hinsichtlich der motorspezifischen Größen aus dem Triebstrangprüfstand bei TNO in den Niederlanden vermessen. Auf diesem Prüfstand werden die Radnaben direkt

mit der Belastungseinrichtung des Prüfstandes verbunden. So beeinflussen die im Vergleich zum Rollenprüfstand komplexen Verluste zwischen Rolle und Rad das Ergebnis nicht. Weiter entfällt im Vergleich zum Motorenprüfstand das Erfordernis des Motorausbaus, was bei den Versuchsfahrzeugen eine wichtige Rahmenbedingung war. Als Nachteil zur Messung auf dem Motorenprüfstand kann die nicht exakt am Schwungrad zu bestimmende Motorleistung angesehen werden, da zum einem der gesamte Triebstrang in der Messkette enthalten ist und zum andern alle Nebenaggregate des Motors während der Messung Leistung aufnehmen, die nicht im Detail bekannt ist. Abbildung 25 zeigt den Betrieb von „HDV4“ auf dem TNO-Triebstrangprüfstand.



Abbildung 26: HDV4 auf dem TNO-Triebstrangprüfstand

Folgende Messungen wurden auf dem HDV-Triebstrangprüfstand durchgeführt:

- ESC, ETC;
- WHSC, WHTC kalt/warm;
- zusätzliches Verbrauchskennfeld (31 Punkte);
- vorgeschlagener CO₂-Zyklus;
- Bestimmung der Leistungsaufnahme des Motorlüfters.

Basierend auf allen Testergebnissen wurde ein Verbrauchskennfeld mit 85 Punkten berechnet. Für die WHTC-Ergebnisse wurde ein „WHTC-Korrekturfaktor“ (Abschnitt 2.4.2.2) in Höhe von 1,024 ermittelt (Abbildung 26). Das Verbrauchskennfeld wurde vor Eingabe in den Simulator entsprechend korrigiert.

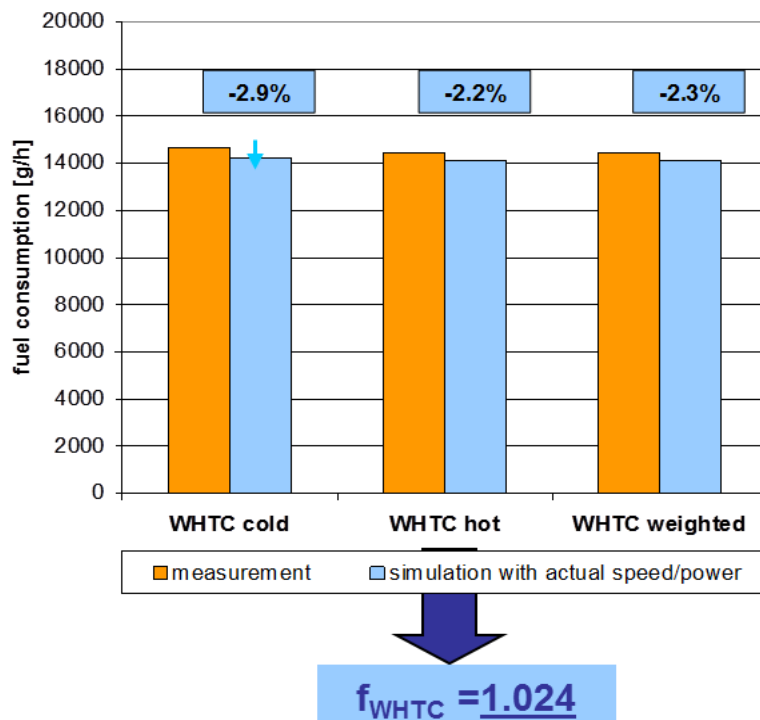


Abbildung 27: Bestimmung des WHTC-Korrekturfaktors für Fahrzeug 4

4.3.1.1.2 Fahrwiderstände

Zur Bestimmung der Fahrwiderstände wurden mit Fahrzeug 4 von vier der beteiligten Labore des Konsortiums Ausrollversuche durchgeführt. Konstantfahrten wurden von drei Laboren durchgeführt. Bei allen Laboren wurde das Fahrzeug mit halber Zuladung (28 t Gesamtfahrzeugmasse) getestet. Die Zuladung wurde mit gefüllten Wassertanks realisiert. In einem der Labore wurden auch Versuche mit maximaler Zuladung und vertrimmter Spoilereinstellung durchgeführt. Die verwendeten Reifen auf der Zugmaschine und dem Auflieger waren neu und wurden vor Beginn der Messungen über 5000 km eingefahren.

Ergebnisse der Ausrollversuche

Abbildung 27 gibt einen grafischen Vergleich der Ausrollkurven, die mit dem Fahrzeug 4 bei halber Zuladung ermittelt wurden. Die ermittelten Koeffizienten für den Roll- und Luftwiderstand sind in Tabelle 40 dargestellt. Alle Messungen sind nach der gleichen Methode ausgewertet (siehe LOT2, 3.5.1.6) und auf Norm-Umgebungsbedingungen (20 °C, 1000 mbar) bezogen. Zur Auswertung haben nicht für jede Messung detaillierte Daten zum Höhenprofil der Strecke oder zu den atmosphärischen Bedingungen vorgelegen.

Im direkten Vergleich decken sich die aus den Tests ermittelten Ergebnisse der TUG und VTT recht gut. Für diese beiden Tests hat zur Auswertung ein exaktes Höhenprofil der Teststrecke

vorgelegen. Der von VTT ermittelte C_d -Wert ist um 5 % höher als das Ergebnis der TUG. Ursache können die sehr böigen Windverhältnisse während der Durchführung der Test von VTT sein. Deutlich abweichende Fahrwiderstände zeigten die Versuchsergebnisse des TÜV NORD und der AVL, zu deren Teststrecken keine exakten Höhenprofile vorliegen. Untersuchungen nach dem ersten Vergleich der Ergebnisse zeigen, dass die Unterschiede im Wesentlichen auf kleine Unebenheiten der Teststrecke (TÜV NORD) oder das für die Strecke angegebene Höhenprofil (AVL) zurückzuführen sind. Für den letzten Datensatz bedeutet das, dass keine plausible Fahrwiderstandskurve auf Basis eines konstanten Wertes für den Roll- und eines quadratischen Terms für den Luftwiderstand ermittelt werden kann.

Konsequenz dieser Ergebnisse ist die Forderung nach präzisen Höhenprofilen der Teststrecke und der Anwendung eines On-Board-Anemometers. Diese optimierte Methode wurde am HDV6 mit einer guten Reproduzierbarkeit der Ausrollversuche erprobt (Abschnitt 4.3.21.1).

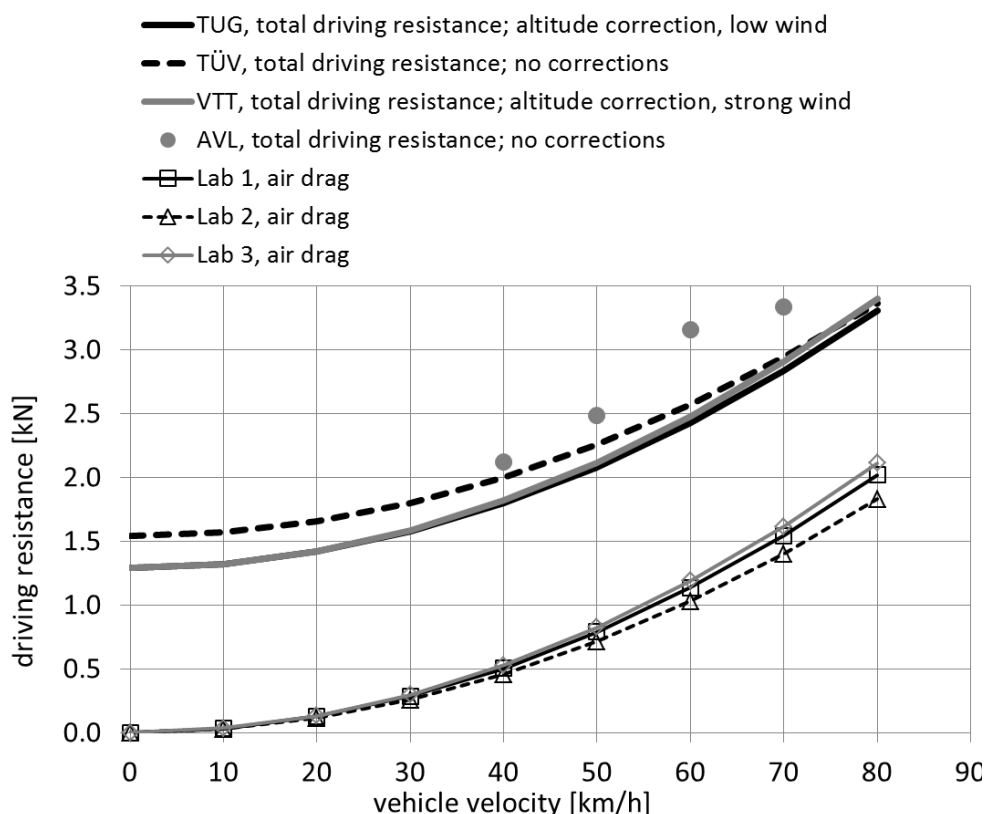


Abbildung 28: Vergleich der Ausrollergebnisse Fahrzeug 5 (28 t Gesamtmasse)

Tabelle 40: Vergleich der Ausrollergebnisse Fahrzeug 5 (28 t Gesamtmasse)

	truck average RRC (ref. cond.) [-]	C_d [-]
TUG	0.00470	0.723
TÜV	0.00560	0.656
<i>relative deviation to TUG</i>	19%	-9%
VTT	0.00469	0.757
<i>relative deviation to TUG</i>	-0.1%	5%

Als Eingabewerte zur Parametrierung des Rollenprüfstandsversuchs wurden die Ergebnisse RRC und C_d (von TUG und VTT) herangezogen.

Ergebnisse der Konstantfahrten (konstante Geschwindigkeit)

In der Projektphase, als die Tests an HDV4 durchgeführt wurden, war der Ansatz der Konstantfahrten noch recht neu. Die eigentliche Idee bestand darin, mit diesen Tests nicht nur die Fahrwiderstände, sondern auch die gesamten Fahrzeugwiderstände inkl. Triebstrangverluste und Leistungsaufnahme der Nebenaggregate zu bestimmen. Das Konzept der Konstantfahrten dient primär der Messung des Kraftstoffverbrauches. Mit Bezug auf das Verbrauchskennfeld und die gemessene Motordrehzahl kann so auf die Motorleistung geschlossen werden. Eine weitere Aufteilung des Leistungsbedarfes in Fahrwiderstände und andere Fahrzeugkomponenten wurde durch nachträgliche Annahme von Komponentendaten (z. B. Getriebeeffizienz) durchgeführt. Messungen des Drehmomentes, als Teil der Konstantfahrten, waren zu diesem Zeitpunkt noch nicht vorgesehen.

Diese Art der Verbrauchsmessung wurde in drei Laboren durchgeführt. Die Messausrüstung dazu war unterschiedlich. Zwei Labore (AVL, TUG) nutzen eine mobiles Kraftstoffmesssystem, AVL zusätzlich parallel ein PEMS-Messsystem für CO_2). TÜV NORD ermittelte den Kraftstoffverbrauch ausschließlich über den CO_2 -Ausstoß mittels PEMS. Weiter wurde der Betrieb der Hauptnebenaggregate (Motorlüfter, Luftpresser, Generator) über Sensoren erfasst.

Die Ergebnisse dieser Tests zeigen, dass die hier beschriebene Methode für die Bestimmung von Fahrwiderständen und Leistungsbedarfen einzelner Komponenten nicht geeignet ist. Grund hierfür ist die Komplexität im Einsatz der einzelnen Fahrzeugkomponenten im Fahrzeugbetrieb, was zu einer geringen Wiederholbarkeit der ermittelten Ergebnisse führt. Dieser Aspekt ist für Fahrzeug 6 (Abschnitt 4.3.2) detaillierter diskutiert. Als Konsequenz daraus werden die für HDV4 per Konstantfahrt ermittelten Fahrwiderstände hier nicht dargestellt.

Rollwiderstände aus Reifenabrolltest gemäß 1222/2009/EG

Für die auf HDV4 montierten Reifen lagen ebenfalls Ergebnisse aus Reifenabrollprüfungen gemäß 1222/2009/EG vor. Basierend auf diesen Informationen wurde der Rollwiderstand für das Fahrzeug im halb beladenen Zustand ermittelt. Tabelle 41 zeigt den Rollwiderstandsbeiwert mit und ohne Anwendung des Korrekturfaktors hinsichtlich der Kontaktbedingungen zwischen der Trommel (D = 2 m) und der ebenen Straße (siehe Gleichung 3).

Tabelle 41: Ergebnisse aus Reifenabrollprüfungen gemäß 1222/2009/EG

	truck average RRC (ref. cond.) [-]
w/o correction to flat road contact	0.00539
incl. correction to flat road contact	0.00438

Ein Vergleich dieser Werte, mit denen des Ausrollversuches – wo sich der verlässlichste Wert eines Rollwiderstandsbeiwertes für LKW mit durchschnittlich 0,0047 ergibt – ist schwierig: Erstens ist bekannt, dass die bei Ausrollversuchen ermittelten Widerstände die Verluste des Triebstranges beinhalten, was zu einer Erhöhung des Rollwiderstandsbeiwertes bei Ausrollversuchen führt. Weiter können die Fahrbahnbeschaffenheiten während der Ausrollversuche nicht mit Messgröße beschrieben werden. Jedoch gibt der Vergleich der Rollwiderstandswerte aus dem Abrollversuch einen Hinweis, dass ein Korrekturfaktor zum Umwandlung der Rollergebnisse auf Realwerte angebracht scheint. Der bei den Ausrollversuchen beobachtete Rollwiderstandsbeiwert wird über den Lebenszyklus der Reifen als ansteigend eingeschätzt. Die Literatur geht über den Lebenszyklus der Reifen von einem Anstieg des Reifenrollwiderstandes, bedingt durch Abnutzung, von ca. 20 % aus.

4.3.1.1.3 Triebstrang

Die Fahrzeugspezifikationen von HDV4 beschreiben die Übersetzungen der einzelnen Gänge und Achsgetriebe. Entsprechende der Daten der Getriebeverluste aus Komponententests, wie in Abschnitt 2 für den Zertifizierungsprozess beschrieben, standen nicht zur Verfügung. Daher wurden zur Parametrierung des Simulators folgenden Annahmen hinsichtlich der Triebstrangverluste von HDV4 getroffen:

-
- Die nicht drehmomentabhängigen Verluste (Reibung) sind bereits in den Fahrwiderständen der Ausrollversuche enthalten.
 - Für die drehmomentabhängigen Verluste im Triebstrang wurde je Gang ein Wirkungsgrad von 0,98 angenommen.

Der sich ergebende Gesamttriebstrangverlust wurde zusammen mit der Parametrierung der Leistungsbedarfe der Nebenaggregate validiert, indem ein Vergleich zwischen den Ergebnissen aus den Konstantfahrten angestellt wurde (siehe nächster Abschnitt).

4.3.1.1.4 Nebenaggregate

Von externen Komponententests waren die Leistungsbedarfe folgender Nebenaggregate verfügbar:

- die Propellerkurve der Motorlüfter (Leistungsaufnahme durch Luftwiderstand als Funktion der Motordrehzahl),
- für den Luftpresser die Abhängigkeit der mechanischen Leistungsaufnahme als Funktion von Kompressordrehzahl und Druckdifferenz sowie der Leistungsaufnahme bei Leerlauf des Kompressors,
- Wirkungsgradkennfeld des Generators (Wirkungsgrad als Funktion der Generator-drehzahl und der elektrischen Spannung).

Während der meisten Tests mit HDV4 wurde die Aktivität der oben genannten Aggregate mit folgenden Mitteln aufgezeichnet:

- Motorlüfter: Drehzahlsensor;
- Luftpresser: Drucksensor zwischen Kompressor und Lufttrockner;
- Generator: Strommesszange

Mit dieser Ausrüstung wurden die oben genannten Komponentendaten durch Testergebnisse vom Triebstrang- und Rollenprüfstand ergänzt, indem der Betrieb einzelner Aggregate erzwungen (Deaktivierung der prüfstandsseitigen Kühlung zur Erzwungung der Aktivierung des Motor-

lüfters) und der Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch gemessen wurde. Als ein Ergebnis konnte z. B. der Einfluss von Verlusten der Lüfterkupplung auf die Lüfterleistungsaufnahme quantifiziert werden.

Für die Lenkhilfepumpe und den Klimakompressor zur Klimatisierung der Fahrerkabine waren keine spezifischen Daten verfügbar. Daher wurden die Verluste dieser Komponenten anhand von Literaturwerten quantifiziert.

Die Validierung des resultierenden Fahrzeugwiderstandes (Fahrwiderstände, Triebstrangverluste, Verluste durch Nebenaggregate) wurde anhand von Daten aus Konstantfahrten, bei denen der Betrieb der Nebenaggregate aufgezeichnet wurde, durchgeführt. Für beinahe alle getesteten Fahrgeschwindigkeiten deckt sich die errechnete Motorleistung mit den entsprechenden Werten, die anhand dem gemessenen Kraftstoffverbrauch, der Motordrehzahl und dem Verbrauchskennfeld ermittelt wurden (Abbildung 28). Es sei nochmals erwähnt, dass die Methoden zur Parametrierung der Komponentendaten in der Simulation für das HDV4 nicht die letztendlich vorgeschlagene Methode der künftigen HDV-CO₂-Zertifizierung abbilden.

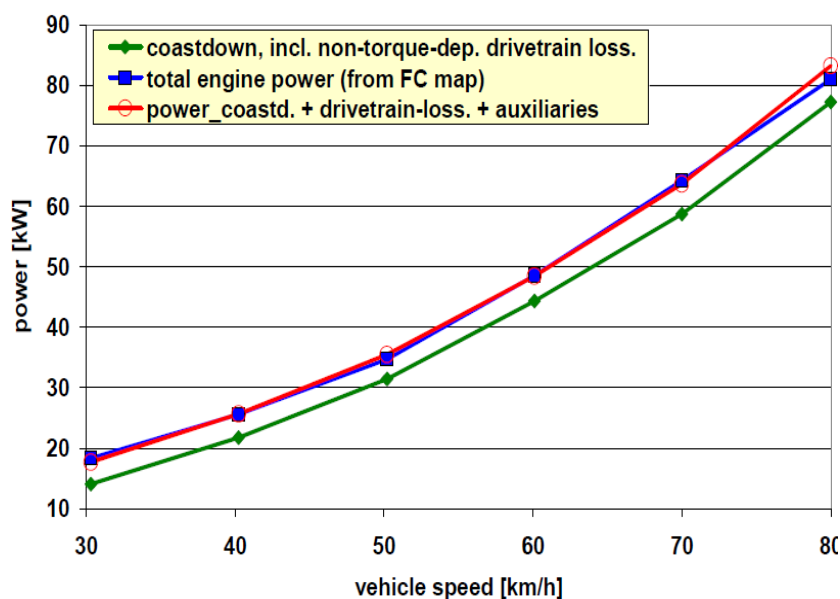


Abbildung 29: Validierung der Modellparametrierung von Verlusten durch Triebstrang und Nebenaggregate anhand von Konstantfahrten

4.3.1.2 Kraftstoffverbrauchsmessung

Um Referenzwerte für den Kraftstoffverbrauch zu erhalten, welche für die Validierung von Simulationsergebnissen herangezogen werden können, wurden Fahrzyklen auf dem Rollenprüfstand, bei Straßenmessungen und auf Teststrecken durchgeführt. Diese Messergebnisse

wurden ebenfalls zur Überprüfung der Wiederholbarkeit und wo möglich der Reproduzierbarkeit der Messungen herangezogen.

4.3.1.2.1 Rollenprüfstandstest

Tests auf dem Rollenprüfstand wurden in den Laboren der TUG und VTT durchgeführt. Dabei wurden ähnliche Parameter für die für Fahrzeugmasse und Fahrwiderstände angewandt, um so eine Analyse hinsichtlich der Reproduzierbarkeit anstellen zu können. In jedem Labor wurde jeder Zyklus nach Durchführung einer Konditionierungsphase zweimal durchgeführt. Aus den Abweichungen hinsichtlich des Kraftstoffverbrauches der zwei Messungen in einem Labor wurde das 95-%-Konfidenzintervall als Maß für die Wiederholbarkeit errechnet. Zur Bewertung der Reproduzierbarkeit wurde der Mittelwert der Testergebnisse verglichen. Abbildung 29 zeigt die Ergebnisse dieser Analyse. Mit den 95-%-Konfidenzintervallen im Bereich von 1 % oder weniger wurde ein sehr guter Hinweis für die Wiederholbarkeit beider Labore bestimmt.

Hinsichtlich der Reproduzierbarkeit entsprachen die Ergebnisse der Verbrauchsmessung nicht der Erwartung. Besonders in den Zyklen „Autobahn“ und „Überland“ lag der bei VTT ermittelte Verbrauch deutlich höher (+7 % bis +11 %) als bei TUG gemessen. Die Reproduzierbarkeit bei Ringversuchen mit PKW liegt ebenfalls in dieser Größenordnung. In einem Ringversuch (18) wurden vier Diesel-PKW (Euro 4) auf sechs unterschiedlichen Rollenprüfständen vermessen. Die maximale Abweichung hinsichtlich CO₂ lag bei +/-4 %. Das bedeutet, dass zwischen dem Labor mit dem höchsten und niedrigsten Ergebnis ein Unterschied von 8 % lag. Jedoch lieferten vier der sechs Labore Werte in einem Bereich von +/-2 %. Wenn Ringversuche für Nutzfahrzeugrollenprüfstände gebräuchlich würden, wäre eine Verbesserung der Reproduzierbarkeit zu erwarten.

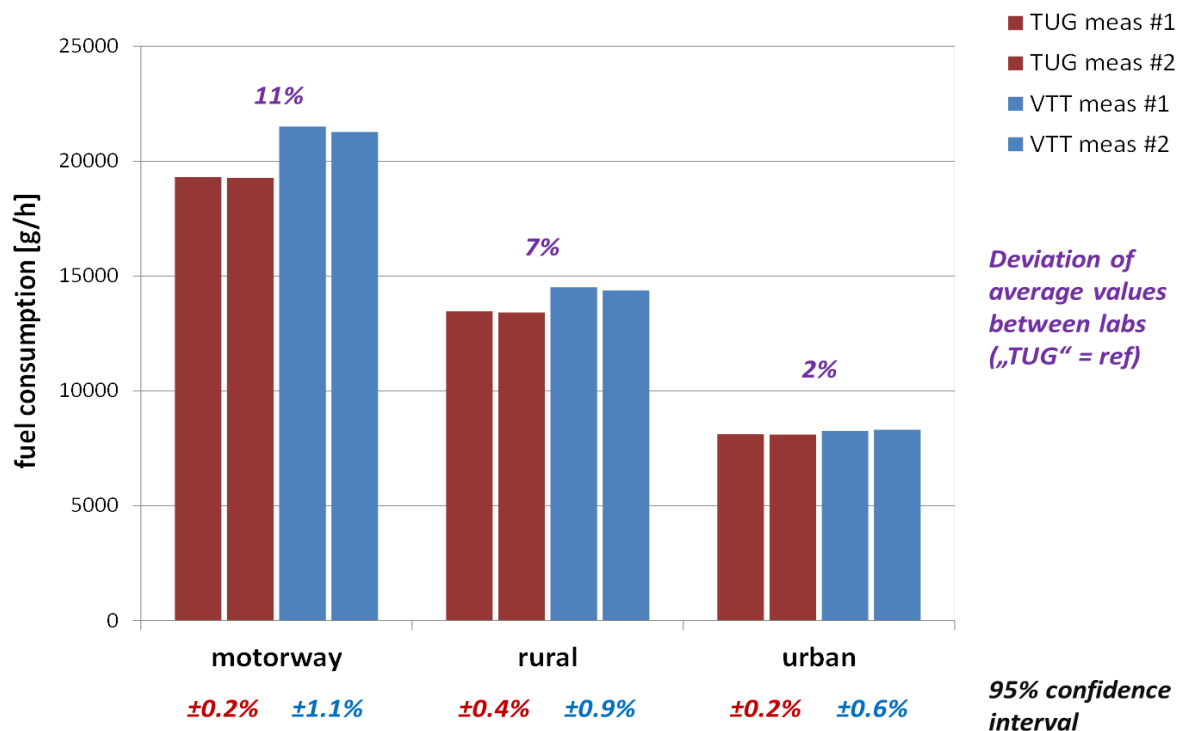


Abbildung 30: Vergleich der Rollentest-Ergebnisse TUG mit VTT

Diese signifikanten Unterschiede waren Gegenstand weiterer Untersuchungen. Eine plausible Erklärung liegt in den unterschiedlichen Ansätzen zur Bestimmung der Verluste zwischen Rollen und Reifen. Bei Rollenprüfstandsmessungen müssen diese Verluste beziffert werden, weil sie von der Rollenlast, die von der Belastungseinrichtung des Prüfstandes aufgebracht wird, abzuziehen sind. Auf dem Prüfstand der TUG wird ein „Verlust-Lauf“ ähnlich der bei PKW angewandten Methode durchgeführt. Dabei wird das Fahrzeug im Leerlauf von der Rolle beschleunigt und verzögert. Die mit dieser Methode bestimmten Verluste beinhalten nicht nur die Rollwiderstände zwischen Rolle und Reifen, sondern auch die Leerlaufverluste des Fahrzeugtriebstranges. Fahrwiderstandsparameter, abgeleitet von Ausrollversuchen, beinhalten ebenfalls diese Verluste. Wenn diese Werte auf einem Rollenprüfstand mit einem „Verlust-Lauf“ angewandt werden, heben sich diese Effekte gegenseitig auf und führen zu einer Last entsprechend den realen Bedingungen. Wendet man jedoch die Widerstandskräfte des Prüfstandes auf das Fahrzeug an, treffen diese nicht exakt die nominellen Widerstandsparameter, sind aber um die Größenordnung der Leerlaufverluste des Triebstranges im „Verlust-Lauf“ reduziert.

Auf dem VTT-Prüfstand wurden die Verluste zwischen Rolle und Reifen auf eine andere Art bestimmt, welche auf dem bekannten Rollwiderstand der Prüfstandreifen als Funktion der

Achslast basiert. Als Konsequenz erscheint es plausibel, dass die sich ergebende und auf das Fahrzeug angewandte Widerstandskraft höher ist (durch Einflüsse der Triebstrangverluste) als auf dem Prüfstand der TUG im Betrieb mit ähnlichen Fahrwiderstandswerten. Dieser Effekt beeinflusst den Zyklus „Autobahn“ deutlicher, weil die hier Fahrwiderstände im Gegensatz zum Zyklus „Stadt“ einen höheren Anteil an der Motorarbeit haben. Diese Erklärung erläutert die beobachteten Unterschiede der beiden Prüfstände zwischen den einzelnen Zyklen sehr ordentlich. Ein Beweis dieser Theorie, basierend auf konkreten Messdaten, konnte nicht erbracht werden, weil keine fixe Referenz für Fahrzeug und Motorlasten während beider Messungen zur Verfügung stand (CAN-Daten über Motordrehmoment nur bei VTT verfügbar, Betrieb der Nebenaggregate nur bei TUG sensiert, Drehmomentmessung auf der Kardanwelle in keinem Labor verfügbar).

Abgeleitet aus dieser Theorie ist die Technik mit „Verlust-Lauf“ die Methode der Wahl, wenn Fahrwiderstände (basierend auf Widerständen, welche mittels Ausrollen bestimmt wurden) entsprechend der realen Bedingungen angewandt werden sollen. Falls die Rollenprüfstandsmessung mit dem nominellen Fahrwiderständen in Einklang stehen soll – das ist der Fall, wenn z. B. die Parameter mittels Konstantfahrt generiert werden oder die Testergebnisse zum Vergleich mit Simulationsergebnissen herangezogen werden – muss entweder der Rollwiderstand auf den Rollen bekannt sein (angewandt bei VTT) oder der Leerlaufverlust des Triebstranges beim „Verlust-Lauf“ bekannt sein. Dies kann eine Anforderung für Triebstrangtests sein, falls der Rollenprüfstand für Validierungszwecke in einer künftigen CO₂-Zertifizierung Anwendung findet.

Der Aspekt der Reproduzierbarkeit von Ergebnissen auf Nutzfahrzeugrollenprüfständen wird später auf Basis von Tests, welche mit Fahrzeug 6 durchgeführt wurden, untersucht. Ergebnisse dazu werden im Laufe des Jahres 2012 erwartet und sollen zeigen, dass, bei Nutzung eines Nutzfahrzeugrollenprüfstand zur CO₂-Zertifizierung, ähnlich wie bei PKW-Prüfungen auf der Rolle gewisse Standardprozeduren erarbeitet werden müssen. Weil die Funktionalität von Nutzfahrzeugrollenprüfständen nicht mit der von PKW-Rollenprüfständen identisch ist, können entsprechenden PKW-Richtlinien nicht unmittelbar übernommen werden.

4.3.1.2.2 Straßenmessungen

HDV4 wurde bei AVL und der TUG Kraftstoffverbrauchsmessungen im Straßenverkehr unterzogen.

Bei AVL wurde das Fahrzeug zwei Kraftstoffverbrauchsmessungen auf der gleichen Strecke über öffentliche Straßen durchgeführt. Diese Route beinhaltet innerstädtische Abschnitte und Abschnitte in der Vorstadt je mit Ampelanlagen, Kreuzungen und Kreisverkehren sowie Autobahnen. Diese gemessenen Ergebnisse können in einem weiteren Schritt zur Bewertung der Wiederholbarkeit von CO₂-Messungen mittels PEMS herangezogen werden.

Die Straßenmessungen der TUG mit HDV4 wurden mit dem Fokus auf die Erzeugung von idealen Referenzdaten zum Vergleich des realen mit dem simulierten Kraftstoffverbrauch durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde ein hügeliger, 23 km langer Abschnitt der Autobahn A9 bei Graz ausgewählt. Die Ausrollversuche wurden ebenfalls auf einem ebenen Abschnitt dieser Autobahn durchgeführt, damit die Übertragbarkeit von Fahrwiderständen gegeben ist. Der Betrieb der Hauptnebenverbraucher (Motorlüfter, Luftpresser, Generator) wurde aufgezeichnet. Das Höhenprofil des Streckenabschnittes wurde aus einem Satz von vier GPS-Messungen abgeleitet. Die atmosphärischen Bedingungen während dieser Tests waren nahezu identisch. Die durchschnittlichen Windbedingungen während der Fahrten wurden mittels stationärem Anemometer, welches am näheren Fahrbahnrand aufgestellt war, bestimmt. Ein Vergleich der gemessenen und simulierten Kraftstoffverbräuche wird im folgenden Abschnitt dargestellt.

4.3.1.3 Vergleich gemessener Kraftstoffverbrauches zu Simulationswerten

Basierend auf den Komponenten-Daten von HDV4, deren Bestimmung in den vorherigen Abschnitten beschrieben ist, wurden die Fahrzeuglängsdynamik und das Emissionsmodell PHEM parametrisiert. Zur Validierung wurden Aufzeichnungen (Fahrzeuggeschwindigkeit, Motordrehzahl, Streckengradient, Betrieb der Nebenaggregate) der Straßenmessungen und der Rollenprüfstandsmessungen verwendet, um den Verlauf der Motorleistung und damit den Kraftstoffverbrauch zu simulieren. Diese Art der Simulation wird gebräuchlich als Rückwärts-simulation bezeichnet, da der Fahrzeugbetrieb bereits als Modelleingabe gegeben ist.⁵ Abbildung 30 zeigt den Ablauf der Validierung basierend auf den von HDV4 verfügbaren Daten.

⁵ In Vorwärtssimulationen ist der Fahrzeugbetrieb (Geschwindigkeitsverlauf, Schaltvorgänge, Betrieb von Fahrzeugkomponenten) ein Ergebnis der Interaktion von Algorithmen im Simulationsmodell (Fahrermodell und Kontrollalgorithmen einzelner Fahrzeugkomponenten) mit gesetzten Zielen, wie z. B. dem Verlauf einer Zielgeschwindigkeit über die Zeit. Diese komplexere Methode der Simulation wird ange-

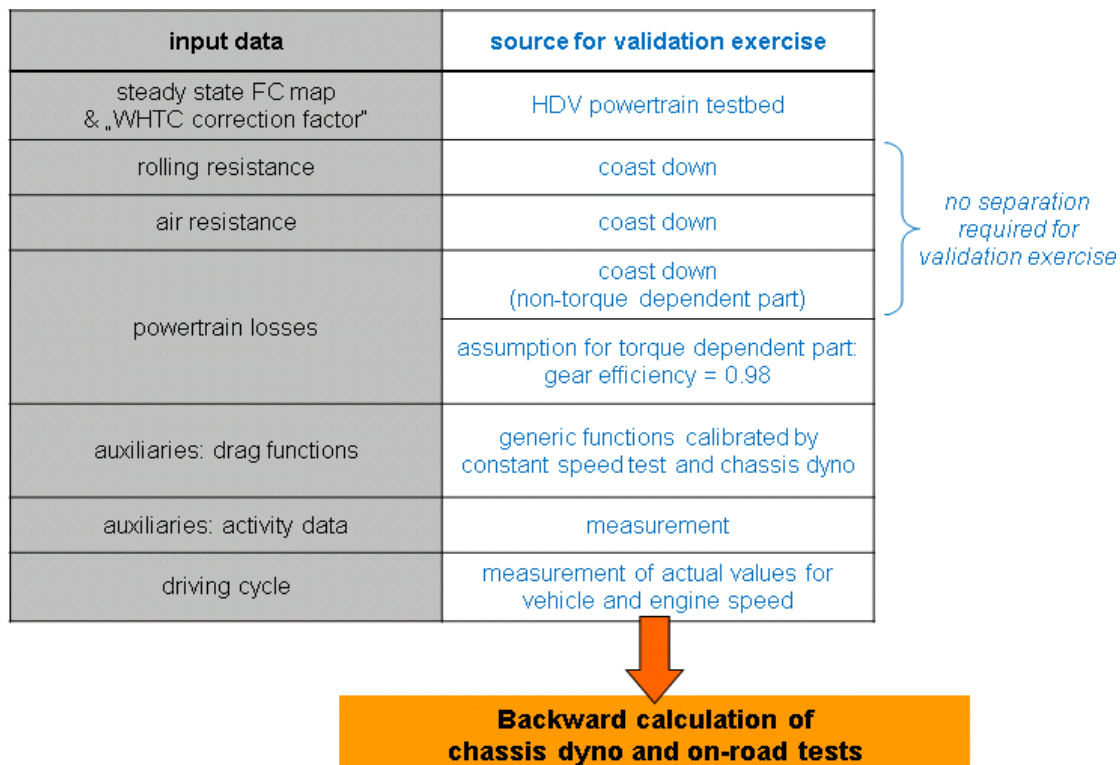


Abbildung 31: Ablauf der Modellvalidierung mittels Daten von HDV4

Abbildung 31 zeigt die Abweichung des simulierten und gemessenen Kraftstoffverbrauches für die Messung auf der Autobahn A9 und die Messung von vier Zyklen auf dem Rollenprüfstand der TUG. Referenzwert ist der mittels mobiler Verbrauchsmessung ermittelter Kraftstoffverbrauch. In den Autobahnzyklen treffen die simulierten Ergebnisse selbst mit der Basisparametrierung des Simulators (stationäres Verbrauchskennfeld mit WHTC-Korrekturfaktor, linker Balken Abbildung 30) die gemessenen Verbräuche sehr gut. Zyklen mit dynamischen Bedingungen werden z. B. bei den Stadtzyklen um 8 % unterbewertet. Die Ursachen dafür sind sicher vielfältig und Bestandteil weiterer Untersuchungen. Einige Ursachen liegen in der nicht ausrei-

wand, wenn spezifischen Daten zum Fahrzeugbetrieb als Eingabe in das Modell nicht verfügbar sind. In der abschließenden Version des HDV-CO₂-Simulators wird angenommen, dass eine Vorwärtssimulation die Anforderungen besser erfüllen kann, weil z. B. die Abbildung von fahrzeugspezifischen Regelalgorithmen, wie einem Tempomat oder einem Freilaufmodus, diese Methode erfordern. Wenn ein auf Vorwärtssimulation basierender Ansatz gewählt wird, müssen die zusätzlichen Modellelemente auf einer weiteren Ebene validiert werden (z. B. Vergleich von gemessenen und simulierten Fahrverhalten).

chenden Güte der vorliegenden Komponentendaten zu HDV4, welche jedoch nicht die grundsätzliche Genauigkeit des Modellansatzes betreffen.⁶

Ein weiterer Grund für diese Unterbewertung des gemessenen Kraftstoffverbrauches durch den Simulator ist der Schlupf der Reifen auf den Rollen des Prüfstandes, welchem in Zyklen mit vielen Vollastbeschleunigungen große Bedeutung zuzumessen ist. Wenn dieser Effekt ebenfalls in der Simulation berücksichtigt wird, verringern sich die Unterschiede deutlich (rechter Balken in Abbildung 30). Weitere Einflüsse, welche den Verbrauch in transienten Betrieb nur leicht betreffen, sind in den Algorithmen des Modells nicht beinhaltet, z. B. Schaltvorgänge mit Zwischengas oder Kupplungsverluste während der Gangwechsel. Grundsätzlich ist ohnehin nicht jeder Aspekt des komplexen realen Fahrbetriebes im Modell darstellbar. Daher wird vorgeschlagen, in den HDV-CO₂-Simulator die Mechanismen, welche die Komplexität des Modells und/oder die Anforderungen bei den Komponententests zu sehr erhöhen, aber keinen signifikanten Einfluss auf das CO₂-Ranking der einzelnen Fahrzeuge haben, nicht zu integrieren.

⁶ 1. Da das Motorverbrauchskennfeld von Fahrzeug 4 nicht auf einem Motorenprüfstand ermittelt wurde, ist es mit gewissen Unsicherheiten im Bereich geringer Motorlasten behaftet. Zusätzlich ist der Bereich der kleinen Motordrehzahlen nur mit sehr wenigen Drehzahlen abgedeckt. Die Unsicherheiten im Verbrauchskennfeld betreffen lediglich die Simulation von Stadt- und Überlandfahrten.

2. Ein weiterer Grund für die Unterbewertungen der Zyklen mit kleinen Geschwindigkeiten liegt in der Tatsache, dass eine konstante Getriebeeffizienz für alle Gänge angenommen wurde. Real weisen kleinere Übersetzungen eine geringere Effizienz auf, was letztendlich den Kraftstoffverbrauch bei geringen Drehzahlen im Vergleich zum hier angewandten Simulations-Setup erhöht.

Die Eingabedaten zu HDV6 sind nicht von den Defiziten bezüglich 1. und 2. beeinflusst. Folglich ergeben sich in den transienten Fahrzyklen solche Unterschiede nicht (siehe dazu den folgenden Abschnitt).

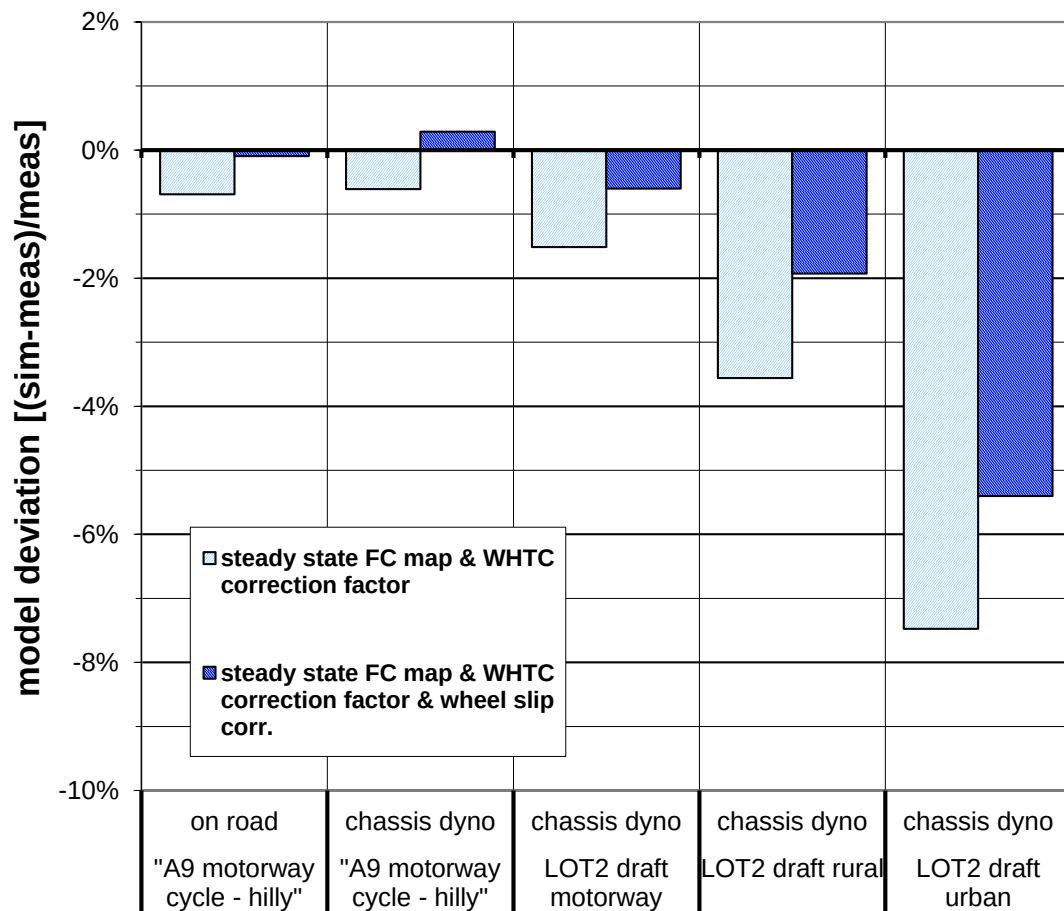


Abbildung 32: Vergleich des gemessenen Verbrauches mit Simulationsergebnissen (Referenz ist die Verbrauchsmessung mit mobiler Verbrauchsmesstechnik, 0%-Linie)

4.3.2 Verteiler-LKW 12 t

Das letzte in dieser Studie untersuchte Fahrzeug war ein Verteiler-LKW mit einem zGG von 12 t ("HDV 6"). Das Fahrzeug ist ein Mercedes Atego 1224L (Abbildung 32) mit 6-Gang Handschaltgetriebe, welches die Emissionsstufe Euro V erfüllt. Es wurde durch die Daimler AG Stuttgart bereitgestellt. Der Aufbau war ein geschlossener Kühlkoffer.



Abbildung 33: Verteiler-LKW 12 t zGG („HDV6“)

Das Fahrzeug wurde für Fahrwiderstandsmessungen der TUG und des TÜV NORD herangezogen. Bei der TUG wurden ebenfalls Tests auf dem Rollenprüfstand durchgeführt. Weiter wurden Versuche auf dem Rollenprüfstand bei VTT und dem Triebstrangprüfstand bei TNO durchgeführt, welche im Frühjahr 2012 außerhalb der UBA- und LOT2-Projekte veröffentlicht werden.

4.3.2.1 Messtechnik

Aufgrund der Erfahrungen aus den Messungen mit HDV4 wurde entschieden, die Fahrzeuge mit derselben Messausrüstung in allen teilnehmenden Laboren wie folgt auszustatten:

- Kraftstoffverbrauchsmessung mit AVL KMA Mobile
- Drehmomentmessung auf der Kardanwell mit DMS (HBM), Telemetrie (MANNER)
- Motordrehzahlsensor
- Luftpresserbetrieb: sensiert über Druckaufnehmer zwischen Luftpresser und Lufttrockner
- Generatoreinsatz: sensiert mit Strommesszange

Während der Fahrversuche auf der Teststrecke wurden zusätzlich folgende Messsysteme eingesetzt:

- Ultraschallanemometer zur Erfassung von Anströmgeschwindigkeit und -richtung,
- GPS-System zur Messung von Fahrgeschwindigkeit und Fahrzeugposition.

Die hier verwendete Ausrüstung trifft nicht ganz die vorgeschlagenen Anforderungen an die Messtechnik für die Pilotphase (die entsprechende Messtechnik ist in Abschnitt 2.4.1.2 beschrieben). Insbesondere sind als Drehmomentmesstechnik für die Konstantfahrten keine Rad-Drehmoment-Messnaben genutzt worden, da diese Technik während der Messungen an Fahrzeug 6 noch nicht berücksichtigt werden konnte.

Während des Verlaufes des Projektes sind viele Erfahrungen hinsichtlich der fahrzeugbezogenen Messtechnik gesammelt worden, da bei den meisten Messsystemen Probleme hinsichtlich des stabilen Betriebes und der Abhängigkeit der gemessenen Werte von Messbedingungen auftraten. Die empfindlichsten Messgrößen sind im Folgenden aufgeführt:

- Messung der Anströmgeschwindigkeit und -richtung mit einem mobilen Anemometer:
Bei der Auswertung der Fahrzeugtests liefern die Anströmungsgeschwindigkeit und -richtung wichtige Informationen, da der Luftstrom auf das Fahrzeug durch Überlagerungen mit der Umgebungsströmung hinsichtlich der Geschwindigkeit abweichen kann. Wenn jedoch ein Anemometer auf dem Fahrzeug installiert ist, wird der gemessene Luftstrom durch die Umströmung des Fahrzeuges beeinflusst. Daher kann der aufgezeichnete Luftstrom deutlich von einem ungestörten Luftstrom abweichen, welcher zur korrekten Ermittlung der korrigierten Fahrwiderstände erforderlich ist (LOT2, 3.5.1.2). Folglich müssen die gemessenen Daten des On-Board-Anemometers auf „ungestörte Strömungsbedingungen“ entweder mittels Strömungsberechnung, Konstantfahrten bei Windstille oder Korrelation zu stationären Anemometern kalibriert werden. Diese Kalibrierung erfolgte sowohl mittels Strömungsberechnung als auch mittels Messung für die Ausrüstung des Fahrzeuges mit und ohne Windabweiser. Dabei zeigte sich, dass die notwendigen Kalibrierungen stets von gewissen Unsicherheiten behaftet sind und so die Messergebnisse der Gesamt-Anströmgeschwindigkeit beeinflussen. Wenn die Fahrzeugtests basierend auf der On-Board-Messung der Anströmgeschwindigkeit ausgewertet wurden, wurden neben den zusätzlichen Informationen über den aktuellen Luftstrom diese Unsicherheiten der Kalibrierung in das Ergebnis des Luftwiderstandes eingetragen.
- Messung des Drehmomentes an der Kardanwelle mit DMS:
Die Messung des Drehmomentes an der Kardanwelle wurde mittels Hebelarm im aufgebauten Zustand direkt nach der Aufbringung der Dehn-Messstreifen durchgeführt. Dabei wurde ein Messkreis gewählt, welcher theoretisch die Einflüsse der Temperatur auf das Messergebnis eliminieren sollte. Die Auswertung der Messergebnisse wurde unter der An-

nahme durchgeführt, dass die Steifigkeit der Welle über die gesamte Messreihe unverändert bleibt (da die Steifigkeit nur im ausgebauten Zustand exakt bestimmt werden kann). Während der Messreihen wurde jeden Tag der 0-Punkt des Systems bestimmt, da bekannt ist, dass der 0-Punkt, bedingt durch kleine Deformationen von Kunststoffbauteilen während des Fahrbetriebes, eine Drift aufweist. Im Laufe der Messreihe zeichnete sich ab, dass der 0-Punkt geringfügig davon abhängt, ob er bei warmen oder kalten Fahrzeug bestimmt wurde. Nach dieser Feststellung wurde bei der Testauswertung der 0-Punkt, welcher am warmen Fahrzeug ermittelt wurde, herangezogen. Dieses beobachtete Phänomen zeigt eine potentielle Unsicherheit des gemessenen Drehmomentes in einem zu erwartenden Bereich vom ± 7 Nm. Für HDV6 bedeutet diese Größe der Unsicherheit eine Abweichung des Drehmomentes an der Kardanwelle von ca. 7 % bei kleinen Geschwindigkeiten und ca. 2 % bei 90 km/h.

Das Drehmomentmesssystem wird, sobald es vom Fahrzeug abmontiert ist, nochmals zur Kontrolle im ausgebauten Zustand kalibriert. Das ist bis zur Erstellung dieses Berichtes noch nicht geschehen, da das Fahrzeug noch weiteren Tests unterzogen wird. Weitere Erkenntnisse zu dieser Messtechnik werden aus diesen Messungen noch erwartet. Es wird weiterhin erwartet, dass diese umfangreiche Erfahrung die Genauigkeit der Drehmomentmessung an der Kardanwelle weiter verbessert kann.

Zur Durchführung der Konstantfahrttests, wie für die künftige CO₂-Zertifizierung vorgeschlagen, wird die Verwendung von Radmessnaben beabsichtigt, welche aus Drehmomentmessflanschen zwischen Radlager und Felge bestehen. Neben der Tatsache, dass das gemessene Moment nicht durch Verluste im Achsgetriebe beeinflusst ist, werden diese Systeme als einfacher handhabbar und exakter eingeschätzt. Diese Einschätzung ist im Rahmen der Pilotphase zu überprüfen.

- Messung der Fahrzeuggeschwindigkeit mittels GPS:

Beruhend auf der Erfahrung mit einigen GPS-Systemen des professionellen Anwendungsbereiches kann gefolgert werden, dass die Genauigkeit solcher Systeme deutlich unter den vom Hersteller spezifizierten Angaben liegt. Dieser Effekt zeigte sich besonders unter Messbedingungen bei schwachem Satellitensignal, aber z. T. lag die Genauigkeit auch bei gutem Satellitensignal unter den Erwartungen. Diese ist insbesondere bei Ausrollversuchen im Bereich geringer Geschwindigkeiten problematisch, wo sehr geringe Beschleunigungen aus dem aufgezeichneten Geschwindigkeitssignal berechnet werden müssen. Ebenso ist die Beschleunigungskorrektur bei der Auswertung der Konstantfahrten von der geringen Genauigkeit beeinflusst, jedoch verhält sich das Ergebnis der Konstantfahrt nicht beson-

ders empfindlich hinsichtlich dieses Faktors. (Es verschlechtert sich hier ein Qualitätskriterium der Messdaten, aber der Einfluss auf den ermittelten C_d -Wert ist gering.) In der Pilotphase werden auch andere Möglichkeiten der Geschwindigkeitsmessung, wie z. B. optische System oder Fahrzeugsteuergerätedaten, erprobt.

- Messung des Streckengradienten mittels GPS:

Zur Auswertung der Fahrwiderstandsmessungen ist die Genauigkeit eines GPS-Systems zur Bestimmung der Höhe absolut nicht geeignet. Daher wird empfohlen, die Höhenprofile von Streckenbauplänen anzuwenden und nicht die Höhe der GPS-basierten Fahrzeugposition zu interpolieren.

4.3.2.2 Komponententests

Die Daimler AG hat zu diesem Fahrzeug die meisten Komponentendaten bereitgestellt. Daher lag im Konsortium der Fokus auf den Fahrversuchen zur Bestimmung der Fahrwiderstände. Ende 2011 wurden mit HDV6 Versuche auf dem Triebstrangprüfstand durchgeführt, mit dem Schwerpunkt auf Triebstrangverluste.

4.3.2.2.1 Kraftstoffverbrauchskennfeld des Motors

Zu diesem Fahrzeug wurden alle motorspezifischen Daten aus internen Motorprüfstandsversuchen von der Daimler AG zur Verfügung gestellt. Diese Daten beinhalten folgende Informationen:

- Volllastkennlinie des Motors
- Reibleistungskennlinie des Motors
- Kraftstoffverbrauchskennfeld
- Modaldaten des transienten ETC-Tests

Weil der in HDV6 installierte Motor gemäß der Emissionsstufe Euro V zertifiziert ist, ist der relevante Emissionsprüfzyklus der ETC, welcher nur unter „Warmstart“-Bedingungen durchgeführt wird. Messungen im WHTC stehen nicht zur Verfügung. Daher wurde der Korrekturfaktor für das Verbrauchskennfeld aus den ETC-Prüfdaten ermittelt. Bei dieser Analyse wurde nicht nur ein Korrekturfaktor für den gesamten ETC, sondern für jeden Zyklusabschnitt (urban, suburban, motorway) ein separater Faktor ermittelt. Die Idee hinter diesem Vorgehen ist die Schaffung von einsatzprofilabhängigen Faktoren, welche die transienten Effekte der unterschiedlichen Einsätze besser abbilden. Die berechneten Faktoren liegen im Bereich von 1,014

bis 1,029 mit dem geringsten Wert für den wenig dynamischen „Motorway“-Abschnitt und dem höchsten für den dynamischsten „Urban“-Abschnitt. Über den gesamten ETC ergibt sich ein Faktor von 1,020 (Abbildung 33). Dieser wurde mit dem stationären Verbrauchskennfeld als Input für den Simulator herangezogen.

Da der Bereich des Korrekturfaktors für dieses Fahrzeug sehr gering ist, erscheint eine Anwendung von Faktoren in Abhängigkeit der Fahrbedingungen nicht notwendig.

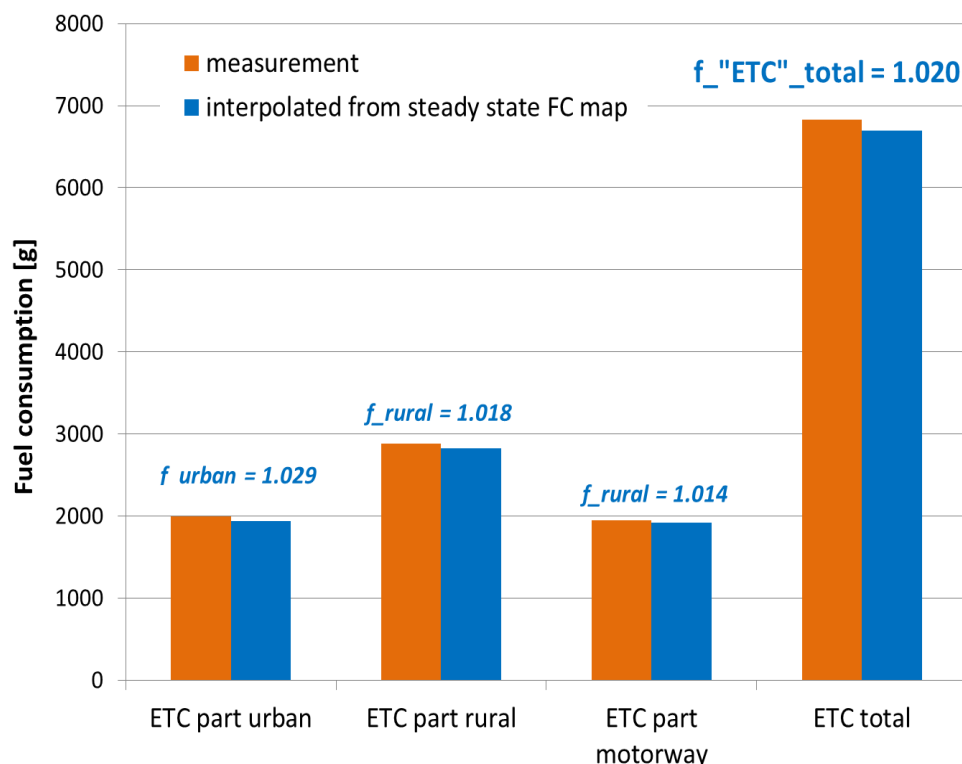


Abbildung 34: Korrekturfaktor für das Verbrauchskennfeld HDV6

Diese Ergebnisse können jedoch nicht auf künftige EURO-VI-Motoren übertragen werden, da der deutlich abweichende WHTC-Zyklus angewandt wird und sich zusätzlich die Motorentechnik deutlich von EURO V unterscheidet. Zum Beispiel führt der hier typische Einsatz der Abgasrückführung, verglichen zu EURO V, zu einem wahrscheinlich anderen Dynamikverhalten des Motors.

4.3.2.2.2 Fahrwiderstände

Zur Bestimmung der Fahrwiderstände wurden Konstantfahrten und Ausrollversuche durchgeführt. TUG hat das Fahrzeug auf dem DEKRA-Prüfgelände in Klettwitz vermessen, TÜV NORD auf dem ATP-Gelände in Papenburg. Dabei wurde das Fahrzeug in zwei Aerodynamikkonfigurationen (mit und ohne Windabweiser) vermessen. Basierend auf den Erfahrungen

mit HDV4 wurde die Drehmomentmessung bei den Konstantfahrten angewandt. Zu Vergleichszwecken kam ebenfalls die verbrauchsbasierte Auswerteprozedur zum Einsatz.

Ergebnisse der Konstantfahrten

Die Konstantfahrten wurden analog zu den Methoden durchgeführt und ausgewertet, die in Abschnitt 2 für die Pilotphase vorgeschlagen wurden. Dabei wurde aber auf die Drehmomentmessung an der Kardanwelle zurückgegriffen (nicht auf Drehmomentmessnaben). Abbildung 34 zeigt den Ablauf einer Konstantfahrt bei 40 km/h. Dabei stellt die rote Linie die Gesamtzugkraft an den Rädern dar, die mittels Drehmoment an der Kardanwelle, Achsübersetzung und -wirkungsgrad berechnet wurde. Kurvenfahrten wurden dabei nicht berücksichtigt. Dann wurden die Zugkräfte am Rad um die Kräfte durch Streckengradienten (hellblaue Line) und um Beschleunigungskräfte (blaue Line) reduziert. Diese korrigierte Signal wurde dann über Zeitintervalle von 20 s gemittelt (grüne Punkte Fahrtrichtung Nord, gelbe Punkte Fahrtrichtung Süd). Die verbleibenden durchschnittlichen Zugkräfte können dann nur noch dem Luft und Rollwiderstand zugeschrieben werden. (In dem Beispiel Abbildung 32 wurde leichter Gegenwind gemessen).

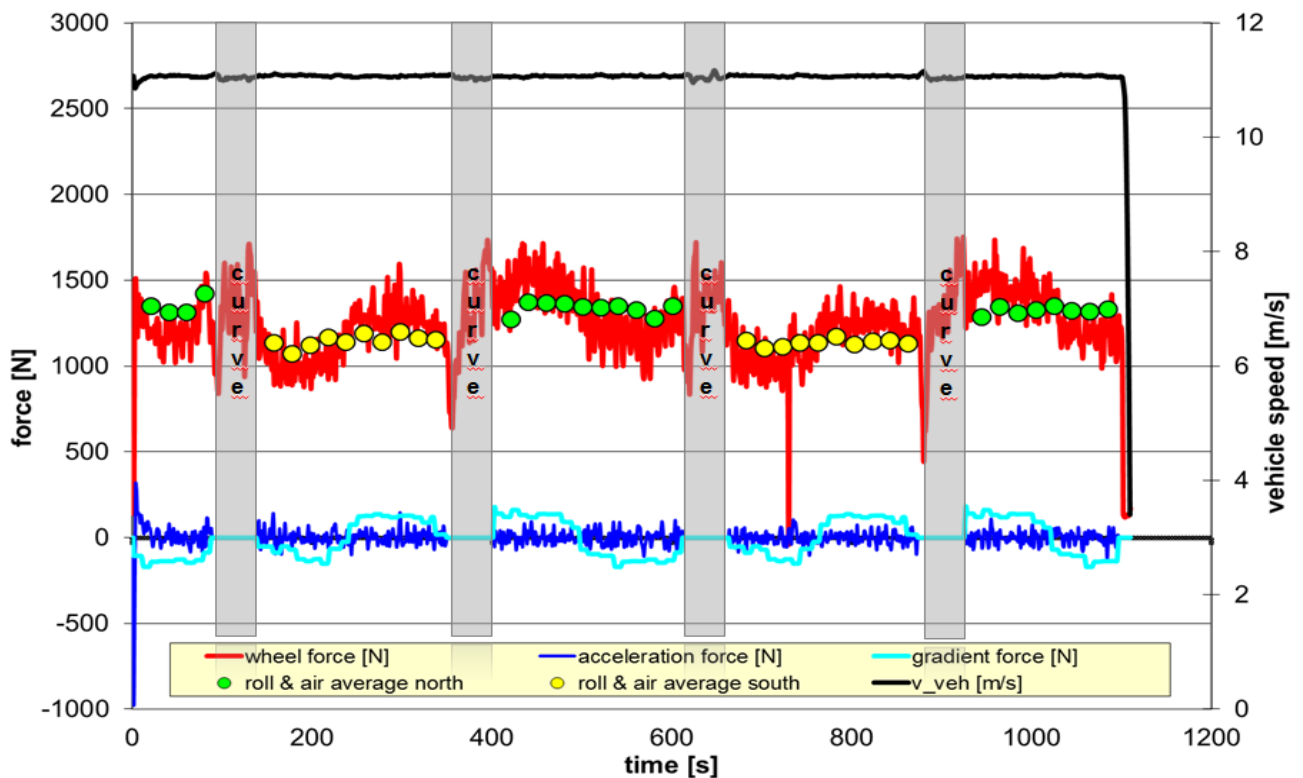


Abbildung 35: Datenaufbereitung zur Auswertung von Konstantfahrten

Im folgenden Schritt der Versuchsauswertung werden die Daten für die verschiedenen gemessenen Geschwindigkeiten einbezogen (Abbildung 35). Die Fahrwiderstandskurve kann dann entweder anhand der gemessenen Fahrgeschwindigkeit (blaue Punkte, Abb. 35) oder anhand der Strömungsgeschwindigkeit mit dem On-Board-Anemometer (grüne Punkte, Abb. 35) bestimmt werden. Die letztgenannte Methode liefert eine bessere Anpassung an die Fahrwiderstandskurve. Jedoch ist die gemessene Strömungsgeschwindigkeit von Unsicherheiten der Anemometerkalibrierung behaftet. Bei geringen Windgeschwindigkeiten liefern beide Methoden ähnliche Ergebnisse hinsichtlich des C_d -Wertes. Die Unterschiede werden in der Größe der Unsicherheit der Anemometerkalibrierung vermutet. Bei der Versuchsauswertung wurde ebenfalls die Verwendung eines stationären Anemometers untersucht. Die erhaltenen Ergebnisse zeigen klar, dass diese Methode (falls angewandt und aus einem einzelnen stationären Gerät für die gesamte Teststrecke) die Genauigkeit sogar vermindert, da lokal (wegen der großen Distanzen auf LKW-tauglichen Teststrecken) signifikant unterschiedliche Windverhältnisse zwischen Fahrzeug und Messort herrschen können.

Abbildung 36 gibt einen Vergleich, wenn die Fahrwiderstandskurve auf der Drehmomentmessung oder auf der Kraftstoffverbrauchsmessung (unter Berücksichtigung der Triebstrang- und Nebenaggregatsverluste) basiert. Es ist deutlich erkennbar, dass eine schlecht passende Kurve für die Fahrwiderstände erreicht wird, wenn diese per Verbrauchsmessung ermittelt wurde. Dies ist durch das komplexe Verhalten der verschiedenen Fahrzeugkomponenten zu erklären und trägt bemerkenswerte Unsicherheiten in die Auswertungsmethode ein. Folglich ist die verbrauchsbasierte Methode der Konstantfahrt für eine künftige Testprozedur nicht geeignet.

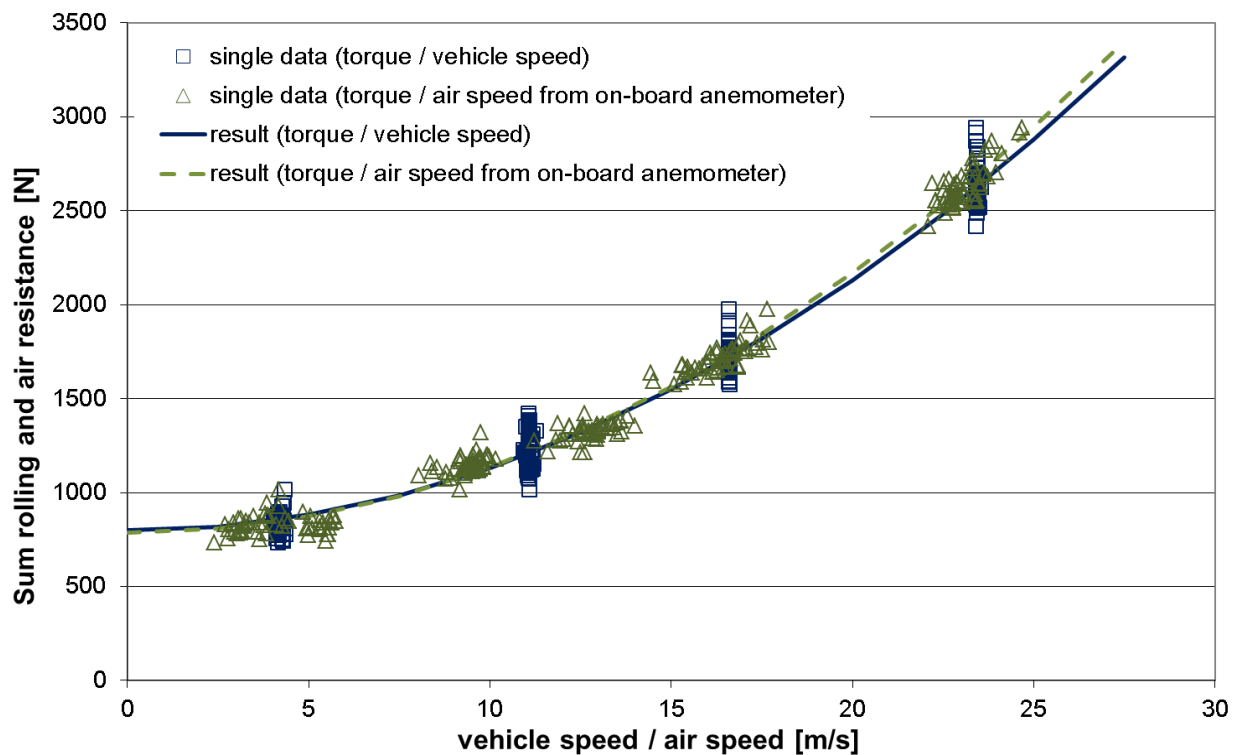


Abbildung 36: Ermittlung der Fahrwiderstandskurve aus Drehmomentmessung und Fahrzeuggeschwindigkeitsmessung anhand der On-Board-Anemometrie

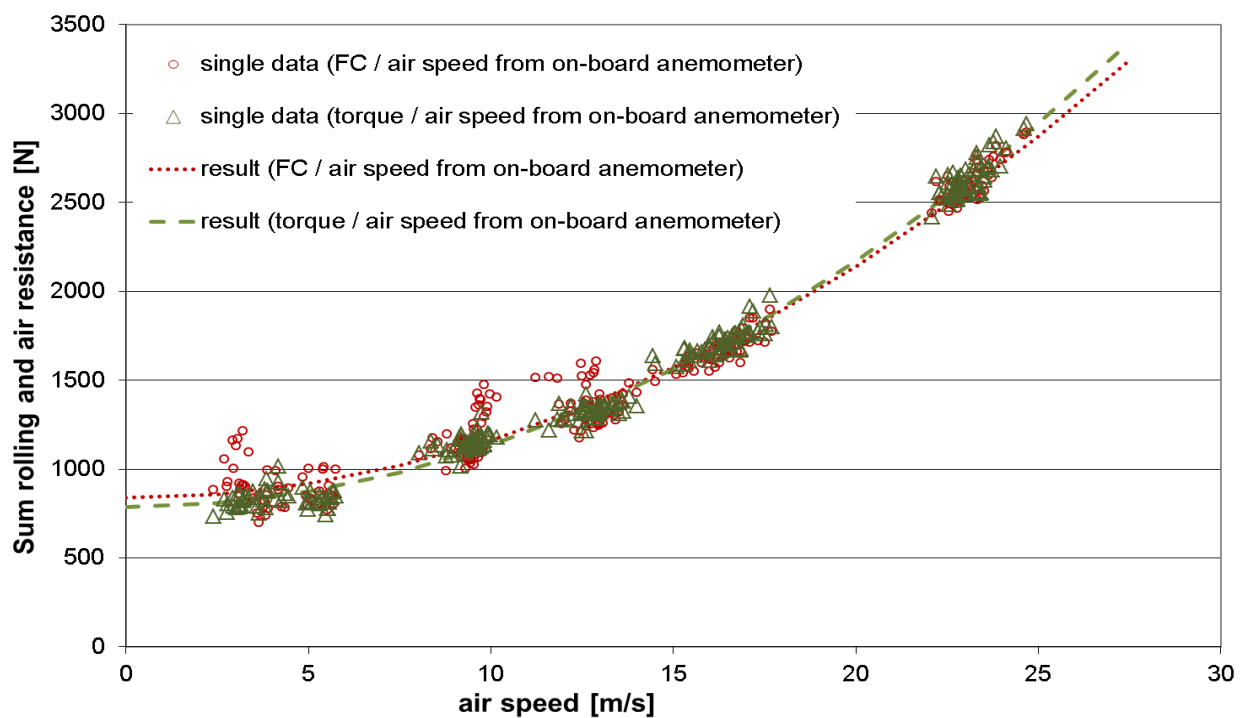


Abbildung 37: Ermittlung der Fahrwiderstandskurve aus Drehmomentmessung und verbrauchsbasierter Konstantfahrt

Tabelle 42 zeigt den Vergleich der Fahrwiderstände, die mittels Konstantfahrten durch die TUG in Klettwitz und den TÜV NORD in Papenburg bestimmt wurden. Wegen eines Mess-technikausfalls während der Tests der TUG sind zu der Fahrzeugkonfiguration mit Windabweiser keine Daten verfügbar. Hinsichtlich des Rollwiderstandes wurde vom TÜV NORD in Papenburg ein um 12 % geringerer Wert ermittelt, was bei Betrachtung der Fahrbahnoberfläche plausibel erscheint (Klettwitz: 100 % Asphalt, Papenburg: 50 % Asphalt/50 % Beton). Der C_d -Wert (ohne Windabweiser) für HDV6 wurde von der TUG mit 0,584 und vom TÜV NORD mit 0,535 ermittelt, was eine Abweichung von 8 % bedeutet. Die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse hinsichtlich des Luftwiderstandes ist damit unbefriedigend, zumal diese Methode speziell zur Bestimmung dieser Größe eingeführt ist. (Zur CO₂-Zertifizierung wird vorgeschlagen, den Rollwiderstand aus Reifentest in einer Prüftrommel abzuleiten.)

Tabelle 42: Vergleich der Fahrwiderstände von HDV6 per Konstantfahrt (Drehmomentmessung an der Kardanwelle) ermittelt

constant speed tests / cardan torque based evaluation	without windshield		with windshield	
	truck average RRC (ref. cond.) [-]	c_d [-]	truck average RRC (ref. cond.) [-]	c_d [-]
TUG	0.0101	0.584	n.a.	n.a.
TÜV	0.0089	0.535	0.0077	0.520
relative deviation to TUG	-12.2%	-8.3%	---	---

Um die hier beobachtete geringe Reproduzierbarkeit zur erklären, wurden einige potentielle Ursachen untersucht.

- Umgebungswindbedingungen

Während der beiden Konstantfahrt-Messreihen (Klettwitz und Papenburg) traten Seitenwinde im Bereich von 2 bis 4 m/s auf, welche tendenziell den Luftwiderstand erhöhen. Der entsprechende Einfluss kann nicht mittels der vorgeschlagenen Auswertungsmethode korrigiert werden. Allerdings besagt auch eine Untersuchung von verschiedenen Sattelzugkombinationen, dass geringe Seitenwindeinflüsse den Luftwiderstand kaum beeinflussen (24. S. 23). Da die entsprechenden Windbedingungen während beider Tests von HDV6 mehr oder weniger vergleichbar sind, kann entweder die Konfiguration des Fahrzeuges ohne Windabweiser stärker auf Seitenwinde reagieren als ein Sattelzug, oder eine bisher nicht erkannte Unsicherheit bei der Drehmomentmessung die Ergebnisse beeinflussen.

-
- Atmosphärische Bedingungen hinsichtlich Luftdichte und Temperatur

Wenn die Ergebnisse der TUG und des TÜV NORD ohne Korrektur der Umgebungsbedingungen verglichen werden, ergibt sich eine weitaus schlechtere Reproduzierbarkeit. Ein Hinweis, dass die Korrektur die realen Bedingungen nicht vollständig abbildet, liegt in der Tatsache, dass die korrigierten Fahrwiderstandskurven allgemein eher schlecht zum Verlauf der unkorrigierten Kurven passen, was nach der Theorie umgekehrt sein sollte. Daher sollte in diesem Zusammenhang eine zuverlässige Korrektur hinsichtlich der Luftdichte durchgeführt werden. Auch in der Korrektur des Rollwiderstandes von Mess- auf Normbedingungen sind gewisse Unsicherheiten zu erwarten. Da nicht alle Konstantfahrten bei vergleichbaren Umgebungstemperaturen durchgeführt wurden, ist auch hier ein Einfluss auf den C_d -Wert zu erwarten. Im Rahmen der Pilotphase sind hier noch weitere Untersuchungen durchzuführen.

- Drehmomentmessung an der Kardanwelle

Während der Testreihen wurden geringe Empfindlichkeiten hinsichtlich der 0-Punkt-Kalibrierung in Abhängigkeit von der Komponententemperatur beobachtet. Jedoch werden die ermittelten C_d -Werte nicht zwingend durch diesen Aspekt beeinflusst. Ob weitere Ungenauigkeiten diese Drehmomentmesstechnik beeinflussen, ist bisher nicht bekannt. Dazu sollten in der Pilotphase noch weitere Daten gesammelt und mit Ergebnissen der Raddrehmomentmessung verglichen werden.

- Querempfindlichkeiten des ermittelten C_d -Wertes zur Varianz der Rollwiderstände über die Fahrzeuggeschwindigkeit

Die Testauswertung basiert auf der Annahme, dass der Rollwiderstand über den gesamten Geschwindigkeitsbereich des Fahrzeuges konstant ist. Falls ein geringer Einfluss der Fahrzeuggeschwindigkeit unterschiedliche Tendenzen auf unterschiedlichen Teststrecken zeigt, würde das die Reproduzierbarkeit der Fahrwiderstandsmessungen beeinflussen. Allerdings ist eine gute Reproduzierbarkeit der Fahrwiderstände (Klettwitz/Papenburg) gegeben, wenn diese mittels Ausrollversuch bestimmt wurden.

Die Wiederholbarkeit der Konstantfahrt-Methode kann anhand der verfügbaren Daten der Studien UBA und LOT2 nicht hinreichend analysiert werden, da keine ausreichende Anzahl an Messungen eines bestimmten Fahrzeuges an unterschiedlichen Tagen auf einer Teststrecke vorliegen. In dem ICCT-Projekt wurde die Wiederholbarkeit der Konstantfahrten in einem Bereich von $\pm 3\%$ für das Konfidenzintervall 95 % hinsichtlich des C_d -Wertes ermittelt (24, p. 20).

Die Auswertungen wurden dort mit der verbrauchsbasierten Methode durchgeführt, wobei das Potential der drehmomentbasierten Methode als deutlich höher eingeschätzt wird.

Ergebnisse der Ausrollversuche

Verglichen zu den Ausrollversuchen mit HDV4 und HDV6 wurde das Höhenprofil in die Analyse aller Messungen mit einbezogen. Für die Tests der TUG waren ebenfalls Daten des On-Board-Anemometers verfügbar und womit die Analysen basierend auf der Strömungsgeschwindigkeit der Luft durchgeführt wurden. Bei den Messungen des TÜV NORD war der Einsatz des On-Board-Anemometers nicht möglich, da die Installation dessen zu einer Überschreitung der maximalen Durchfahrtshöhen auf der Teststrecke führt. So wurden diese Messungen auf Basis der Fahrzeuggeschwindigkeit ausgewertet. Die angewandten Algorithmen dieser Auswertung sind im LOT2-Bericht (Abschnitt 3.5.1.6) weiter beschrieben.

Tabelle 43 zeigt die Ergebnisse der Ausrollversuche, welche mit HDV6 in zwei Aerodynamik-Konfigurationen (mit und ohne Windabweiser) durchgeführt wurden. Beide Labore ermittelten etwa gleiche C_d -Werte mit jeder Aerodynamik-Konfiguration des Fahrzeuges. Der Rollwiderstand wurde in Papenburg um 15 % höher ermittelt als in Klettwitz, was etwa den Ergebnissen der Konstantfahrten nahe kommt. Bei beiden Aerodynamik-Konfigurationen von HDV6 wurden nahezu gleiche Rollwiderstandsbeiwerte ermittelt, was als plausibel einzustufen ist, da die Fahrzeugmassen und Reifen gleich waren.

Vergleicht man die Ergebnisse des C_d -Wertes von HDV6 aus den Ausrollversuchen mit denen der Konstantfahrten, zeigen sich deutlich Unterschiede. Die Konstantfahrt ohne Windabweiser liefert einen mittleren C_d -Wert von 0,56, während der Ausrollversuch hier einen Wert von 0,67 liefert. Auch die Messungen mit Windabweiser zeigen im Vergleich der beiden Prozeduren unterschiedliche Werte. Aus den Konstantfahrten bei fehlendem Windabweiser folgt ein Anstieg des Luftwiderstandes von 3 % und aus den Ausrollversuchen um 17 %. Solche Unterschiede in der Größe der Einflüsse durch aerodynamische Variationen zwischen Ausrollversuch und Konstantfahrt wurden auch bei der ICCT-Studie /19/ festgestellt. Es wurde gefolgert, dass die Konstantfahrt im Allgemeinen das verlässlichere Ergebnis liefert. Als Hauptursache wurde angenommen, dass die Fahrwiderstände bei geringen Geschwindigkeiten während der Ausrollversuche systematisch durch Einflüsse aus Übertragungsverlusten im Triebstrang und Unsicherheiten bei der Messung kleiner Geschwindigkeiten beeinflusst werden. Anhand der hier gesammelten Erfahrungen aus den durchgeführten Versuchen ist noch keine abschließende Klärung aller Unsicherheiten möglich.

Trotz der oben aufgeführten Argumente, wird aus derzeitiger Sicht an der Konstantfahrt als Methode für eine künftige CO₂-Zertifizierung festgehalten, weil alternativ noch die Drehmomentmessung am Rad mittels Messnaben erprobt werden soll. Weiter ist für die Eignung dieser Methode während der Pilotphase noch an einer brauchbaren Reproduzierbarkeit zu arbeiten. Wenn dies nicht gelingt, wird für eine Rückfallstrategie immer noch der Ausrollversuch in der Pilotphase durchgeführt.

Tabelle 43: Fahrwiderstände aus Ausrollversuchen HDV6

	without windshield		with windshield	
	truck average RRC (ref. cond.) [-]	c_d [-]	truck average RRC (ref. cond.) [-]	c_d [-]
coast down tests				
TUG	0.0089	0.665	0.0087	0.572
TÜV	0.0077	0.669	0.0073	0.572
relative deviation to TUG	-13.7%	0.5%	-16.8%	-0.1%

4.3.2.2.3 Nebenaggregate

Für die meisten Nebenaggregate dieses Fahrzeuges wurden seitens der Daimler AG Daten aus Komponententests bereit gestellt. Im Einzelnen waren das:

- die Propellerkurve des Motorlüfters (Leistungsaufnahme ist eine Funktion der Lüfterdrehzahl)
- für den Luftpresser: Abhängigkeit des Leistungsbedarfs von Kompressordrehzahl und Druckdifferenz, sowie Leerlaufverluste
- Effizienz-Kennfeld des Generators: Effizienz als Funktion der Drehzahl und des Generatorstromes)
- Lenkhilfepumpe: Leistungsbedarf als Funktion der Pumpendrehzahl

Die Verluste in der Viskokupplung des Lüfters wurden durch Herabskalierung der Werte von HDV6 ermittelt. Die Leistungsaufnahme des Klimakompressors für die Kabinenklimatisierung wurde anhand von Literaturwerten quantifiziert /20/. Während der Messungen war die Klimaanlage stets ausgeschaltet, so wurde nur der Leistungsbedarf im Leerlauf des Kompressors berücksichtigt.

4.3.2.2.4 Getriebedaten

Die Daimler AG hat auch Daten zu den Getriebe- und Achsübersetzungen zur Verfügung gestellt, genauso wie Informationen über Wirkungsgrade der einzelnen Übersetzungsstufen. Diese Daten erfüllen nicht ganz die vorgeschlagenen Anforderungen der CO₂-Zertifizierung, wo wesentlich mehr Eingabedaten als notwendig erachtet werden (geschwindigkeitsabhängige und drehmomentabhängige Verluste im Triebstrang).

4.3.2.3 Kraftstoffverbrauchsmessung

Um Verbrauchsdaten zur Validierung der Simulation mittels Rollentest zu generieren, wurden „Target-Speed“-Zyklen von der TUG in Klettwitz und dem TÜV NORD in Papenburg mit HDV6 gefahren.

4.3.2.3.1 Rollenprüfstandstests

Die folgenden Messungen wurden mit HDV6 auf dem Rollenprüfstand der ZUG durchgeführt:

- Konstantfahrten (15, 40, 60, 85 km/h)
- CST-urban (common short test cycle part “urban”)
- CST-road (common short test cycle part “road”)
- CST-motorway (common short test cycle part “motorway”)

Zur Parametrierung des Prüfstandes wurde die “Verlust-Lauf“-Prozedur (vgl. Abschnitt 4.3.1.21) durchgeführt, um Verluste zwischen Reifen und Rolle zu ermitteln. Falls die Prüfprozedur angewandt wird, ist es notwendig, die Leerlaufverluste des Triebstranges zu kennen. In diesem Fall waren die Verluste bekannt und wurden von den im „Verlust-Lauf“ bestimmten Parametern abgezogen. Um diesen Ansatz in der Auswertung der Rollentest zu validieren, wurde ein Vergleich zwischen den berechneten, von den Rollen auszubringenden Momenten und den Kardanwellendrehmomenten angestellt. In diesem Vergleich wurde eine geringe Abweichung von 2 % ermittelt. Diese Abweichung liegt im Bereich der Messgenauigkeit und weist auf eine gültige Annahme der Triebstrangverluste hin.

4.3.2.3.2 Messungen auf Teststrecken

Um Verbrauchsdaten unter echten Fahrbedingungen zu generieren, welche für eine Modellvalidierung herangezogen werden können, wurden auf beiden Teststrecken (Klettwitz, Papenburg) auch „Target-Speed“-Zyklen gefahren. Während der Messungen wurden der Kraftstoffverbrauch unter Fahrbedingungen und der Einsatz der Nebenaggregate sowie die Umge-

bungsbedingungen aufgezeichnet. Abbildung 38 zeigt beispielhaft die Fahrzeuggeschwindigkeit, den Streckengradienten und die Umgebungswindgeschwindigkeit für einen Zyklus, der in Klettwitz gefahren wurde.

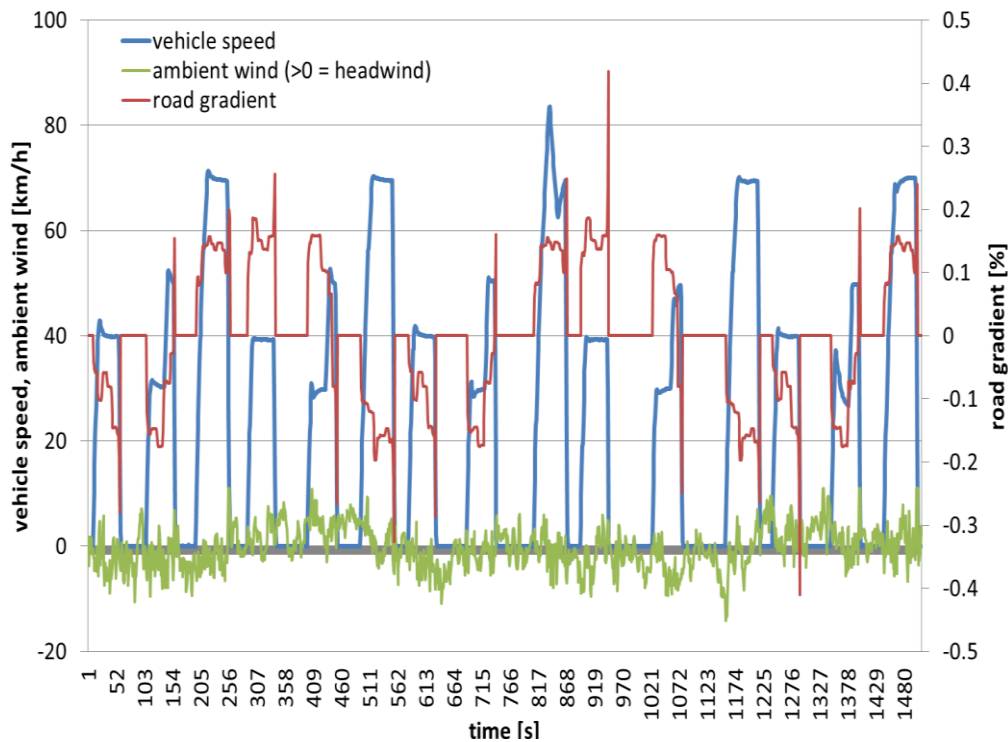


Abbildung 38: “Target-Speed”-Zyklus in Klettwitz mit HDV6

4.3.2.4 Modelvalidierung

Ähnlich der Validierung, die bei HDV4 durchgeführt wurde, wurde das PHEM-Modell mit Daten aus den Komponententests parametrisiert. Dann wurde eine Rückwärtssimulation für den aufgenommenen Fahrbetrieb auf dem Prüfstand und den Teststrecken durchgeführt.

Die Ergebnisse hinsichtlich Leistung an der Kardanwelle und Kraftstoffverbrauch wurden dann mit den gemessenen Werten verglichen. Tabelle 44 zeigt eine Zusammenfassung der verfügbaren Eingabegrößen des Modells. Im Vergleich zu HDV4 sind diese Daten (inkl. der durch den OEM bereitgestellten Daten) umfangreicher. Dennoch haben diese Daten einen geringeren Grad an Details, als die vorgeschlagene Methode der CO₂-Zertifizierung erfordert.

Tabelle 44: Schema der mit den Daten von HDV6 durchgeführten Modellvalidierung

input data	source for validation exercise
steady state engine fuel map & transient correction factor	engine test bed (OEM data)
rolling resistance	constant speed tests (LOT2) ⁷
air resistance	constant speed tests (LOT2)
powertrain losses	fixed gear efficiencies (OEM data)
auxiliaries: drag functions	OEM data supplemented by literature values (LOT2)

Abbildung 39 zeigt die Abweichung der simulierten Kraftstoffverbrauchsergebnisse und des Drehmomentes an der Kardanwelle zu den gemessenen Werten. Hinsichtlich der Messung bei konstant gefahrenen 85 km/h auf der Versuchsstrecke liegen das gemessene und simulierte Drehmoment auf demselben Niveau. Der simulierte Kraftstoffverbrauch wird mit 3 % überbewertet. Während dieser 85-km/h-Konstantfahrt wird der Motor quasi stationär betrieben, wodurch die leichte Überbewertung des Kraftstoffverbrauches hauptsächlich durch den „Transienten-Korrektur“-Faktor von 1,02 erklärt werden kann, welcher auf die Simulation aller Fahrzyklen angewandt wurde. Alle übrigen Zyklen der Validierung von HDV beinhalten mehr oder weniger transiente Fahrbedingungen. Mit Ausnahme des „LOT2 Urban Cycle“, welcher auf dem Rollenprüfstand durchgeführt wurde, liegt der Unterschied zwischen gemessenen und simulierten Drehmoment in der Größenordnung der Messgenauigkeit.

Der simulierte Kraftstoffverbrauch unterbewertet die Messwerte grundsätzlich um etwa 5 %. Der hauptsächliche Anteil daran ist auf Verlustmechanismen zurückzuführen, welche in den Algorithmen des Modells nicht abgebildet sind (z. B. Schlupf an den Rädern, Kuppelvorgänge, Kraftstoffverbrauch bei Zwischengas). Ob noch weitere Modellelemente einzuführen sind, um die Anforderungen an den HDV-CO₂-Simulator zu erfüllen, muss mit den OEMs während der Pilotphase analysiert und diskutiert werden. Diese Elemente sind:

- Ranking und relative Quantifizierung verschiedener Fahrzeugkonfigurationen hinsichtlich des Kraftstoffverbrauches;

- Nennung realistischer absoluter Werte des Kraftstoffverbrauches für einzelne Fahrzeug-segmente, welche vom Verbraucher als Referenz für den Realverbrauch angenommen werden.

Aus unserer Sicht scheinen (kleine) Korrekturwerte, welche das Ranking zwischen den Fahrzeugen nicht beeinflussen, als nicht erforderlich, da exakte Werte für den Realverbrauch in keinem Fall bekannt sind.

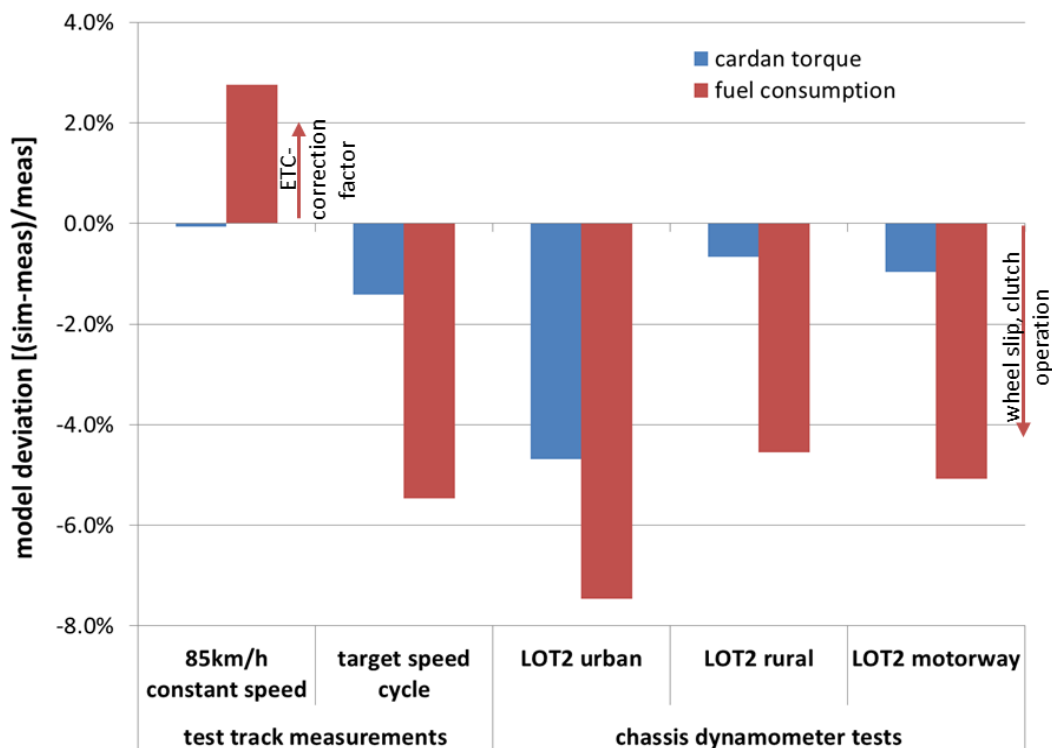


Abbildung 39: Abweichung der Simulationsergebnisse von dem gemessenen Drehmoment und Kraftstoffverbrauch

Schlussendlich ist zu bemerken, dass eine exakte Übereinstimmung von Simulation und Messung nicht erwartet werden kann. Selbst wenn das Modell alle relevanten Mechanismen (was in keinem Fall als praktikabel für die Typprüfung anzusehen ist) enthält, beeinflussen Unsicherheiten hinsichtlich der Unterschiede zwischen getesteter Komponenten den Vergleich mit den Simulationsergebnissen.

5 Anhänge

5.1 Details zu bestehenden Messstandards

Es sind weitere unterschiedliche Standards zur Bestimmung der Fahrwiderstandskurve von Fahrzeugen verfügbar. In den Anhängen des LOT2-Berichtes werden diese aufgelistet und mit Schlagwörtern kurz zusammengefasst.

5.2 Liste der Autoren

5.2.1 Zuordnung der Verantwortlichkeiten

- AVL-MTC: Wiederholbarkeit von PEMS-Tests
- Heinz Steven: Fahrzyklen
- LAT: Fahrzeugbestand, Laufleistungen und CO₂-Emissionen je Fahrzeugkonzept
- TNO: Normaufbauten und Auflieger sowie Anteil des Luftwiderstandes am Gesamtenergiebedarf
- TUG: Alles Übrige und Koordination
- TÜV-Nord: Internationale Gesetzgebung und Familienkonzepte
- VTT: Standardprozedur Rollenprüfstandsmessungen an HDV

Neben dem Bericht haben alle Partner Messungen in Ihren Laboren durchgeführt. Die Auswertung dieser Tests wurde hauptsächlich von der TUG durchgeführt.

5.2.2 Personen

Hausberger, Stefan; Department of Emissions, Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics (TUG), Graz University of Technology; AT-8010 Graz

Kies, Antonius; Department of Emissions, Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics (TUG), Graz University of Technology; AT-8010 Graz

Laine, Petri; Department of Engines and Vehicles, Finnish Technical Research Centre (VTT); FI-02150 Espoo

Nentwig, Stephan; Institute for Vehicle Technology and Mobility, German Technical Inspection Association / Group North (TÜV NORD); DE-45307 Essen

Rexeis, Martin; Department of Emissions, Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics (TUG), Graz University of Technology; AT-8010 Graz

Samaras, Zissis; Laboratory of Applied Thermodynamics (LAT), Mechanical Engineering Department, Aristotle University; GR-54124 Thessaloniki

Sandström-Dahl, Charlotte; Unit of Air Quality, Motortestcenter, List Research Company for Internal Combustion Engines (AVL-MTC); SE-13623 Haninge

Schulte, Leif-Erik; Institute for Vehicle Technology and Mobility, German Technical Inspection Association / Group North (TÜV North); DE-45307 Essen

Steven, Heinz; Heinz Steven Company for Data Analysis and Consultancy; DE-52525 Heinsberg

Verbeek, Ruud; Department of Environmentally Sustainable Transport, Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO); NL-2600CK Delft

5.3 Literatur

1a. **Hill, N. et al.** *Reduction and Testing of Greenhouse Gas (GHG) Emissions from Heavy Duty Vehicles Lot1: Strategy*. Didcot: AEA, 22 Feb 2011.

1b. *European Commission / DG Climate Action: N° 070307/2009/548300/SER/C3 – Reduction and testing of Greenhouse Gas Emissions from heavy duty vehicles - LOT2. Development and testing of a certification procedure for CO₂ emissions and fuel consumption of HDV*

2. **Rexeis, M.** *Ascertainment of Real World Emissions of Heavy Duty Vehicles*. Graz: Technische Universität, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, Oct 2009. Doctoral thesis.

3. **ACEA Workgroup CO2-HDV.** *White Book CO2 declaration procedure HDV, Status October 2011*. Bruxelles: Association des Constructeurs Européens d'Automobiles (ACEA), 3 Nov 2011.

4. **Bode, M. et al.** *Der Reifenrollwiderstand von Nutzfahrzeugen*. Hannover: 13th VDI Congress Tires-Chassis-Road, 25/26 Oct 2011.

5. **Vincken, D.** *Der Reifen. Rollwiderstand und Kraftstoffersparnis*. Karlsruhe: Michelin, 2005. ISBN 2067116584.

6. *Greenhouse Gas Emissions Standards and Fuel Efficiency Standards for Medium- and Heavy-Duty Engines and Vehicles*. **EPA-HQ-OAR-2010-0162**. 179, Washington D. C.: Office of the Federal Register, Sep 15, 2011, Federal register, Vol. 76, pp. 57106-57513. ISSN 0097-6326.

7. **Devesa, A. et al.** *Verbrauchsreduktion an Nutzfahrzeugkombinationen durch aerodynamische Maßnahmen*. Berlin: Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT), 2 Nov 2011. FAT-Schriftenreihe Nr. 237.

8. *Heavy-Duty Regulations*. Washington D. C.: United States Environmental Protection Agency, 19 Nov 2011. Entry on homepage.

9. **EPA-420-B-10-039.** *Greenhouse gas Emissions Model (GEM) User Guide*. Washington D. C.: United States Environmental Protection Agency, Oct 2010.

10. *Automobile Type Approval Handbook for Japanese Certification*. Tokyo: Japan Automobile Standards Internationalization Centre (JASIC), 2010.

11. *Motor Vehicle Statistics of Japan 2010*. Tokyo: Japan Automobile Manufacturer Association (JAMA), Sep 2010. www.jama-english.jp/publications/MVS2010.pdf.

12. **Zheng, T. et al.** *Development of Fuel Consumption Test Method Standards for Heavy-Duty Commercial Vehicles in China*. Warrendale: SAE International, 2011. SAE-no. 2011-01-2292.

13. **Verbeek, R. et al.** *Brandstoffen voor het wegverkeer*. Delft: TNO & CE, 9 Jun 2011. report no. TNO-RPT-2011-00607

14. **Ntziachristos, L. et al.** *European Database of Vehicle Stock for the Calculation and Forecast of Pollutant and Greenhouse Gases Emissions with TREMOVE and COPERT*. Thessaloniki: Aristotle University, Laboratory of Applied Thermodynamics (LAT), 2 Jul 2008. report no. 08.RE.0009.V2.
15. **van Raemdonck, G. et al.** *Truck Aerodynamics. An overview of solutions for reducing aerodynamic drag*. Delft: TU Delft & CINTEC, Jan 2009.
16. **Reithmaier, W. et al.** *Determination of rolling noise and rolling-resistance coefficients and conduct of wet surface brake tests on utility-vehicle tires*. München: TÜV Automotive GmbH, Tire/Wheel Test Center, Dec 2000. report no. UBA-FB 299 54 114.
17. **Kytö, M. et al.** *Heavy-duty vehicles: Safety, environmental impacts and new technology*. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland, Jun 2009. report no. VTT-R-04084-09.
18. **Gurtner, R. et al.** *Ringvergleich. Abgasmessung auf Fahrzeugprüfständen in österreichischen Prüflabors*. Graz: FH Joanneum, 2011.
19. **Hausberger, S. et al.** *Test of fuel efficiency improvements in the HDV sector from improved trailer and tire designs by application of a new test procedure. Carried out under contract of ICCT and VDA*. Graz: Graz University of Technology, Institute for ICE and Thermodynamics, Department Emissions, 15 Dec 2011. Report no. I-24/2011 Hb-Em 18/11/679.
20. **Lunanova, M.** *Optimierung von Nebenaggregaten*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, Jan 2009. ISBN 9783834807304.

5.4 Liste der Abkürzungen

%fso	3. Prozent bez. auf Skalenendwert
%rdg	4. Prozent Ablesewert
$\partial v_{veh}/\partial t$	5. Erste Ableitung der Fzg-Geschwindigkeit nach Zeit
α	6. Absolute Windrichtung bezogen auf Fahrtrichtung
χ	7. Koeffizient zur Reifendruckkorrektur
$\Delta h/\Delta s$	8. Streckengradient
Δh_j	9. Höhenunterschied im 20-s-Datensatz
$\Delta p_{tire,g-tt}$	10. Differenz des Reifenfülldruckes zwischen Werkstattbereich und Teststrecke
Δs_j	11. Zurückgelegte Distanz im 20s-Datensatz
Δt	12. Verzögerungszeitintervall eines Geschwindigkeitsintervalls
$\Delta T_{amb,g-tt}$	13. Differenz der Umgebungstemperatur zwischen Werkstattbereich und Teststrecke
Δv_{veh}	14. Geschwindigkeitsintervall
γ	15. Radlastkorrekturkoeffizient
ρ_{air}	16. Dichte der Luft
$\rho_{air,t,avrg}$	17. Durchschnittliche Dichte der Luft in den Reifen

ψ	18. Steigungswinkel
β	19. Gierwinkel zwischen Luftstrom und Fahrzeuglängsrichtung
A_{cr}	Querschnittsfläche des Fahrzeuges
A_m	konstante mechanische Widerstandskraft (Reifen und Triebstrang)
a_r	20. Seitenverhältnis
a_x	21. Fahrzeuglängsbeschleunigung
$a_{x,avrg,pos}$	22. Durchschnittliche Beschleunigung
$a_{x,max}$	23. Maximale Beschleunigung
b	Abhängigkeit des Luftwiderstandsbeiwertes auf Seitenwind
b_e	spezifischer Kraftstoffverbrauch des Motors in g/kWh
Benchmark	24. Benchmarkwert
$C_{2,3,4,5}$	Empirische Koeffizienten des Reifenrollwiderstandes
$C_{corr,air}$	25. Korrekturfaktor zur Beschreibung durchschnittlicher Realbedingungen
$C_{corr,roll}$	26. Korrekturfaktor zur Umrechnung von Prüftrommelergbnisse in Realergbnisse
C_d	27. Luftwiderstandsbeiwert (bezogen auf Längsrichtung)
$C_{d,y}$	28. Widerstandsbeiwert des Seitenwindes
C_{ref}	29. Korrekturfaktor auf Normbedingungen
C_{road}	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung von Straßen- statt Prüftrommelkontakt des Reifens
$C_{T,tire}$	30. Temperaturkorrektur des Reifenfülldruckes
$C_{T,tire,HDV}$	31. Temperaturkorrektur des Reifenfülldruckes für Nfz
d_{rim}	32. Felgennennweite
ECU	33. Motorsteuergerät
f_0	Konstanter Term der Widerstandskraft
$f_{2,meas}$	Quadratischer Term der Widerstandskraft unter Messbedingungen
F_{acc}	34. Beschleunigungswiderstand
F_{air}	35. Luftwiderstand (in Fahrzeuglängsrichtung)
F_{air} / F_{res}	36. Verhältnis des Luftwiderstandes zum ges. Fahrwiderstand
FC	37. Kraftstoffverbrauch
FC_w	Kraftstoffverbrauch als Prüfergebnis (evt. gewichtet)
F_{drag}	38. Summe von Roll- und Luftwiderstand
F_{grd}	Steigungswiderstand
$F_{in,gear}$	39. Trägheitskraft (gangabhängig)
F_{res}	Gesamtfahrwiderstand

F_{roll}	Rollwiderstand
$F_{roll,t}$	Horizontale Widerstandsgraft, verursacht durch Reifenrollwiderstand
F_{trac}	Zugkraft
F_z	Vertikale Achslast
$F_{z,i}$	Achslast der Achse i
$F_{z,w}$	Vertikale Achslast
g	Gravitationskonstante, 9,81 m/s ²
GVW	Zulässiges Gesamtgewicht
HDV	schweres Nutzfahrzeug (heavy duty vehicle)
i	Zeitindex von 1 Hz Daten i 20s-Daten
i_{axle}	Achsübersetzung
i_{gear}	Fahrgetriebeübersetzung
IRI	International roughness index für die Rauigkeit des Straßenbelags
j	Index des 20s-Datensatzes
J_{dt}	Massenträgheitsmoment des Triebstranges
J_{eng}	Massenträgheitsmoment des Motors
J_q	Massenträgheitsmoment der Triebstrangkomponente „q“
k	Korrekturkoeffizient hinsichtlich des Einflusses der Reifentemperatur auf den Rollwiderstand
K_{air}	Korrekturfaktor für den Luftwiderstand
K_{roll}	Korrekturfaktor für den Rollwiderstand
meas	Messbedingungen
MPD	Mittlere Profiltiefe (Mean profile depth)
$m_{rot,eq,gear}$	Äquivalente Masse der rotierenden Triebstrangkomponenten
$m_{rot,wh}$	Äquivalente Masse der rotierenden Räder
MTD	mittlere Texturtiefe (Mean texture depth)
m_{veh}	Gesamtfahrzugmasse inkl. Zuladung
n_1 to n_{20}	unterste 20% der Testergebnisse
n_{81} to n_{100}	oberste 20% der Testergebnisse
n_{CS}	Motordrehzahl im gewählten Gang bei entsprechender konstanter Geschwindigkeit
n_{idle}	Motorleerlaufdrehzahl
n_{norm}	Normierte Motordrehzahl
n_{rated}	Motornenndrehzahl
N_{wh}	Anzahl der Räder des Fahrzeuges

OEM	Original Equipment Manufacturer
p_{amb}	Umgebungsdruck
PEMS	Portable Emission Measurement System
PHEM	Passenger car and Heavy duty Emission Model
P_{rated}	Motornennleistung
P_{res}	Fahrwiderstandsleistung
p_{tire}	Reifenfülldruck bei kaltem Reifen
$p_{tire,dem}$	Erforderlicher Reifenfülldruck, abhängig von der Radlast
$p_{tire,ref}$	Durchschnittlicher Reifenfülldruck bei Norm-Umgebungstemperatur
PTO	Power Take Off
r_{drum}	Trommeldurchmesser
r_e	Effektiver Reifenabrollradius
ref	Referenzbedingungen
RPA	Relative Beschleunigung
RRC	Rollwiderstandsbeiwert
$R_{s,air}$	Spezifische Gaskonstante der Luft
r_{tire}	Reifendurchmesser
s_{air}	Anteil des Luftwiderstandes am Gesamtwiderstand
$sF_{z,i}$	Anteil der Achslast i am Fahrzeuggesamtgewicht
s_{roll}	Anteil des Rollwiderstandes am Gesamtwiderstand
T_{amb}	Umgebungstemperatur
$Tq_{in,ls,bearing}$	Drehmomentverlust der Lager bezogen auf Getriebeeingangswelle
$Tq_{in,ls,gear}$	Drehmomentverlust der Zahnradpaarung bezogen auf Getriebeeingangswelle (lastabhängig)
$Tq_{in,ls,idle}$	Drehmomentverlust der Zahnradpaarung bei Leerlauf bezogen auf Getriebeeingangswelle
Tq_{rl}	Fahrwiderstandsmoment (windkorrigiert)
$Tq_{wh,(l,r)}$	Antriebsmoment aller angetriebenen Achsen
Tq_{wh-l}	Gemessenen Radmoment, links
Tq_{wh-r}	Gemessenen Radmoment, rechts
v_{air}	Strömungsgeschwindigkeit der Luft
$v_{air,x}$	Strömungsgeschwindigkeit der Luft in Fahrtrichtung „x“
v_{avg}	Durchschnittsgeschwindigkeit
v_{max}	Maximale Geschwindigkeit
v_{nd}	Node-Velocity, Mitte eines Geschwindigkeitsintervalls

V_{veh}	Fahrzeuggeschwindigkeit
V_w	Windgeschwindigkeit
$V_{w,x}$	Windgeschwindigkeit parallel zur Fahrtrichtung
$V_{w,y}$	Windgeschwindigkeit senkrecht zur Fahrtrichtung
w	Nominelle Reifenbreite