

TEXTE

12/2019

Entwicklung und Bewertung von Maßnahmen zur Verminderung von CO₂-Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen

Abschlussbericht

TEXTE 12/2019

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3714 45 101 0
UBA-FB 002672

Entwicklung und Bewertung von Maßnahmen zur Verminderung von CO₂-Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen

Abschlussbericht

von

Christoph Heidt, Kirsten Biemann, Frank Dünnebeil, Marie Jamet, Udo
Lambrecht

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Heidelberg

Hans-Jörg Althaus, Philipp Wüthrich
INFRAS AG Forschung und Beratung, Bern

Stefan Hausberger
Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik
mbH, Graz

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

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

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH
Wilckensstr. 3
69120 Heidelberg

INFRAS
Sennweg 2
3012 Bern
Schweiz

Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und
Thermodynamik mbH
Infeldgasse 19
8010 Graz
Österreich

Abschlussdatum:

April 2018

Redaktion:

Fachgebiet I 2.2 Schadstoffminderung und Energieeinsparung im Verkehr
Andrea Fechter

Publikationen als pdf:

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

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Februar 2019

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

Kurzbeschreibung

Die Verkehrsleistungen des Straßengüterverkehrs sind in Deutschland in den letzten Jahren stark gestiegen. Die schweren Nutzfahrzeuge (SNF) machen heute ca. 27 % der CO₂-Emissionen des Verkehrs aus (Quelle: TREMOD). Im Zuge der Prognosen weiter wachsender Güterverkehre hat die EU-Kommission bereits im Jahr 2014 eine Strategie zu Reduktion der CO₂-Emissionen von SNF veröffentlicht. Die Politik hat bisher jedoch nur wenige Maßnahmen zur Umsetzung dieser Strategie eingeführt.

Verschiedene Untersuchungen zeigen, dass viele kraftstoffsparende Technologien für SNF zwar vorhanden sind, aber in der aktuellen SNF-Flotte kaum eingebaut werden. Grund hierfür sind diverse Hemmnisse, z. B. höhere Anschaffungskosten, fehlende Regulierungen für die Fahrzeugzulassungen etc. Die Einführung zusätzlicher politischer Instrumente könnte helfen, diese Hemmnisse zu überwinden.

In der vorliegenden Studie wird untersucht, welche potentiellen Instrumente zur Einführung von CO₂-Minderungstechnologien für SNF der Politik zur Verfügung stehen und wie diese ausgestaltet werden können. Dies beinhaltet die Einführung von CO₂-Flottengrenzwerten für neue SNF in der EU sowie unterstützende Maßnahmen, z. B. ein Förderprogramm für die Anschaffung effizienter SNF, eine Umstellung der Mautgebühren auf CO₂-Klassen, Effizienzlabels für Einzelkomponenten und weitere.

Zur Erfüllung der Klimaziele sollten SNF ab dem Jahr 2020 bis 2030 Verbrauchsreduktionen von ca. 3 % pro Jahr umsetzen. Parallel zur Einführung politischer Maßnahmen hat daher die Weiterentwicklung der CO₂-Zertifizierung für SNF mit dem Modell VECTO hohe Relevanz. Insbesondere sollte die Einbeziehung von Effizienztechnologien für Sattel-Auflieger und alternative Antriebe in VECTO zeitnah realisiert werden.

Abstract

Road freight transport has significantly increased in Germany in recent years. Heavy duty vehicles (HDV) account for approx. 27 % of the CO₂ emissions of transport (source: TREMOD). As forecasts assume a further increase in freight transport the EU Commission has already published a strategy for the reduction of CO₂ emissions from HDVs in 2014. However, so far few measures have been implemented in order to follow this strategy.

Different investigations show that various fuel saving technologies for HDVs exist but are rarely used in the current fleet. High incremental investment costs, missing regulations for vehicle approval, etc. are some obstacles o.a. which could be overcome by the implementation of additional policies.

The current study analysis which potential political instruments could foster CO₂ saving technologies, and how to design them. This includes the introduction of CO₂ emission standards for new HDV fleets in the EU and supporting measures, i.e. grant schemes for the purchase of efficient HDVs, a modification of the existing toll-system by taking CO₂ emissions into account, efficiency labels for vehicle components etc.

In order to achieve the climate targets HDVs should reduce their specific fuel consumption by approx. 3 % per year from 2020 onwards up to 2030. The development of the CO₂ certification system for HDVs with the VECTO model has a major importance in parallel to the implementation of political measures. Especially fuel saving technologies for truck bodies and trailers and alternative fuels should be implemented as soon as possible.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	10
Tabellenverzeichnis	12
Abkürzungsverzeichnis	14
Zusammenfassung	15
Summary	26
1 Ausgangslage	37
1.1 Einleitung und Zielstellung der Studie	37
1.2 Aktuelle Situation und politische Maßnahmen im SNF-Sektor	37
1.2.1 Entwicklung von Fahrleistung und Energieverbrauch schwerer Nutzfahrzeuge	37
1.2.2 Aktuelle politische Maßnahmen zur Reduktion der CO ₂ -Emissionen	39
1.2.3 CO ₂ -Zertifizierungsmethode und Einsatz von VECTO	40
1.2.3.1 Stand des CO ₂ -Zertifizierungsprozesses	40
1.2.3.2 Einsatz von VECTO für den CO ₂ -Zertifizierungsprozess	41
1.3 Potentiale Ansätze zur Senkung der CO ₂ -Emissionen von SNF	45
1.3.1 Technisches Potential zur Senkung der CO ₂ -Emissionen	45
1.3.2 Diskussion der Scopes der Bewertung inkl. alternative Antriebe	46
1.3.3 Hemmnisanalyse aus der Stakeholder-Befragung	48
2 Einführung von CO ₂ -Grenzwerten für schwere Nutzfahrzeuge in Europa	50
2.1 Bisherige Aktivitäten	50
2.2 Definition von CO ₂ -Grenzwerten	53
2.2.1 Regulierung von Gesamtfahrzeugen	53
2.2.2 Flottenzielwert statt Maximalgrenzwert	53
2.2.3 Fahrzeugklassen und Einsatzzweck	58
2.2.4 Bewertungsgröße	62
2.2.5 Bezugsparameter	64
2.2.6 Vorgaben für die Grenzwertermittlung	65
2.3 Einbeziehung von Aufbauten, Anhängern und Aufliegern sowie Umgang mit Ökoinnovationen	67
2.3.1 Regulierung von Aufbauten, Anhängern und Aufliegern	69
2.3.2 Anrechnung von Öko-Innovationen	73
2.4 Verifizierung und Überwachung	76
3 Szenarien zur Einführung von CO ₂ -Grenzwerten	78
3.1 Entwicklungen im Referenzszenario	79
3.1.1 Entwicklung der Verkehrsleistung	79

3.1.2	Entwicklung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs.....	80
3.2	Szenarien mit zusätzlichen Effizienztechnologien	81
3.2.1	Übersicht der technischen Minderungspotenziale	81
3.2.2	Einordnung der Effizienzpotenziale für SNF zur Erreichung der Klimaziele.....	84
3.2.3	Annahmen für die Szenarien	85
3.3	Ergebnisse	86
4	Analyse weiterer Maßnahmen	88
4.1	Vorbemerkung zur Auswahl und Bewertung der Maßnahmen.....	88
4.2	Wirkungsansatz – Finanzielle Anreize.....	89
4.2.1	Aufnahme von Herstellern für schwere Nutzfahrzeuge in das EU-Emissionshandelssystem	89
4.2.2	Förderprogramm zur Neubeschaffung effizienter LKW	92
4.2.3	CO ₂ -abhängige Zulassungsgebühr (Bonus-Malus)	96
4.2.4	CO ₂ - oder effizienzbasierte LKW-Maut	97
4.2.5	Berücksichtigung der CO ₂ -Intensität von Kraftstoffen bei der Energiesteuer	99
4.3	Wirkungsansatz – Rahmenbedingungen	102
4.3.1	Förderung Batterie-Ladeinfrastruktur.....	102
4.3.2	Förderung Werkstättenausbildung	103
4.3.3	Effizienzlabel/-klassen für Einzeltechnologien.....	104
4.3.4	Privilegien für alternative Antriebe in Innenstädten	105
4.4	Wirkungsansatz – Freiwillige Maßnahmen.....	106
4.4.1	Effizienzkriterien bei der öffentlichen Vergabe von Transportdienstleistungen bzw. bei der Beschaffung öffentlicher Fahrzeugflotten	106
4.4.2	Förderung herstellerunabhängiger Effizienzberater.....	110
4.5	Synergien und Wechselwirkungen	112
4.5.1	Gemeinsame Voraussetzung VECTO	112
4.5.2	Kompatibilität der Maßnahmen zu CO ₂ -Grenzwerten.....	113
5	Quellenverzeichnis.....	115
6	Anhang	119
6.1	LKW-Testzyklen in VECTO und Fahrzeugverifizierung	119
6.2	LKW-Grenzwerte: Übersicht USA + China.....	121
6.2.1	China.....	121
6.2.1.1	Grenzwertregelung	121
6.2.1.2	Testverfahren	123
6.2.2	USA	124
6.2.2.1	Grenzwertregelung	124

6.2.2.2	Testverfahren	129
6.2.3	Long-List politischer Maßnahmen.....	133
6.3	Leitfragen für Stakeholder	135

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Entwicklung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs ausgewählter SNF-Klassen im Bestand gegenüber dem Referenz-Szenario	20
Abbildung 2:	Entwicklung der direkten CO ₂ -Emissionen der SNF in Deutschland bis 2030 gegenüber dem Referenz-Szenario sowie Emissionen übriger Fahrzeuge nach UBA-Trend-Szenario	21
Abbildung 3:	Abhängigkeit der Maßnahmen von der CO ₂ -Zertifizierung	23
Abbildung 4:	Fahr- und Verkehrsleistungen im Straßengüterverkehr >3,5 t zGG in Deutschland zwischen 1990 und heute	38
Abbildung 5:	Anteile verschiedener LKW-Größenklassen an Fahr- und Verkehrsleistungen sowie Kraftstoffverbrauch des LKW-Verkehrs in Deutschland 2014	38
Abbildung 6:	Schema des Datenflusses und der Simulation in der SNF-CO ₂ -Zertifizierung	41
Abbildung 7:	Übersicht zu den Methoden der Komponententests	42
Abbildung 8:	Beispiel der Umweltwirkungen alternativer Antriebe beim Stadtverteiler LKW	46
Abbildung 9:	Schematische Darstellung der Verteilung der spezifischen CO ₂ Werte [g/tkm] einer Flotte innerhalb einer VECTO SNF-Klasse	57
Abbildung 10:	Klassifizierungsschema für N2 und N3	59
Abbildung 11:	Anteile der unterschiedlichen SNF-Klassen an den CO ₂ -Emissionen der SNF in der EU	60
Abbildung 12:	Beispiel zu einer "Veline" für einen LKW aus der VECTO Simulation	75
Abbildung 13:	CO ₂ -Minderungspotenziale kumuliert für Technologien für Sattelzüge im Fernverkehrsbetrieb über erwarteten Kfz-Mehrkosten nach Technologieklassen	83
Abbildung 14:	CO ₂ -Minderungspotenziale kumuliert für Technologien für Verteiler LKW im Verteiler-Betrieb über erwarteten Kfz-Mehrkosten nach Technologieklassen	84
Abbildung 15:	Entwicklung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs ausgewählter SNF-Klassen im Bestand gegenüber dem Referenz-Szenario	86
Abbildung 16:	Entwicklung der direkten CO ₂ -Emissionen der SNF in Deutschland bis 2030 gegenüber dem Referenz-Szenario sowie Emissionen übriger Fahrzeuge nach UBA-Trend-Szenario	87
Abbildung 17:	Energiesteuersätze für Diesel und Benzin in Europa (Stand 2015)	100
Abbildung 18:	Abhängigkeit der Maßnahmen von VECTO	112
Abbildung 6-1	Long Haul Cycle	119
Abbildung 6-2	Regional Delivery Cycle	120
Abbildung 6-3	Urban Delivery Cycle	120

Abbildung 6-4:	Grenzwerte schwerer Nutzfahrzeuge in China – Phasen 1 und 2 (Industry Standard und National Standard)	122
Abbildung 6-5:	Emissionsgrenzwerte für Sattelzugmaschinen (tractor) USA	126
Abbildung 6-6:	Emissionsgrenzwerte für Sattelzugmaschinen (tractors) USA in Abhängigkeit des „work factor“	128

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Minderungsraten des spezifischen Kraftstoffverbrauchs bei SNF in den Szenarien bis 2030	19
Tabelle 2:	Wirkebene und Wirkungsansätze ausgewählter Maßnahmen	22
Tabelle 3:	Zusätzliche Wirkung der Maßnahmen gegenüber CO ₂ -Grenzwerten	24
Tabelle 4:	Verbrauchsminderungen bei schweren LKW in der Vergangenheit aus verschiedenen Erhebungen	39
Tabelle 5:	Entwurf zur Definition von Normwerten für Referenzkraftstoffe in VECTO.	48
Tabelle 6:	Überblick über die CO ₂ -Grenzwert-Regulierungen für SNF in China, den USA und Japan	51
Tabelle 7:	Varianten zur Einbeziehung alternativer Antriebe in die CO ₂ -Regulierung schwerer Nutzfahrzeuge	63
Tabelle 8:	Methoden zur Ableitung der Grenzwerthöhe und deren Fortschreibung.....	66
Tabelle 9:	Übersicht zum Entwicklungsstand von VECTO (Juni 2017)	69
Tabelle 10:	Bestandsanteile verschiedener Aufbau- und Aufliegertypen (TUG, 2012)	71
Tabelle 11:	Berücksichtigung der Aufbauten	72
Tabelle 12:	Entwicklung der Transportleistung des Straßenverkehrs 2010-2030	79
Tabelle 13:	Entwicklung der Fahrleistungen (Mrd. km) 2010-2030	80
Tabelle 14:	Übersicht der technischen Minderungspotenziale bei SNF	81
Tabelle 15:	Übersicht zu Technologiepotenzialen an Sattelzügen nach Technologiekategorien	82
Tabelle 16:	Minderungsraten des spezifischen Kraftstoffverbrauchs bei SNF in den Szenarien bis 2030	86
Tabelle 17:	Wirkebene und Wirkungsansätze ausgewählter Maßnahmen	88
Tabelle 18:	Mögliche Varianten des Emissionshandels für SNF.....	90
Tabelle 19:	Änderung der Fahrzeug- und Kraftstoffkosten (in €) sowie der CO ₂ -Einsparung gegenüber einem Euro-VI-Fahrzeug pro Fahrzeug im Zeitraum von drei Jahren [UBA, 2015a].	93
Tabelle 20:	Zusätzliche Wirkung der Maßnahmen gegenüber CO ₂ -Grenzwerten	114
Tabelle 21:	Gewichtung der C-WTVC-Subzyklen für die Ermittlung des Treibstoffverbrauchs schwerer Nutzfahrzeuge in China (in %) Quelle: Zheng et al. 2011	124
Tabelle 22:	Grenzwerte für Sattelzugmaschinen, umgerechnet in g CO ₂ /tkm bzw. Liter/1000 tkm nach Kategorien und Baujahren (2014, 2017).....	126
Tabelle 23:	Grenzwerte für Dieselmotoren in Sattelzugmaschinen in g CO ₂ /kWh bzw. Liter/100 kWh nach Kategorien und Baujahren.....	127

Tabelle 24:	Grenzwerte für schwere und mittelschwere gewerbliche Nutzfahrzeuge, umgerechnet in g CO ₂ /tkm bzw. Liter/1000 tkm nach Kategorien und Baujahren	128
Tabelle 25:	Grenzwerte für Motoren in schweren und mittelschweren gewerblichen Fahrzeugen in g CO ₂ /kWh bzw. Liter/100 kWh nach Kategorien und Baujahren.....	129
Tabelle 26:	Gewichtung der Testzyklen für Sattelzugmaschinen.....	129
Tabelle 27:	Long-List politischer Maßnahmen	133

Abkürzungsverzeichnis

BEV	Battery electric vehicle
CF	Carbon Footprint
CFD	Computational Fluid Dynamics (numerische Strömungsdynamik)
CNG	Compressed Natural Gas, Erdgas
CO₂	Kohlenstoffdioxid
CO_{2e}	Kohlenstoffdioxid-Äquivalente
EPA	Environmental Protection Agency
HEV	Hybrid electric vehicle
HVAC	Heating, Ventilation, Air Conditioning
ICE	Internal combustion engine
Kfz	Kraftfahrzeug
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
LKW	Lastkraftwagen
LPG	Liquefied Petroleum Gas
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
PTO	Power Take-Off
SNF	Schwere Nutzfahrzeuge
THG	Treibhausgas
tkm	Tonnenkilometer
TREMOD	Transport Emission Model
TTW	Tank-to-wheel
VECTO	Vehicle Energy Consumption calculation TOol
WTT	Well-to-tank
WTW	Well-to-wheel

Zusammenfassung

Der Verkehrssektor ist heute für ca. 20 % der Treibhausgasemissionen in Deutschland verantwortlich [UBA, 2018]. Der Einsatz von SNF (LKW und Busse >3,5 t zulässiges Gesamtgewicht) nahm dabei in den letzten Jahren kontinuierlich zu. Im Jahr 2016 waren die SNF für ca. 27 % der THG-Emissionen des Verkehrs verantwortlich (Quelle: ifeu-Berechnungen mit TREMOD).

Das technische Potenzial zur Senkung der Treibhausgasemissionen schwerer Nutzfahrzeuge ist dabei bei weitem nicht ausgeschöpft. Viele Effizienztechnologien werden trotz ihrer Marktverfügbarkeit aufgrund verschiedener Hemmnisse (technologiespezifische, finanzielle und strukturelle) bisher kaum eingesetzt. Um diese Hemmnisse zu überwinden, sind politische Strategien erforderlich, welche Maßnahmen zur Information und Förderung sowie regulatorische Aspekte umfassen.

Die Europäische Kommission arbeitet daher an Strategien zur Reduktion der CO₂-Emissionen schwerer Nutzfahrzeuge und hat im Mai 2014 erste Eckpunkte dazu vorgelegt. Unter anderem wird auch die Einführung von CO₂-Grenzwerten für SNF diskutiert. Die konkrete Ausgestaltung und die Sinnhaftigkeit möglicher Regulierungen ist aktuell jedoch noch Gegenstand der Diskussion und umfasst viele offene Fragen.

Ziel der vorliegenden Studie ist die Analyse und Bewertung regulatorischer Maßnahmen, welche die Einführung von Fahrzeugtechnologien zur Senkung der fahrzeugspezifischen Treibhausgasemissionen unterstützen. Die Maßnahmenanalysen müssen einerseits den Aufwand zur Einführung und Kontrolle von Grenzwerten sowie der damit insgesamt erreichbaren Minderungswirkungen (Endenergie, Treibhausgasemissionen) umfassen, andererseits Aufwand und Wirkungen alternativer Maßnahmen bzw. Maßnahmenbündel bewerten und möglichen Grenzwertregelungen gegenüberstellen. Gerade bei alternativen Maßnahmen sind über Fahrzeug- bzw. Komponentenhersteller hinaus weitere Zielgruppen wie Fahrzeugbetreiber oder Besteller von Transportdienstleistungen einzubeziehen.

Aktuelle Situation

Aktuell gibt es nur sehr wenige politische Instrumente, um die CO₂-Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen zu begrenzen. Seit 2009/2011 gibt es eine EU-Regulierung zur Begrenzung und Kennzeichnung des Rollwiderstandes von Reifen (EU-Verordnungen 661/2009, 1222/2009, 1235/2011). Zudem ist Erdgas von der Energiesteuer befreit und es ist geplant, im Rahmen der europäischen AFID-Richtlinie ein Basisnetz von LNG-Tankstellen aufzubauen.

Auch die schadstoffklassenabhängige LKW-Maut kann zur Reduktion der Treibhausgasemissionen beitragen, da sie zu einer verstärkten Flottenerneuerung führt.

Allerdings gibt es für schwere Nutzfahrzeuge im Gegensatz zu PKW und leichten Nutzfahrzeugen bisher keine standardisierten CO₂-Kennwerte und auch keine CO₂-Grenzwerte. Durch die sehr große Modellvielfalt (durch Auswahlmöglichkeiten kann es über 1.000 verschiedene Varianten einer Modellreihe geben, die an verschiedene Anforderungen angepasst sind und jeweils nur geringe Stückzahlen haben) ist es nicht möglich, für alle Fahrzeugvariationen Prüfstandmessungen durchzuführen.

Deswegen hat die europäische Kommission ein standardisiertes CO₂-Zertifizierungsverfahren entwickeln lassen, bei dem der Verbrauch und die CO₂-Emissionen von neuen schweren Nutzfahrzeugen in dem Simulationsprogramm VECTO berechnet werden. Dies stellt die Voraussetzung für eine Einführung der später ausführlich betrachteten CO₂-Grenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge dar.

Weiterhin lässt derzeit das BMVI eine CO₂-abhängige LKW-Maut prüfen. Zudem wird derzeit ein befristetes Förderprogramm für LKW mit alternativen Antrieben (Elektro, Hybrid, Gas) mit einem Fördervolumen von 10 Millionen Euro zwischen BMVI und Bundesregierung abgestimmt (siehe auch Kapitel 4.2.2)[Handelsblatt, 2017].

Zentral für neue Maßnahmen ist, dass gleichermaßen die Steigerung der Energieeffizienz bei herkömmlichen LKW (Reduktion der Fahrwiderstände und Verbesserung des Antriebstranges) sowie die Einführung alternativer Antriebe und die Verbesserung der logistischen Prozessketten adressiert werden (siehe Kapitel: 1.3).

CO₂-Grenzwerte

Um das langfristige CO₂-Ziel der EU von -60% im Straßenverkehr bis 2050 bezogen auf 1990 auch für die SNF zu erreichen, müssten diese wegen des wachsendem Straßengüterverkehrs bis 2050 eine Reduktion der spezifischen CO₂-Emissionen von etwa 5% pro Jahr erreichen.

Nach aktueller Datenlage ist mit Effizienztechnologien für dieselbetriebene SNF eine Senkung der spezifischen CO₂-Emissionen der SNF um ca. 30% bis 40% gegenüber heutigen Neufahrzeugen wirtschaftlich erreichbar. Für darüber hinausgehende Minderungen wird die Nutzung alternativer Energien erforderlich (siehe Kap. 4.3.1).

Für die Klimaänderung sind natürlich die integral emittierten Treibhausgasmengen relevant. Daher sind so früh wie möglich hohe CO₂-Minderungen wünschenswert. Die Ausgestaltung einer Grenzwertgesetzgebung umfasst jedoch zahlreiche offene Punkte.

Die **Entwicklung des CO₂-Zertifizierungsverfahrens für SNF („VECTO“)** ist für konventionelle LKW und Zugfahrzeuge sehr weit fortgeschritten. Für Busse, alternative Antriebe und alternative Energieträger sind noch umfangreiche Arbeiten notwendig, bis diese in das Zertifizierungsverfahren integriert werden können.

Eine umfangreiche Studie der DG CLIMA zur Gestaltung zukünftiger CO₂-Grenzwerte von SNF ist seit Dezember 2016 in Arbeit, diese sollte alle wesentlichen Punkte, von Reduktionspotenzialen und Kosten bis zu möglichen Methoden zur Grenzwertgestaltung, umfassen.

Aktuell wären insbesondere folgende Aktivitäten im Zuge der VECTO-Entwicklungen in entsprechenden Projekten zu starten und umzusetzen:

- ▶ Weitere Ausarbeitung des Fahrzeugtests (Ex-Post-Validierung) für Nachprüfungen der Herstellerangaben durch unabhängige Organisationen; ein Entwurf dazu liegt vor, die Fertigstellung ist für Anfang 2018 geplant.
- ▶ Einbau von Hybrid-, PHEV- und EV-Antrieben sowie von WHR in die VECTO-Prozedur inklusive Erarbeitung standardisierter Testverfahren für die zugehörigen Komponenten (E-Motor, Energiespeicher).
- ▶ Weiterentwicklung des Verfahrens zur Simulation der Nebenaggregate von Bussen hin zu einer zertifizierungstauglichen Methode; dies könnte sinnvollerweise zusammen mit dem Hybridthema erfolgen, da dann auch elektrische Nebenaggregate dargestellt werden müssen.
- ▶ Ausarbeitung eines Verfahrens zur Bewertung alternativer Energieträger in VECTO (Strom, Wasserstoff) bezüglich der CO₂-Emissionen.
- ▶ Erweiterung der VECTO Methoden, um auch die Potenziale alternativer Antriebe und von Aufbauten und Aufliegern in der CO₂-Zertifizierung zu integrieren

Die zu **limitierende Einheit** sollte g CO₂/t-km bei Güterfahrzeugen bzw. g CO₂/P-km bei Bussen sein. Diese werden von VECTO bereits standardisiert erzeugt. CO₂ ist aus Umweltsicht für Limitierungen relevanter als der spezifische Energieverbrauch. Eine tank-to-wheel (TTW) Abgrenzung wäre für Dieselbetriebene SNF ausreichend.

Vorkettenemissionen (well-to-tank oder WTT) werden bei den bestehenden Fahrzeuggrenzwerten, z.B. für PKW oder SNF in anderen Ländern, nicht berücksichtigt sondern über separate Regulierungen, wie die Renewable Energy Directive (RED) oder Fuel Quality directive (FQD) tangiert. Diese gelten aktuell jedoch nur bis 2020. Zwar ist eine Erweiterung der RED bis 2030 geplant, welche in der aktuel-

len Entwurfsfassung ein Ziel von 12% erneuerbaren Energien im Verkehr vorgibt. Für den verbleibenden Hauptanteil fossiler Energien besteht jedoch kein Anreiz die Emissionen zu senken, z.B. durch Strom aus Gas- statt Kohlekraftwerken, Verzicht auf unkonventionelle Verfahren wie Fracking, etc. Hier könnte die Anrechnung von Vorkettenemissionen bei CO₂-Grenzwerten dazu beitragen diese Lücke zu schließen, was z.B. bei den EU-CO₂-Grenzwerten für PKW bisher versäumt wurde.

Um dennoch ein kompatibles System zu bisherigen TTW-Regulierungen zu haben, könnten alternative Energieträger (Strom, Wasserstoff, Erdgas) mit einem generischen, spezifischen CO_{2e}-Wert¹ beaufschlagt werden [g/kWh]. Dieser Werte kann sich an der Differenz der WTT-Emissionen zu Diesel orientieren und sich an zukünftigen Zielwerten (z.B. EU-Strommix 2030 oder 2050) orientieren, um ggf. ein Instrument zur verstärkten Einführung von Elektro- oder Wasserstofffahrzeuge zu ermöglichen. Damit hätten Hersteller solcher Antriebe anders als bei Nullemissionen dennoch einen Anreiz zur Effizienzsteigerung bezüglich Antrieb, Reifen, Aerodynamik, etc.

Die zu limitierenden spezifischen CO₂-Werte sollten die je Kfz-Klasse **gewichtete Mittelwerte aus den VECTO Ergebnissen für die verschiedenen Beladungen und Zyklen**, die VECTO berechnet, sein. Die Gewichtungsfaktoren sollten je SNF-Klasse fest vorgegeben sein.

Die Grenzwerte sollten auf die verkaufte Neuwagenflotte je Hersteller bezogen sein. Die Grenzwerte sollten je VECTO-SNF-Klasse getrennt eingeführt werden, da nur innerhalb dieser Klassen ausreichend homogene Fahrzeugeigenschaften bestehen.

Da einige preisgünstige CO₂-Minderungstechnologien für **Spezialfahrzeuge** (Kommunalfahrzeuge, Baustelleneinsätze usw.) im realen Betrieb nicht sinnvoll sind, wie etwa Dachspoiler, könnte ein entsprechend großer Prozentsatz der Flotte jedes Herstellers je SNF-Klasse von den Grenzwerten ausgenommen sein. Diese könnten einen eigenen Grenzwert mit Offset zu den Standardfahrzeug-Grenzwerten erhalten oder mit geringerer Gewichtung in die Flotte eingerechnet werden.

Die **Flottenzielwerte** je SNF-Klasse sollten fix vorgegeben werden (z. B. für die Jahre 2025, 2030 etc.). Dabei sind Verfahren zur Gutschrift bzw. Anlastung von Über- und Untererfüllungen der Zielwerte in verschiedenen Klassen denkbar. Die Grenzwerte sollten sich speziell zu Beginn an dem technischen Potenzial orientieren, bei dem die Mehrkosten der SNF noch durch Verbrauchsminderungen kompensiert werden. Um langfristige Ziele (z. B. -60 % CO₂ 2050/1990) zu erreichen, werden später ambitioniertere Grenzwerte notwendig sein. Diese sollten rechtzeitig diskutiert und angekündigt werden.

Da erst ab 2020 aus dem CO₂-Monitoring für die VECTO Klassen 4, 5, 9 und 10² Ergebnisse zum Neuwagen-CO₂-Niveau vorliegen werden, für die übrigen Klassen mit mindestens einem Jahr Verspätung, können absolute CO₂-Grenzwerte (g/t-km) vermutlich auch kaum vor 2020 fixiert werden. Jedenfalls sollte die mögliche und notwendige prozentuelle Reduktion der spezifischen CO₂ Emissionen für den Zeitraum ab 2020 gegenüber Modelljahr 2016 schon vorab politisch vereinbart werden.

In einer ersten Grenzwertephase sollten sich **jährliche CO₂-Minderungen** noch an vorwiegend konventionelle Technologien mit Amortisationszeiten von maximal 3 bis 4 Jahren orientieren, um die Flottenerneuerung nicht zu bremsen. Damit wären jährlichen Reduktionsraten von ca. 3 % nach heutiger Datenlage ein möglicher Rahmen für das nächste Jahrzehnt³.

¹ Neben CO₂ sollten hier auch weitere Treibhausgase, insbesondere CH₄ und N₂O, enthalten sein.

² Die Klassen 4 und 9 sind Solo-LKW mit 2 oder 3 Achsen und über 16t max. Gesamtgewicht. Die Klassen 5 und 10 sind Sattelzüge mit 2 oder 3 Achsen an der Zugmaschine.

³ In der Literatur werden auch höhere Potenziale angegeben, welche aber die Kombination aus LKW und Aufbau sowie Anhänger bzw. Zugmaschine und Auflieger berücksichtigen. Dieses Potenzial kann aber nicht in Grenzwerte für die LKW integriert werden, da diese in der Zertifizierung mit Normaufbauten und Normaufliegern gemessen werden.

Für weitreichende CO₂-Minderungen sind also in Zukunft neben Grenzwerten für die Fahrzeuge auch **Grenzwerte für Aufbauten, Anhängern und Reifen** notwendig. Bei Aufbauten und Anhängern wäre in einer ersten Phase zumindest eine vereinfachte Zertifizierung – im Vergleich zum Standardaufbau von VECTO – zu erwartenden Verbrauchsänderung mittels grober Abschlagswerte wünschenswert. Das relative Verhältnis zum Standardaufbau könnte später auch mit Grenzwerten belegt werden. Das kostspielige Messverfahren zur Bestimmung des Luftwiderstandes ist aber für die vielen Klein- und Mittelbetriebe im Aufbau- und Anhänger-Gewerbe kaum tragbar. Es müsste also vorab ein preiswertes Verfahren für diese spezielle Anwendung entwickelt werden. Dieses könnte Sattelaufleger und Anhänger in Boxform betreffen und die verkauften Reifen, die Ist-Masse und generische Cw-Reduktionen je nach verbautem Aerodynamikpaket beinhalten, um die relative CO₂-Minderung gegenüber dem Standardaufleger bestimmen zu können.

Maximalgrenzwerte könnten den administrativen Aufwand insbesondere für zahlreiche kleinere Hersteller für Aufbauten und Anhänger reduzieren. Alternativ könnten analog zu den Zugfahrzeugen Flottengrenzwerte eingeführt werden, um den unterschiedlichen CO₂-Minderungspotenzialen verschiedener Bauarten besser Rechnung zu tragen. Ausnahmen für Kleinbetriebe wären dann aber zu prüfen. Bei Reifen könnte zumindest vorgeschrieben sein, dass keine schlechtere Rollwiderstandsklasse nachgerüstet werden darf, als bei Auslieferung montiert war.

Da nur real erreichte CO₂-Minderungen die Klimaänderung mindern, braucht die CO₂-Zertifizierung **regelmäßige Kontrolle bezüglich der realen Effekte**. Dazu müssen in Zukunft die Ergebnisse des Monitorings mit Statistiken aus dem realen Verkehr verglichen und die VECTO Methoden bei zunehmenden Abweichungen angepasst werden. Das CO₂-Zertifizierungsverfahren und die VECTO-Software müssen auch regelmäßig für die Berücksichtigung relevanter, neuer Technologien erweitert werden. Eine Überprüfung der bestehenden Methoden für konventionelle Technologien auf Kompatibilität und Vergleichbarkeit mit neu eingeführten Technologien, speziell neuen Antrieben, und ggf. Anpassung der Methoden, muss ebenfalls vorgesehen werden. Ein allgemein gültiges Default-Beurteilungsverfahren für Technologien, die derzeit nicht erfasst sind, vorab zu erarbeiten, erscheint kaum realisierbar. Die Einführung eines Kontrollgremiums, das Anpassungsbedarf sammelt und z. B. im 6-Monatsrhythmus die einzuführenden Anpassungen beschließt, könnte eine sinnvolle Lösung sein.

Die Überwachung des CO₂-Zertifizierungsverfahrens sollte gesetzlich festgeschrieben werden und auf zwei Ebenen erfolgen, um Effekte wie bei PKW bekannt, zu vermeiden:

- ▶ Überwachung, dass die Hersteller die Verbrauchs- bzw. CO₂-Daten korrekt erzeugen (Ex-Post-Verifizierungsmethode ist als Entwurf verfügbar)
- ▶ Überwachung, ob das Testverfahren realistische Werte liefert (z. B. zweijährig Vergleiche von VECTO-Ergebnissen mit unabhängigen Real-World Verbrauchsdaten um eventuell steigende Differenzen früh zu erkennen).

Das Verfahren muss dann natürlich an neue Erkenntnisse zu Unzulänglichkeiten und an neue technologische Entwicklungen angepasst werden. Dafür muss eine dauerhaft arbeitsfähige Struktur geschaffen werden, die insbesondere ein ausreichendes Budget und klare Kompetenzverteilungen hat.

Szenarien zur Einführung von CO₂-Grenzwerten

Die Einführung von CO₂-Grenzwerten wurde anhand von drei Szenarien mit dem Zieljahr 2030 für den Bezugsraum Deutschland untersucht:

1. **Referenz-Szenario:** Es werden neben bereits beschlossenen Maßnahmen keine CO₂-Grenzwerte oder weiteren Maßnahmen umgesetzt. Zusätzliche Effizienztechnologien gegenüber dem Stand heutiger Fahrzeuge, werden bis 2030 standardmäßig verbaut, sofern sie be-

reits heute zulassungsfähig sind und sich innerhalb von 3 Jahren amortisieren. Damit reduziert sich der spezifische Kraftstoffverbrauch neuer SNF um ca. 0,5 % pro Jahr.

2. **CO₂-Grenzwert-Szenario:** Ab 2025 gelten europaweit CO₂-Flottengrenzwerte für SNF, ab 2030 werden diese verschärft. Die Zielwerte orientieren sich an dem Minderungspotenzial aller Technologien, welche in VECTO abbildbar und damit auch regulatorisch umsetzbar sind.
3. **Grenzwert Plus-Szenario:** Die im CO₂-Grenzwert-Szenario angenommenen Effizienzverbesserungen werden bereits 3 Jahre früher eingeführt. Dies setzt eine kurzfristige Erweiterung von VECTO voraus, um die nötigen Minderungspotenziale überhaupt regulatorisch erfassen zu können. Weitere Maßnahmen können den Einsatz der erforderlichen Effizienztechnologien zusätzlich unterstützen.

Die Ableitung der technischen Minderungen des Kraftstoffverbrauchs erfolgt einerseits unter Betrachtung der Minderungspotenziale bekannter Technologien sowie deren legislativer und wirtschaftlicher Umsetzbarkeit. Andererseits werden die erforderlichen THG-Minderungen zur Einhaltung der nationalen Klimaschutzziele und ein möglicher Beitrag der SNF diskutiert (sog. Backcasting-Ansatz). Basierend auf vorhergehenden Szenarien-Analysen des UBA [UBA, 2016] müsste die Effizienzverbesserung mindestens 1,3 % pro Jahr sein, wobei bekannte Effizienztechnologien deutlich höhere Minderungen zulassen. Diese Potenziale sollten soweit möglich ausgeschöpft werden, da eine alternativ dazu starke Fokussierung auf erneuerbare Kraftstoffe und Energieträger bis 2030 mit hohen Unsicherheiten verbunden ist. In einem ambitionierten Ansatz sollten die CO₂-Flottengrenzwerte so gestaltet sein, dass die SNF-Hersteller ab 2020 jährliche Reduktionsraten von ca. 3 % pro Jahr oder höher umsetzen müssen (siehe Tabelle 1). Dieses Potenzial besteht aber nur, wenn bis etwa 2020 Hybridantriebe, WHR und das Reduktionspotenzial an Aufbauten und Anhängern in der CO₂-Zertifizierung erfasst werden.

Tabelle 1: Minderungsraten des spezifischen Kraftstoffverbrauchs bei SNF in den Szenarien bis 2030

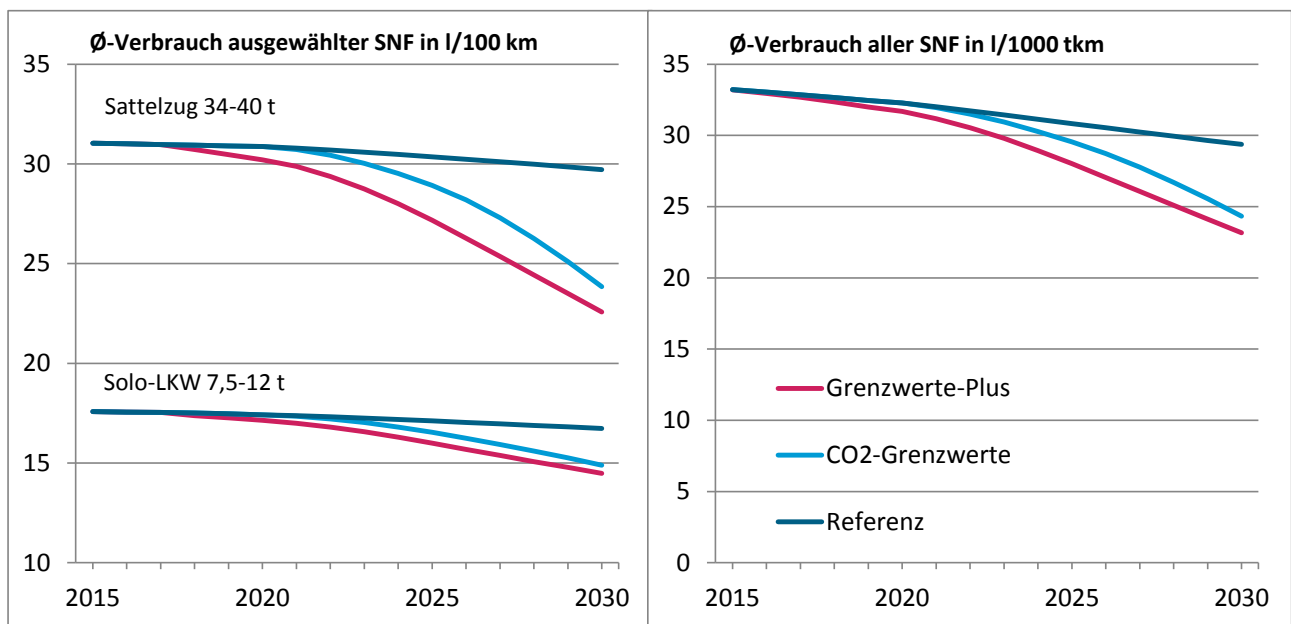
Szenario	Fahrzeug-Kategorie (TREMOT)	Minderung gegenüber einem Neufahrzeug 2015		Jährliche Reduktion		
		bis 2025	bis 2030	2015-2020	2021-2025	2026-2030
Referenz	Solo-LKW	-5 %	-7,5 %	-0,5 %	-0,5 %	-0,5 %
	Last-/Sattelzüge	-5 %	-7,5 %	-0,5 %	-0,5 %	-0,5 %
CO ₂ -Grenzwerte	Solo-LKW	-15 %	-27 %	-0,5 %	-3,3 %	-3,0 %
	Last-/Sattelzüge	-15 %	-38 %	-0,5 %	-3,3 %	-6,8 %
Grenzwerte-Plus	Solo-LKW	-17 %	-27 %	-1,3 %	-2,6 %	-2,6 %
	Last-/Sattelzüge	-23 %	-38 %	-1,3 %	-4,3 %	-4,3 %

Abbildung 1 stellt dar, wie sich der durchschnittliche spezifische Kraftstoffverbrauch der SNF zwischen 2015 und 2030 je nach Szenario entwickelt. Durch die Einführung von CO₂-Grenzwerten sinkt der mittlere Verbrauch deutlich stärker als im Referenzszenario. Die größten Minderungen finden bei den Sattelzügen statt, welche u. a. durch Roll- und Luftwiderstandsreduktion am Auflieger große Einsparungen realisieren können. Die angenommenen Verbesserungen sind aufgrund der noch offenen Zertifizierung der Anhänger und möglicherweise längeren Nutzungsdauern als eher optimistisch zu

werten⁴. Der mittlere Verbrauch der 40-Tonner geht somit von ca. 31 l/100 km im Jahr 2015 auf 24 l/100 km im Jahr 2030 zurück. Im Grenzwert+ Szenario sinkt der Verbrauch schon deutlich früher und liegt 2030 bei ca. 23 l/100 km.

Im Mittelwert reduziert sich der Verbrauch aller SNF im Referenz-Szenario von ca. 33 l/1000 tkm in 2015 auf knapp 29 l/1000 tkm in 2030, im Grenzwertszenario hingegen auf knapp 23 l/1000 tkm.

Abbildung 1: Entwicklung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs ausgewählter SNF-Klassen im Bestand gegenüber dem Referenz-Szenario



Quelle: ifeu, eigene Darstellung

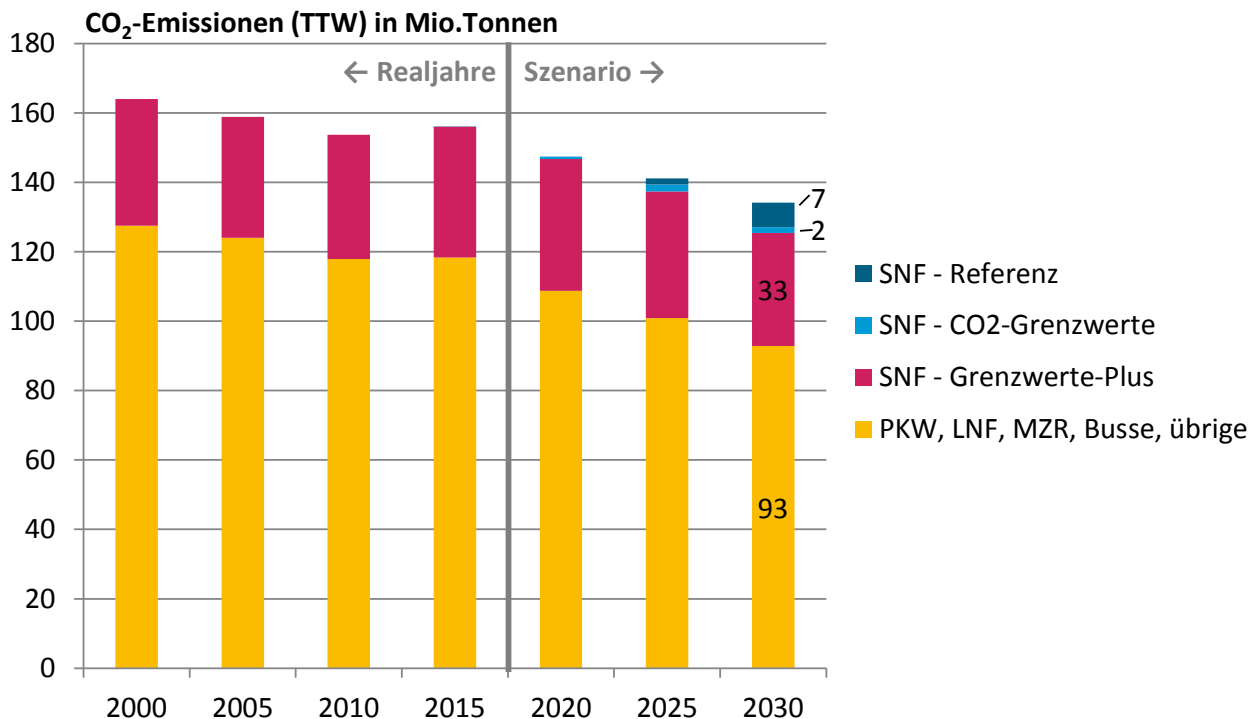
Wie Abbildung 2 zeigt, steigen im Referenz-Szenario die gesamten CO₂-Emissionen der SNF in Deutschland kontinuierlich auf bis zu 41 Mt CO₂ im Jahr 2030 an, während im übrigen Straßenverkehr die CO₂-Emissionen sinken (Quelle: UBA-Trendszenario, TREMOD 5.6 [ifeu, 2016a]). Im CO₂-Grenzwert-Szenario wird nach 2022 ein Wendepunkt erreicht, wonach die CO₂-Emissionen der SNF sinken. Gegenüber dem Referenzszenario wären die Emissionen im Jahre 2030 um 7 Mt CO₂ und im Grenzwert-Plus Szenario um 9 Mt geringer.

Aus den Zielen des „Klimaschutzplan 2050“ dürfte der gesamte nationale Verkehr im Jahr 2030 nur 98 Mt CO₂-Äquivalente emittieren (über alle Sektoren wurde für 2030 eine Menge von 563 Mt CO₂-Äquivalenten als Ziel-Wert festgelegt⁵). Dieser Zielwert würde laut Trendszenario im Jahr 2030 bereits beinahe mit den Emissionen des übrigen Straßenverkehrs von ca. 93 Mt CO₂ erreicht, zusätzlich fallen ca. 5 Mt CO₂ aus dem nationalen Schienen-, Schiff- und Luftverkehr an [UBA, 2016]. Dies verdeutlicht, dass in allen Verkehrs-Bereichen weitere Anstrengungen zur THG-Minderung zu leisten sind.

⁴ Der Einführung der neuen Technologien liegen die Neuzulassungen und Überlebenswahrscheinlichkeiten der Zugfahrzeuge zugrunde. Für Anhänger könnten diese langsamer in den Bestand kommen, sofern keine Nachrüstung möglich ist.

⁵ <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klimawandel/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#textpart-2>

Abbildung 2: Entwicklung der direkten CO₂-Emissionen der SNF in Deutschland bis 2030 gegenüber dem Referenz-Szenario sowie Emissionen übriger Fahrzeuge nach UBA-Trend-Szenario



Quelle: ifeu-Berechnungen mit TREMOD, Version 5.6. Emissionen ohne Vorkette; Biokraftstoffe mit Null gerechnet.

Der Unterschied zwischen den beiden Minderungsszenarien im Jahr 2030 ist zwar relativ gering, jedoch würde die frühere Einführung der CO₂-Grenzwerte eine deutliche Einsparung der kumulativen Emissionen ermöglichen. Von 2020 bis 2030 würden somit 45 Mt CO₂ weniger emittiert als im Referenzszenario und 18 Mt CO₂ weniger als im CO₂-Grenzwert-Szenario.

Vor dem Hintergrund der sektorspezifischen Klimaziele scheinen möglichst ambitionierte Effizienzsteigerungen bei SNF notwendig und gerechtfertigt. Den möglichen Einschränkungen einer kurzfristigen und ambitionierten Umsetzung von CO₂-Grenzwerten sollten jedoch auch weitere Maßnahmen gegenüber gestellt werden, welche die Nutzung effizienter Technologien bei SNF zusätzlich vorantreiben können.

Weitere Maßnahmen

In Abstimmung mit dem Umweltbundesamt wurde eine Auswahl von weiteren Maßnahmen untersucht, welche entweder alternativ oder ergänzend zu einer Grenzwertgesetzgebung umgesetzt werden könnten. Vielversprechende Ansatzpunkte für eine Ergänzung bieten insbesondere:

- ▶ Erschließung zusätzlicher Hebel, d. h. Wirkung auf Fahrbetrieb, Bestandsfahrzeuge (anstatt nur Neufahrzeuge), sowie Unterstützung von energiesparenden Komponenten, die VECTO derzeit begrenzt abbilden kann (Aerodynamik, Reifen, sparsame Nebenverbraucher, ...)
- ▶ zusätzliche Anreize für SNF-Betreiber zum Kauf und Einsatz effizienter Fahrzeuge, da Grenzwerte vorrangig die SNF-Hersteller betreffen
- ▶ gezielte Förderung von alternativen Antrieben und Kraftstoffen.

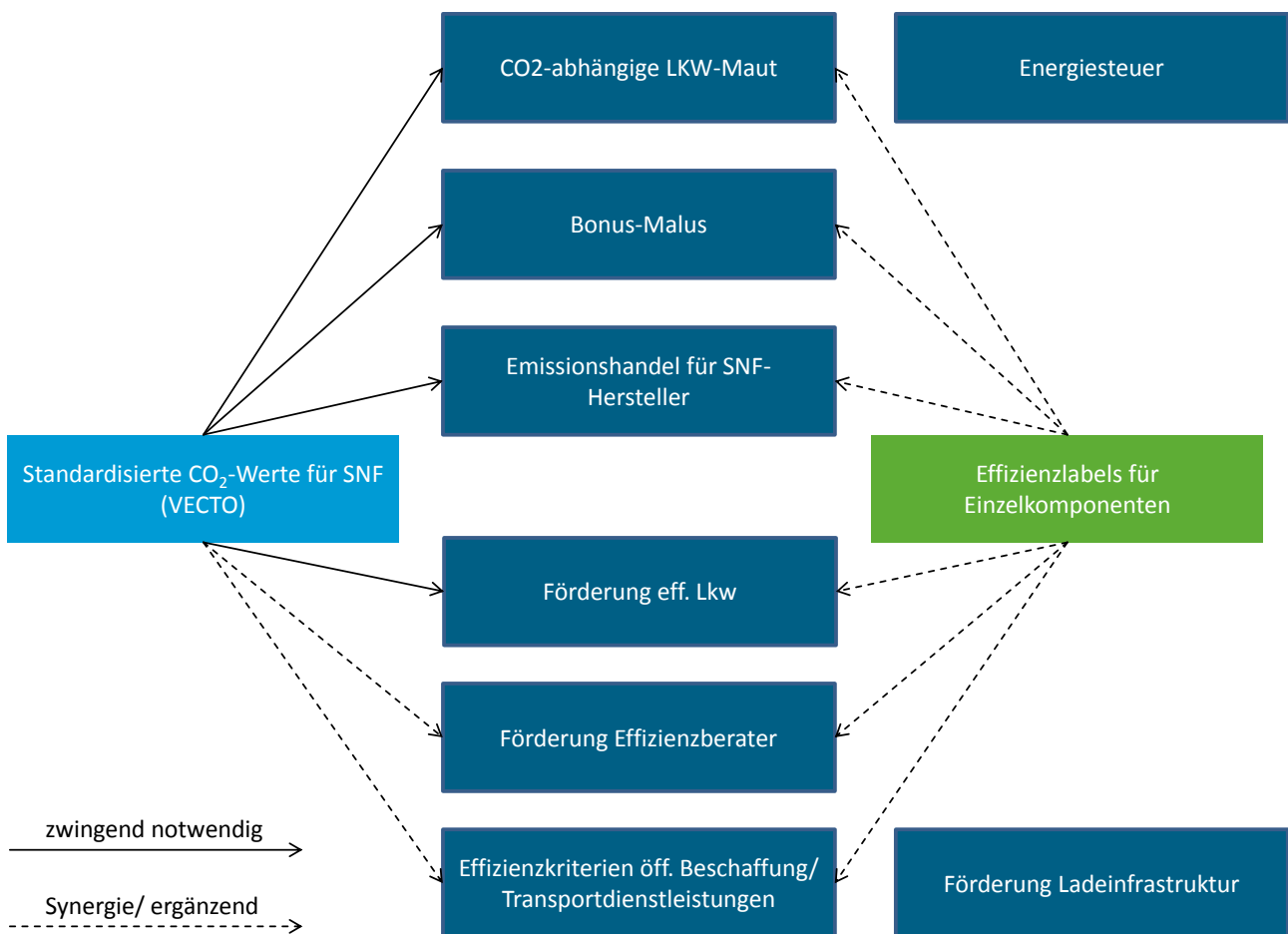
Tabelle 2 gibt eine Übersicht der von uns betrachteten Maßnahmen, geclustert nach den Wirkungsansätzen sowie der Wirkebene. Die einzelnen Maßnahmen werden in der Studie näher beschrieben und anschließend bewertet.

Tabelle 2: Wirkebene und Wirkungsansätze ausgewählter Maßnahmen

Anreiz für effiziente Fahrzeuge			Anreiz für effiziente Transporte	
Finanzielle Anreize	Einbezug in Emissionshandelssystem ETS			
	CO ₂ -Grenzwerte	Bonus-Malus-Regelung beim SNF-Kauf		Energiebasierte LKW-Maut
		Förderprogramm energieeffiziente SNF		Anpassung der Energiesteuer
		Ladeinfrastruktur für E-Fahrzeuge	Förderung Werkstat- tenausbildung	
		Effizienzlabels für Einzelkomponenten		
		Privilegien für alternative Antriebe		
Rahmen- bedingungen				
Freiwillige Maßnahmen	THG-Emission als Vergabekriterium für Fahrzeuge		THG-Emission als Vergabekriterium für Transporte	
	Effizienzberater			

Einen Überblick über die Abhängigkeiten der Maßnahmen zeigt Abbildung 3. Alle Maßnahmen, welche auf Effizienzkriterien für SNF zurückgreifen, sollten im Idealfall die standardisierten CO₂-Werte von VECTO nutzen. Der große Vorteil hierbei ist die Vergleichbarkeit und Technologieneutralität der Kriterien. Nachteil hingegen ist, wie anfangs erwähnt, dass VECTO (noch) nicht alle Technologien abbilden kann. Maßnahmen zur gezielten Förderung alternativer Antriebe, oder die Anpassung der Energiesteuer könnten jedoch auch unabhängig davon umgesetzt werden.

Die Schaffung von Effizienzlabels für bisher nicht abbildbare Einzeltechnologien bietet daher Synergien zu diesen Maßnahmen. Die so erarbeiteten Kennwerte könnten später auch in die Bewertung der gesamten Fahrzeuge mit VECTO einfließen. Zusätzlich wird für die Einbindung alternativer Antriebe eine Erweiterung von VECTO benötigt, um die Kraftstoff- bzw. Stromvorketten (bzw. eine komplette Lebenszyklusbetrachtung) abbilden zu können. Dazu sind eine Erweiterung sowie eine regelmäßige Weiterentwicklung von VECTO Grundvoraussetzung. Vorteilhaft wäre, wenn VECTO möglichst auch schon Hybridfahrzeuge und WHR abbilden könnte, da diese Technologien mögliche Kandidaten bei einer Fahrzeugförderung sind.

Abbildung 3: Abhängigkeit der Maßnahmen von der CO₂-Zertifizierung

Quelle: ifeu, eigene Darstellung

Synergien gibt es zwischen dem **Effizienzlabel für Einzeltechnologien** und den CO₂-Grenzwerten für SNF. In Verbindung mit der Fahrzeug-CO₂-Zertifizierung mittels VECTO könnten gelabelte Komponenten auch in ein CO₂-Grenzwertesystem für das Gesamtfahrzeug einbezogen werden. Analog wurde schon bei den Reifen vorgegangen, wo der Labelwert als Datengrundlage des Rollwiderstandes des Kfz in VECTO verwendet wird. Die Fahrzeughersteller haben damit weitere Freiheiten, Grenzwerte möglichst kostengünstig mit dem Gesamtfahrzeug bzw. in der Flotte darzustellen. Zudem unterstützen Effizienzlabel bei der Nutzung von Effizienzkriterien für die öffentliche Vergabe von Transportdienstleistungen und der öffentlichen Beschaffung von Fahrzeugen. Sie dienen (zusammen mit der CO₂-Zertifizierung für schwere Nutzfahrzeuge) dazu einem Effizienzberater eine fundierte Beratung hinsichtlich der Fahrzeugeffizienz zu ermöglichen.

Auch ein **Bonus-Malus System** könnte gut ergänzend zu den CO₂-Grenzwerten umgesetzt werden und mit einem hohen Bonus für alternative Antriebe (Hybrid- und Elektro-SNF) gekoppelt sein. Auch bei der **CO₂-abhängigen Maut** gibt es Synergien mit diesen CO₂-Grenzwerten, da dann die Flotten-CO₂-Emissionen planbarer wären. Allerdings dürfte bei ambitionierten Grenzwerten das verbleibende CO₂-Minderungspotenzial einer Maut sehr niedrig werden und vorwiegend zum Stimulieren der Flottenerneuerung dienen. Ein geschlossener Emissionshandel für schwere Nutzfahrzeuge stellt hingegen klar eine alternative Maßnahme zu CO₂-Flottengrenzwerten dar.

Alle CO₂-basierten möglichen Maßnahmen müssten ggf. auf schnellere Abnahmen der Flotten-CO₂-Werte abgestimmt werden. Bei einigermaßen ambitionierten Flottengrenzwerten besteht dann vermutlich der Vorteil, dass die Hersteller diese kaum übererfüllen und so die zu erwartenden CO₂-

Flottenwerte recht sicher vorhergesagt und Maut und Abgabe darauf (kostenneutral) abgestimmt werden können. Im Falle von zusätzlichen Einnahmen aus der LKW-Maut oder einem Bonus-Malus-System könnten diese in verschiedenen Fördermaßnahmen eingesetzt werden, bei der **Energiesteuer** wären solche zweckgerichteten Ausgaben hingegen rechtlich nicht möglich. Ein Vorteil der Energiesteueranpassung ist wiederum die Einbeziehung aller kraftstoffsparenden Technologien und Fahrzeuge unabhängig von VECTO.

Förderungsmaßnahmen zur **Schaffung einer Batterie-Ladestruktur** und andere Maßnahmen, die speziell auf den verstärkten Einsatz alternativer Antriebe abzielen, sind unabhängig zu sehen. Sie bieten aber vereinzelte Synergien zur **Förderung effizienter Neufahrzeuge** (speziell Elektro- oder Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge).

Die folgende Tabelle soll einen Überblick geben, welche zusätzlichen Hebel die Maßnahmen haben und welcher Mehrwert sich damit gegenüber einer alleinigen CO₂-Grenzwertgesetzgebung erwarten lässt. Zusätzliche Hebel bieten vor allem die Effizienzlabels, die LKW-Maut und die verschiedenen Förderungen. Vor allem letztere müssen jedoch darauf abgestimmt sein, ob sie in der EU zulässig sind oder zu Wettbewerbsverzerrungen führen, und ausreichende Gelder bei Bund/Ländern müssen dafür zur Verfügung stehen. Soweit zielführend und machbar, sollte dabei technologie-neutralen Lösungen der Vorzug gegeben werden.

Tabelle 3: Zusätzliche Wirkung der Maßnahmen gegenüber CO₂-Grenzwerten

Maßnahme	Flottenerneuerung	Transportvermeidung	Effizientere Komponenten	Alternative Energieträger	Effiziente Fahrweise
Einbeziehung SNF-Hersteller in das ETS		0	0	0	
Bonus-Malus beim Kauf von LKW		0	0	0	0
Förderung effiziente neue LKW	0		+	+	
CO ₂ -/energiebasierte LKW-Maut	+	0	0	0	+
Anpassung der Energiesteuer	0	+	+	+	+
Förderung Batterie-Ladeinfrastruktur			0	+	
Förderung Werkstat-tenausbildung					
Effizienzlabels für Einzeltechnologien			+	0	
Privilegien für alternative Antriebe		0	+	+	
Effizienzkriterien Vergabe/Anschaffung		0	0	+	0
Förderung Effizienzberater	0	0	0	0	0

+ zusätzliche Wirkung; 0 zusätzliche Wirkung abhängig von Ausgestaltung

Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

Die Voraussetzungen in VECTO und die laufenden Aktivitäten zum CO₂-Monitoring ermöglichen die Ausgestaltung und Festlegung von CO₂-Grenzwerten für SNF bis 2020. Die Umsetzung sollte daher zeitnah erfolgen, um die bereits abbildbaren Minderungspotenziale für neue SNF gegenüber heutigen Fahrzeugen bis 2025 oder schon früher umzusetzen. Dafür wären die Minderungspotenziale zu verifizieren und auf die einzelnen SNF-Klassen und Einsatzzyklen zu übertragen.

Werte für Referenzfahrzeuge aus dem CO₂-Monitoring können für die ab Anfang 2019 betroffenen SNF-Klassen (Fernverkehr-SNF) ab 2020 und für die anderen LKW ab 2021 verfügbar sein und müssen bei der Bildung von Grenzwerten berücksichtigt werden. Ggf. können vorab vereinbarte Grenzwerte dann auf dieser Basis angepasst werden.

Parallel müssen die notwendigen Messvorschriften zur Erfassung weiterer Minderungspotenziale, v. a. für Technologien am Auflieger, im Gesetz umgesetzt werden.

Ergänzende politische Maßnahmen zu CO₂-Grenzwerten können sinnvoll sein, um Effizienztechnologien bereits früher in die SNF-Flotte zu bringen. Dabei gilt es neben den SNF-Herstellern weitere Zielgruppen, z.B. SNF-Betreiber und Kunden, bei der Umsetzung zu adressieren. Die Maßnahmen können u. a. dort ansetzen, wo fehlende Messvorschriften oder VECTO den CO₂-Minderungsnachweis bisher limitieren. Synergien zu Grenzwerten würden sich hierbei beispielsweise durch die Einführung von Effizienzlabels für Einzeltechnologien, z. B. an Aufliegern oder Nebenaggregaten, ergeben. Solche Technologien könnten dann kurzfristig getrennt zur CO₂-Zertifizierung des Gesamtfahrzeugs bewertet werden, bis eine entsprechende Methode und die Komponentendaten in VECTO integriert werden können.

Die konkrete Ausarbeitung und Machbarkeit solcher Maßnahmen sollte detailliert untersucht werden, da die vorliegende Studie nur eine Übersicht dazu geben kann. Erste Analysen wurden zum Beispiel für die Maut-Umstellung und das Förderprogramm zur Anschaffung effizienter LKW durchgeführt. Solche Untersuchungen könnten auch für weitere vielversprechende Maßnahmen, z. B. eine Anpassung der Energiesteuer für Dieselmotoren, die Förderung von alternativen Antrieben im urbanen Lieferverkehr und Effizienzkriterien bei der Anschaffung von SNF und Vergabe von Transportdienstleistungen, durchgeführt werden. Die Minderungspotenziale solcher Maßnahmen sollten vor dem Handlungsbedarf zur Einhaltung der Klimaziele bewertet werden und die Machbarkeit mit den involvierten Akteuren zusammen erarbeitet werden.

Summary

The transport sector is currently accountable for 20% of greenhouse gas (GHG) emissions in Germany [UBA, 2018]. Commercial vehicles have experienced an operational increase in the past years, incl. trucks and busses >3.5t maximum permissible weight. In 2016 these heavy-duty vehicles generated 27% of total GHG emissions from the transport sector (Source: calculations by ifeu based on TREMOD).

The technical reduction potential of GHG emissions from heavy duty vehicles (HDVs) has not been exploited to its fullest. Several efficient technologies experience limited market penetration due to different barriers i.e. technology-specific, financial or structural. In order to overcome these obstacles political strategies are necessary ranging from informative measures or funding programmes to regulatory aspects.

The European Commission is currently developing a strategy to reduce CO₂ emissions of heavy duty vehicles. The first cornerstones were set in May 2014, including, among others, the introduction of CO₂ emission standards. The precise configuration and the sense of purpose of any potential regulation are still under discussion as several questions remain.

The goal of the present study is to analyse and evaluate regulatory measures to support the implementation of new technologies aiming at reducing the GHG emissions of vehicles. The analysis of these measures has to, on one hand, define the effort needed for introduction and monitoring of emission standards, as well as the results that can be achieved (in terms of final energy consumption as well as GHG). On the other hand it should assess the effort regarding, and the impact of, alternative measures (or packages of measures) and compare them to possible regulations defining limit values for CO₂. Apart from vehicle or components manufacturers, alternative measures should involve further stakeholders such as vehicle owners or the contractors of transport services.

Current situation

At present there are a limited number of instruments implemented to abate CO₂ emissions of heavy duty vehicles. Since 2009/2011 several EU regulations have been adopted concerning rolling resistance limitation and labelling of tyres (Regulation (EC) No 661/2009, 1222/2009 and 1235/2011). Moreover natural gas is exempt from tax, and there are plans to build a basic network of LNG refuelling stations within the context of the Alternative Fuel Infrastructure Directive (2014/94/EU).

Similarly the HDV toll charging vehicles based on air pollution level can help reduce GHG emissions, as it incentivises the renewal of the fleet.

However, contrary to passenger cars and light commercial vehicles, there is at present no standardised CO₂ labelling or CO₂ limit value for heavy duty vehicles. Conventional chassis dynamometer tests can hardly be applied due to the huge model diversity (by choice more than 1,000 versions can exist per model range, which are adapted to the needs of the costumer, with only a few units produced).

For this reason the European Commission is supporting the development of a standardised CO₂ certification process, based on the simulation software VECTO, which should enable calculating the fuel consumption and CO₂ emissions of HDVs. This is a precondition for the future introduction of a CO₂ emission standard for HDVs.

Furthermore the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure (BMVI) is examining the possibility to implement a CO₂-based HDV toll scheme. Moreover a funding programme of €10 million for HDVs build with alternative powertrains (electric, hybrid and gas) is currently under discussion between the BMVI and the federal government (see also chapter 4.2.2) [Handelsblatt, 2017]

A central point for new measures would to address both the improvement of energy efficiency in conventional trucks (reduction of driving resistances and optimisation of drivetrains) as well as the implementation of alternative drives and the improvement of logistic process chains (see chapter 1.3).

CO₂ emission standard

In order to also achieve the EU long-term target to reduce GHG emissions in road transport by 60% until 2050, compared to 1990, for HDVs, they would have to reduce their specific CO₂ emissions by 5% per year until 2050 to compensate for growing freight transport demand.

Current data indicate that, using efficient technologies, diesel-powered HDVs can achieve reductions in their specific CO₂ emissions of approximately 30% to 40% compared to present-day new vehicles, with beneficial total cost of operation. For higher reductions the use of alternative fuels is necessary (see chapter 4.3.1)

CO₂ reductions should be achieved as soon as possible as the current GHG emissions continue to impact climate change. However, the concrete configuration of CO₂ legislation faces numerous open issues.

The **CO₂ certification procedure (“VECTO”)** is already well developed for conventional trucks and tractor units. Work remains to be done for busses as well as alternative drives and energy sources until these can be integrated in the certification procedure.

An extensive study begun by DG Climate in December 2016 focuses on the design of future CO₂ emission standards for HDVs. It should cover the main points ranging from reduction potentials and costs to different methodologies of how to define emission limit values.

Currently the following activities should be undertaken and implemented within relevant projects running parallel to the development of VECTO:

- ▶ further elaboration of vehicle tests (ex-post validation) for the review of manufacturers' specifications by independent organisations; a draft is available, work should be finished by beginning of 2018;
- ▶ integration of hybrid, PHEV and EV drive trains as well as waste heat recovery (WHR) into the VECTO methodology, incl. the development of a standardised test procedure for associated components (e-motor, batteries);
- ▶ advancement of the procedure to simulate auxiliary units in busses leading up to an appropriate test method; this could be addressed alongside the integration of hybrids, as electric auxiliary units must be also be included;
- ▶ development of a procedure in order to assess alternative drives in VECTO (electricity, hydrogen) concerning CO₂ emissions;
- ▶ broadening of VECTO methodology regarding the integration of emission reduction potentials of alternative drives as well as vehicle bodies and trailers within the CO₂ certification process.

The **limit unit** should be g CO₂/t-km for freight vehicles or g CO₂/P-km for buses. These can already be produced in standardised fashion by VECTO. From an environmental point of view, CO₂ is more relevant for emission standards than specific energy consumption. A tank-to-wheel (TTW) assessment would be sufficient for diesel heavy duty vehicles.

Upstream emissions (well-to-tank or WTT) are currently not considered for CO₂ emission standards for passenger cars or existing CO₂ standards for heavy duty in other countries, but partly included in separate regulations such as the Renewable Energy Directive (RED) or the Fuel Quality Directive (FQD). However, these are currently only valid until 2020. The RED recast, covering the period 2020-2030, is currently under discussion, and sets a preliminary target of 12% renewable energy in transport. As of yet, there is no incentive to reduce emissions stemming from the remaining majority

of fossil energies, e.g. by producing electricity from gas instead of coal-fired power plants, avoidance of unconventional methods such as fracking, etc. Here the inclusion of upstream emissions in CO₂ emission standards could help close this gap, something that, for example, has not been addressed up to this point in EU limit values for passenger cars.

However, in order to have a compatible system with existing TTW regulations, alternative energy sources (electricity, hydrogen, natural gas) could be provided with a generic, specific CO_{2e} value⁶ [g/kWh]. These values may be based on the difference in WTT emissions to diesel and on future targets (for example, the 2030 or 2050 EU electricity mix), to allow, where appropriate, the introduction of measures fostering augmented introduction of electric or hydrogen vehicles. This would give manufacturers of alternative drives an incentive to increase efficiency in terms of drivetrains, tyres, aerodynamics, etc.

Each specific CO₂ emission standard per vehicle class should be based on the VECTO **weighted average value for different load and driving cycles** as computed by VECTO. The weighting factors should be given for each HDV vehicle class.

The emission standard should be based on the fleet of new vehicles sold by each manufacturer. Emission standards should be introduced separately for each VECTO HDV class, as only within these classes the necessary homogenous vehicle characteristics can be found.

Since some cost-effective CO₂ reduction technologies for **special purpose vehicles** (municipal vehicles, construction applications etc.) do not make sense for real-world operation, such as roof spoilers, a correspondingly large percentile of the fleet of each manufacturer according to vehicle category could be exempted. These vehicles could have their own emission standard, receiving an offset to the emission standard value, or they could be weighted with lower values within the fleet.

Fixed **fleet target values** per HDV class should be given e.g. for the years 2025, 2030 etc. It is possible to include credits or debits if goals are exceeded or not reached for different categories. At the beginning, emission standards should focus on technical potential for which there is a return on investment through fuel savings. In order to achieve long-term targets (for example -60% CO₂ 2050 vs. 1990), future emission standards need to be more ambitious. These should be discussed and announced in a timely manner.

Since the first results from the CO₂ monitoring of VECTO classes 4, 5, 9 and 10⁷ will only be available from 2020 onwards, and for the remaining classes with at least one year delay, absolute CO₂ emission standard values (g/t-km) can hardly be set before 2020. In any case, the possible and necessary reduction percentage of specific CO₂ emissions for the period from 2020 on compared to the base year 2016 should be politically discussed and defined in advance.

In a first limit-value phase, **annual CO₂ emissions reductions** should still be predominantly geared to conventional technologies with an amortisation time of maximum 3 to 4 years in order not to slow the fleet renewal. According to current data, annual reduction rates of about 3% would be a possible framework for the next decade⁸.

Therefore for far-reaching CO₂ emission reductions, **emission standard values for truck bodies, (semi-) trailers and tyres** will be necessary in the future, in addition to limit values for vehicles. A simplified certification – compared to the standard body/trailer method in VECTO – would be desira-

⁶ In addition to CO₂, further GHG, in particular CH₄ and N₂O, should also be included here.

⁷ Classes 4 and 9 are solo trucks with 2 or 3 axles and over 16t. Classes 5 and 10 are 2 or 3 axle articulated trucks.

⁸ The literature also indicates higher potentials. However, these are determined for the combination of truck and truck body as well as trailers or tractor unit and semi-trailer. This potential cannot be integrated into emission standard for trucks, as these are quantified in the certification process based on standard truck bodies and standard trailers.

ble for truck bodies and trailers in a first phase to provide expected fuel consumption reduction based on rough estimates. The relative ratio to the standard truck could also be verified later when defining emission standards. However, the costly test method for determining the air resistance is difficult to shoulder for many small and medium-sized companies producing (semi-)trailers. It would therefore be necessary to develop, in advance, a low-cost procedure. This could be applied to box trailers and include the tyres sold, the actual mass and generic C_w reductions depending on the aerodynamic package installed to determine the relative CO₂ reduction against a standard trailer.

Maximum values for emission standards could reduce the administrative burden especially for many smaller manufacturers of truck bodies and trailers. Alternatives similar to the CO₂ fleet targets for tractor trucks could be proposed in order to better take into account the different CO₂ reduction potentials of various truck designs. Exceptions for small businesses would have to be considered. In the case of tyres, it could for example be stipulated that rolling resistance values cannot worsen after retrofit compared to the initial vehicle.

Since real-world CO₂ reductions are key to mitigate climate change, **CO₂ certification needs regular monitoring of its actual effects**. In the future, the results of this monitoring will have to be compared with real-world values and the VECTO methods will have to be adjusted if high deviations are observed. CO₂ certification process and VECTO software must also be regularly amended to take into account relevant new technologies. A review of existing methods to assess conventional technologies must also be foreseen – and if necessary their adaptation – in order to ensure compatibility and comparability with new technologies, especially new drives. It seems hardly feasible to prepare a general default assessment procedure for technologies that are not currently covered. The introduction of a control committee would therefore be a sensible solution: it would compile information on needed adjustment and e.g. every 6 months decide upon the necessary adjustments.

The monitoring of the CO₂ certification process should be legally established and implemented at two levels in order to avoid negative effects as occurred in the passenger car sector:

- ▶ ensuring, that the manufacturers generate the consumption or CO₂ data correctly (ex-post verification method is available as draft);
- ▶ verifying whether the test method delivers realistic values (e.g. two-year comparisons of VECTO results with independent real world consumption data in order to detect early enough any differences).

The process must of course be adapted to new findings concerning imperfections and new technological developments. To achieve this, a sustainable, workable structure has to be created, which in particular has a sufficient budget and clear distribution of responsibilities.

Scenarios for the introduction of CO₂ emission standards

The introduction of CO₂ emission standard was investigated using three scenarios for Germany up to 2030:

1. **Reference Scenario:** No CO₂-emission standard or additional measures will be set up besides the ones already implemented. Additional efficiency technologies compared to those in current vehicles will enter the market by 2030 if they are currently already authorised, and can be amortised within 3 years. This reduces the specific fuel consumption of new HDVs by approx. 0.5% per year.
2. **CO₂ Emissions Standard Scenario:** From 2025 on, CO₂-fleet emission standards for HDVs apply across Europe, and these will be tightened from 2030 onward. The target values are based on the reduction potential of all technologies which can be mapped in VECTO and thus also be regulated.

3. **Emission Standard Plus Scenario:** The efficiency improvements assumed in the CO₂ Emission Standard Scenario are introduced 3 years ahead. This requires a short-term update of VECTO in order to assess the necessary abatement potentials on a regulatory level. As such an implementation appears to be very ambitious, further supporting measures would probably have to be introduced.

On one hand, deriving technical reductions in fuel consumption is enabled by considering the reduction potentials of known technologies, as well as their legislative and economic feasibility. On the other hand, a possible contribution of HDVs is discussed, considering the necessary reductions in GHG emissions to achieve national climate protection targets (the so-called backcasting approach). Based on previous scenario analyses carried out by the German Environment Ministry [UBA, 2016], the efficiency improvement should achieve at least 1.3% per year, although known efficiency technologies are permitting significantly higher reductions. These potentials should be exploited as much as possible since an alternative consist in focusing on renewable fuels and energy sources by 2030, which is associated with high uncertainties. In an ambitious approach, the CO₂ fleet emission standard values should be designed in such a way that HDV manufacturers have to implement annual reduction rates of approx. 3% per year or higher from 2020 on (see Table 1). However, this potential exists only if the CO₂ certification covers hybrid drives, WHR as well as the reduction potential of truck bodies and trailers by 2020.

Table 1 Reduction rates of specific fuel consumption at SNSF in the 2030 scenarios

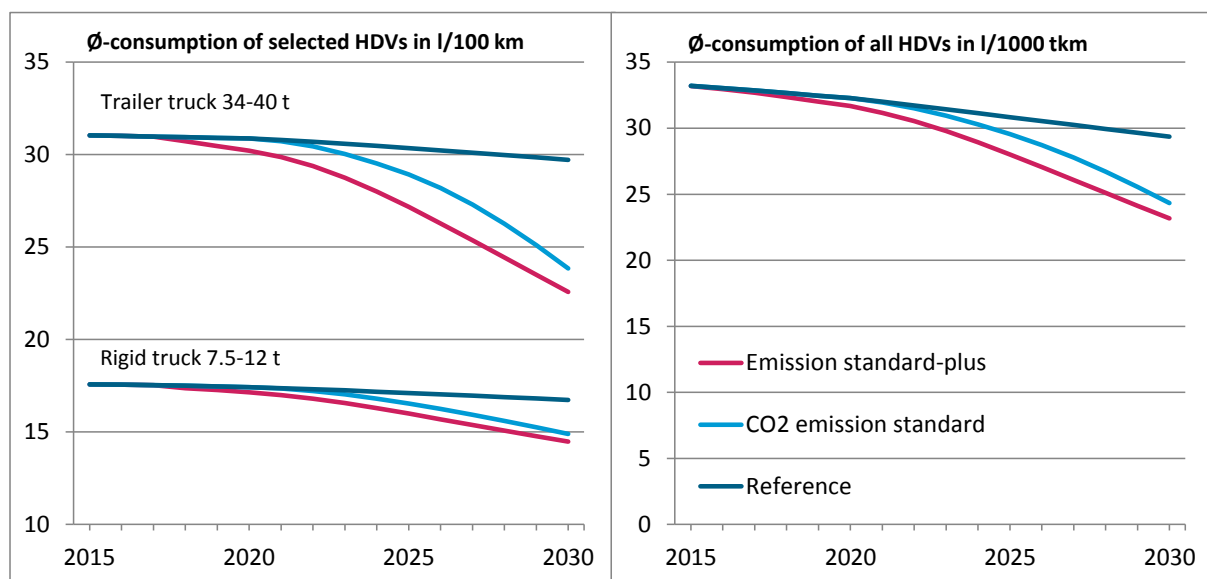
Scenarios	Vehicle categories (TREMOT)	Reduction vs. new vehicle 2015		Annual reduction		
		Up to 2025	Up to 2030	2015-2020	2021-2025	2026-2030
Reference	Rigid Truck	-5 %	-7.5 %	-0.5 %	-0.5 %	-0.5 %
	Articulated Truck*	-5 %	-7.5 %	-0.5 %	-0.5 %	-0.5 %
CO ₂ Emission Standard	Rigid Truck	-15 %	-27 %	-0.5 %	-3.3 %	-3.0 %
	Articulated Truck*	-15 %	-38 %	-0.5 %	-3.3 %	-6.8 %
Emission Standard Plus	Rigid Truck	-17 %	-27 %	-1.3 %	-2.6 %	-2.6 %
	Articulated Truck*	-23 %	-38 %	-1.3 %	-4.3 %	-4.3 %

*Note: including semi-trailer trucks

Figure 1 shows how the average specific fuel consumption of HDVs evolves between 2015 and 2030 for the defined scenarios. The average consumption declines faster with the introduction of CO₂ emission standard compared to the Reference Scenario. Semi-trailer trucks achieve the biggest reductions thanks to measures reducing rolling and air resistance on trailers. It must be noted that these savings are rather optimistic as the certification of trailers has not yet been defined, and their life expectancy could be higher⁹. The average consumption of a 40-t truck decreases from about 31 l/100 km in 2015 to 24 l/100 km in 2030. In the Emission Standard Plus scenario, the consumption drops earlier, reaching in 2030 about 23 l/100 km. On average, consumption in all HDVs in the Reference Scenario is reduced from approx. 33 l/1000 t-km in 2015 to just below 29 l/1000 t-km in 2030, while in the Emission Standard Plus Scenario it is reduced up to approximately 23 l/1000 t-km.

⁹ The introduction of new technologies is based on new registrations and life expectancy of trucks and tractors. Market penetration of trailers in the fleet may take longer unless retrofitting is possible.

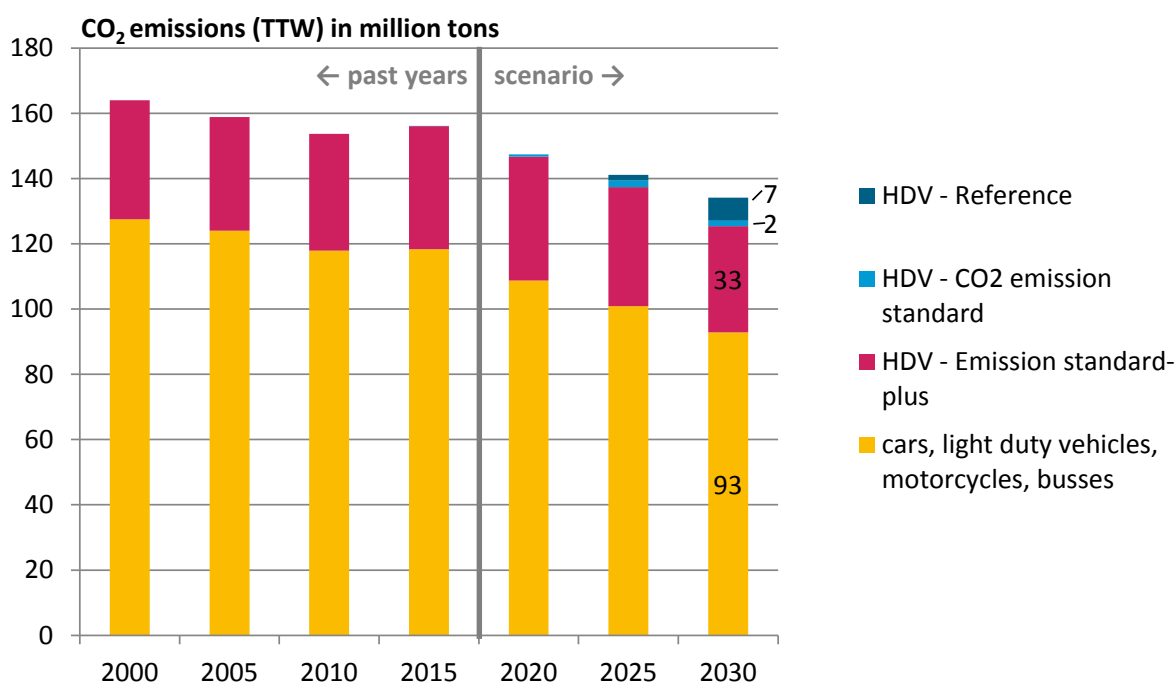
Figure 1: Development of the average specific fuel consumption of heavy duty vehicle (HDV) classes for the in-use population (stock) compared to the Reference Scenario



Source: ifeu, own figure

As shown in Figure 2, in the Reference Scenario, the total CO₂ emissions of HDVs in Germany continuously increase up to 41 Mt CO₂ in 2030, while the CO₂ emissions of the remaining vehicles in road transport will decrease (Source: UBA Trend Scenario, TREMOD 5.6 [ifeu, 2016a]). In the CO₂ Emission Standard Scenario, a turning point is reached beyond 2022, after which CO₂ emissions of HDVs decline. Compared to the Reference Scenario, CO₂ emissions would be respectively 7 Mt in 2030 and 9 Mt lower in the CO₂ Emission Standard Scenario and the Emission Standard Plus Scenario.

Figure 2: Development of the direct CO₂ emissions of HDVs in Germany until 2030 compared to the Reference Scenario and emissions of other vehicles in the UBA Trend Scenario



Source: ifeu calculations based on TREMOD, Version 5.6. Emissions excluding upstream, biofuels with zero emissions.

From the objectives of the "Climate Action Plan 2050", total national traffic in 2030 is expected to emit only 98 Mt CO_{2e} (across all sectors, a target of 563 Mt CO_{2e} was set for 2030). According to the Trend Scenario, in 2030 this target would almost be reached by the emissions of the rest of the road vehicles of about 93 Mt CO₂, and in addition about 5 Mt CO₂ will be generated by national rail, ship and air transport [UBA, 2016]. This shows that further efforts are needed across all transport sectors to reduce GHG emissions.

Although the difference between the two mitigation scenarios in 2030 is relatively small, the earlier introduction of CO₂ emission standards would save a significant amount of cumulated emissions. Thus, from 2020 to 2030, 45 Mt CO₂ would be saved compared to the Reference Scenario and 18 Mt compared to the CO₂ Emissions Standard Scenario.

Considering the sector-specific climate targets the most ambitious measures in favour of energy efficiency for HDVs seem necessary and justified. However, potential issues linked with a short-term and ambitious implementation of CO₂ emission standards should be contrasted with other measures that could also foster the use of efficient technologies for HDVs.

Further measures

In coordination with the Federal Environmental Agency (UBA), further measures, which could be implemented either alternatively or in addition to a compulsory CO₂ emission standard, were examined. Some promising starting points are in particular:

- ▶ development of additional levers i.e. effects on operation, vehicle stock (rather than just new registrations), as well as support of energy-saving components which can be only restrictively reflected in VECTO (aerodynamics, tyres, low consumption of secondary systems...);
- ▶ additional buying incentives for owners of HDVs and market penetration of efficient vehicles, as CO₂ emission standards primarily concern manufacturers;
- ▶ targeted promotion of alternative drives and fuels.

Table 2 gives an overview of the measures we examined, clustered according to their type and impact. Individual measures are described in detail in the study, and subsequently evaluated.

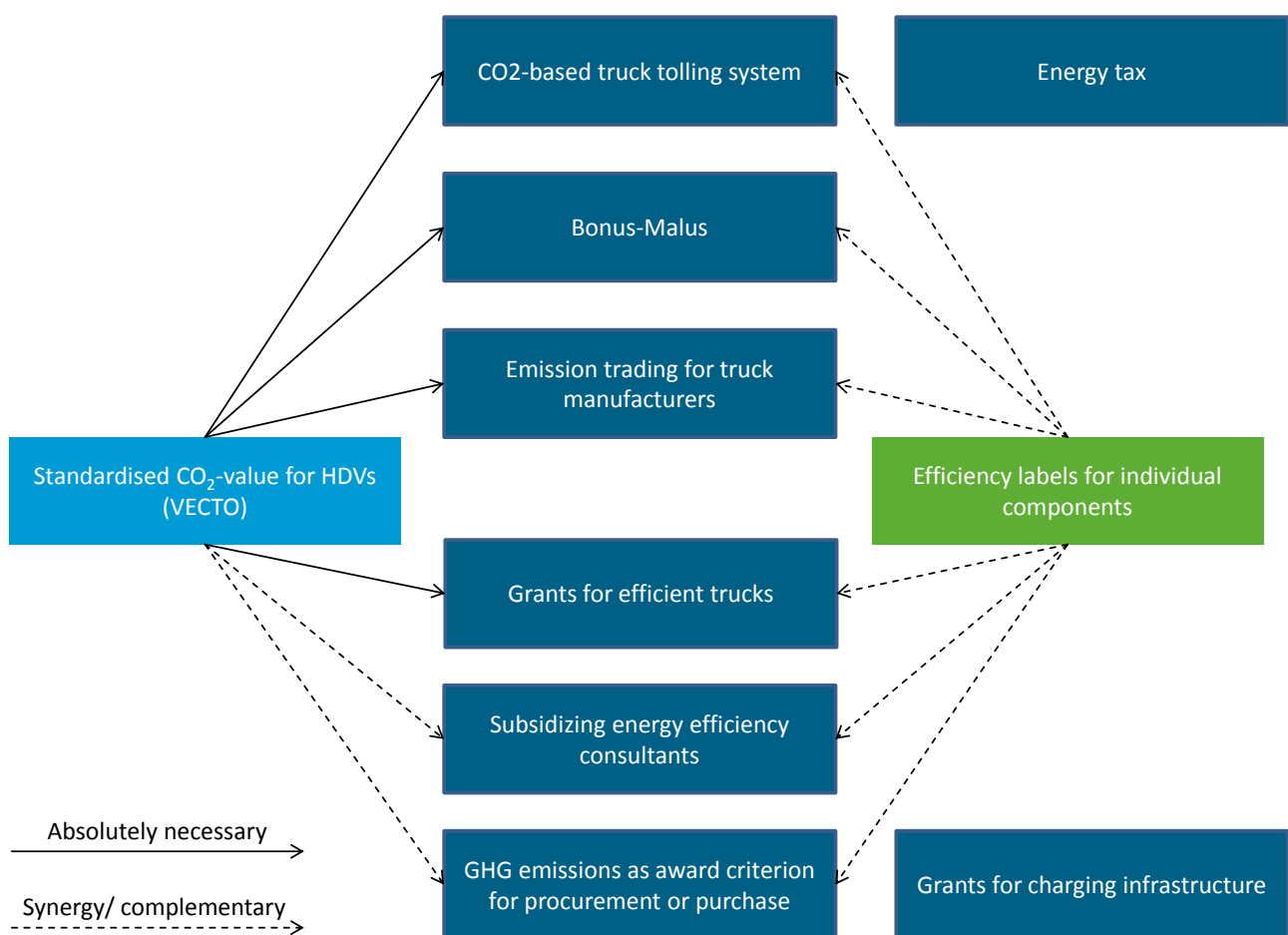
Table 2 Selected measures according to their type and their impact

	Incentives for efficient vehicles		Incentives for efficient transport
Financial incentives	Including truck manufacturers in the Emission Trading Scheme (ETS)		
	CO ₂ -emission standard	Bonus-Malus-Scheme for heavy duty vehicle purchase	Truck tolling based on energy consumption
		Support program for energy efficient heavy duty vehicles	Adjustment of the energy tax
		Charging infrastructure for e-vehicles	
		Promotion of training for garages	
Scoping measures		Efficiency labels for individual components	
		Privileges for alternative drives	
Voluntary measures	GHG emissions as award criterion for procurement		GHG-Emission as award criterion for purchase
	Energy efficiency consultants		

An overview of the dependencies of the measures is shown in Figure 3. All measures that use efficiency criteria for HDVs should ideally use the standardised CO₂ values of VECTO. The big advantage here is the comparability and technology neutrality of the criteria. The disadvantage, however, is, as mentioned previously, that VECTO cannot (for the moment) reproduce all technologies. However measures such as promoting alternative propulsion or adjusting the energy tax could be implemented independently.

The creation of efficiency labels for individual technologies that cannot yet be visualised offers synergies with these measures. The acquired specific values could later be used in the evaluation of entire vehicles by VECTO. In addition an upgrade of VECTO is necessary for the integration of alternative drivetrains in order to map upstream emissions of fuels or electricity (or a complete life cycle analysis). For this purpose, an upgrade as well as a regular further development of VECTO is a basic requirement. It would be advantageous if VECTO could include hybrid vehicles and WHR, since these technologies are included within support schemes for vehicles.

Figure 3: Interdependencies of measures for CO₂ certification



Source: ifeu, own figure

There are synergies between the **efficiency label for individual technologies** and the CO₂ emission standard for HDVs. Together with the vehicle CO₂ certification through VECTO, labelled components could also be included in a CO₂ emission standard system for the entire vehicle. A similar procedure has been used for tyres, where the label value is used as basic data for calculating the rolling resistance of the vehicle in VECTO. Vehicle manufacturers thus have more freedom and can achieve the emission

standards at the lowest price at both the vehicle and the fleet level. In addition, efficiency labels support the use of efficiency criteria in public procurement of transport services and vehicles. They are also valuable information on vehicle efficiency for energy consultants (together with the CO₂ certification for HDVs).

A **bonus-malus system** could also be implemented in addition to the CO₂ emission standard, and coupled with a bonus for alternative drives (hybrid and e-trucks). There are also synergies with CO₂ emission standards in the context of **CO₂-based tolls**, since the CO₂ emissions of the fleet would then be more predictable. However, with ambitious targets for CO₂ emission standards, the remaining CO₂ reduction potential of such a toll system is likely to be very low and would primarily serve to foster fleet renewal. By contrast, a closed emissions trading scheme for HDVs clearly represents an alternative measure to CO₂ emission standards for the fleet.

All possible CO₂-based measures would need to be adjusted for a faster lowering of the CO₂ emission standard. In the case of ambitious fleet limit values, manufacturers would hardly be able to exceed them and thus the CO₂ fleet values can be predicted quite reliably so that tolling and taxes can be adjusted accordingly (possibly at cost-neutral). If additional revenues are produced from a tolling or a bonus-malus system, these could be reinvested in various support measures, whereas the **energy tax** would not legally qualify for such targeted expenditure. An advantage of the adjustment of an energy tax, in turn, is the inclusion of all fuel-efficient technologies and vehicles independent of VECTO.

Promotional measures to **create a charging infrastructure** and other measures aimed specifically at increasing the use of alternative propulsion systems can be viewed independently. They nevertheless offer occasional synergies to the **promotion of efficient new vehicles** (especially for electric or plug-in hybrid vehicles).

The following table is intended to give an overview of additional levers that can be activated by the measures, and which added value can be expected compared to an isolated CO₂ emission standard. Additional levers can be brought especially by efficiency labels, a truck toll system and various funding programmes. The latter, especially, must be coordinated with regard to whether they are permissible in the EU or lead to distortions of competition, and sufficient funds must be available from the federal government or the federal states. As long as they are expedient and feasible, technology-neutral solutions should be preferred.

Table 3 Additional impact of selected measures against the CO₂ emission standard

Measure	Renewal of the fleet	Avoid transport	Efficient components	Alternative fuels	Efficient driving
Including truck manufacturers in the ETS		0	0	0	
Bonus-Malus for HDV purchase		0	0	0	0
Grants for energy efficient HDV	0		+	+	
Truck tolling based on energy or CO ₂	+	0	0	0	+
Adjustment of the energy tax	0	+	+	+	+
Grants for charging infrastructure			0	+	
Grants for training designed for garages					
Efficiency labels for components			+	0	
Privileges for alternative drives		0	+	+	
GHG criteria for procurement/purchase		0	0	+	0
Subsidizing energy efficiency consultants	0	0	0	0	0

+ additional effect; 0: additional effect depending on design

Conclusions and recommendations for action

The prerequisites in VECTO and the ongoing CO₂ monitoring activities make it possible to design and set CO₂ emission standards for HDVs by 2020. The implementation should therefore be quickly carried out in order to realize by 2025 or even earlier the available reduction potential for new HDVs compared to current models. For this, reduction potentials would have to be verified and transferred to individual heavy duty vehicle classes and operational cycles.

The values for reference vehicles derived from CO₂ monitoring may be available for HGVs classes, e.g. long-distance trucks from 2020 onwards and for other HGVs from 2021 onwards, and will have to be taken into account when establishing emission standard values. Pre-agreed values could if necessary be adjusted on this basis.

At the same time, the necessary measurement to record further reduction potential i.e. for technologies covering the semi-trailer, should be written into law.

Policy measures complementary to CO₂ emission standards could be sensible in order to foster earlier market penetration of efficiency technologies into the HGV fleet. In addition to truck manufacturers, there are other target groups to consider while designing the implementation e.g. HGV operators and customers. The measures could for example provide continuation where missing regulations on measurements or when VECTO itself impede the definition of CO₂ reduction certificate. Synergies with CO₂

emission standards would be achieved, for example, by introducing efficiency labels for individual technologies, e.g. on trailers or ancillary components. Such technologies could then be assessed individually in the short-term for the CO₂ certification of the entire vehicle, until a proper methodology and data on the components are integrated into VECTO.

The concrete preparation and feasibility of such measures should be examined in detail, as the present study can only give an overview. Initial analyses were carried out, for example, for the adaptation of the toll system and grants for the purchase of efficient trucks. Such studies could also be carried out for other promising measures, such as the adjustment of the energy tax of diesel fuel, the promotion of alternative drives in urban delivery traffic, the efficiency criteria for the acquisition of HGVs and the award criterion for procurement of transport services. The mitigation potential of such measures should be evaluated in respect to the achievement of climate targets before any action is taken. There should also be consideration regarding the feasibility of such measures by consulting the stakeholders involved.

1 Ausgangslage

1.1 Einleitung und Zielstellung der Studie

Der Verkehrssektor ist heute für ca. 20 % der Treibhausgasemissionen in Deutschland verantwortlich [UBA, 2018]¹⁰. Der Einsatz von SNF (LKW und Busse >3,5 t zulässiges Gesamtgewicht) nahm dabei in den letzten Jahren kontinuierlich zu. Im Jahr 2016 waren die SNF für ca. 27 % der THG-Emissionen des Verkehrs verantwortlich (Quelle: ifeu-Berechnungen mit TREMOD¹¹).

Das technische Potenzial zur Senkung der Treibhausgasemissionen schwerer Nutzfahrzeuge ist dabei bei weitem nicht ausgeschöpft. Viele Effizienztechnologien werden jedoch trotz ihrer Marktverfügbarkeit aufgrund verschiedener Hemmnisse (technologiespezifischer, finanzieller und struktureller) bisher kaum eingesetzt. Um diese Hemmnisse zu überwinden, sind politische Strategien erforderlich, welche Maßnahmen zur Information und Förderung, sowie regulatorische Aspekte umfassen.

Die Europäische Kommission arbeitet daher an Strategien zur Reduktion der CO₂-Emissionen schwerer Nutzfahrzeuge und hat im Mai 2014 erste Eckpunkte dazu vorgelegt. Unter anderem wird auch die Einführung von CO₂-Grenzwerten für SNF diskutiert. Ein erster Vorschlag seitens der EU-Kommission wird im 2. Quartal 2018 erwartet. Die konkrete Ausgestaltung und die Sinnhaftigkeit möglicher Regulierungen ist aktuell jedoch noch Gegenstand der Diskussion und umfasst viele offene Fragen.

Ziel der vorliegenden Studie ist die Analyse und Bewertung regulatorischer Maßnahmen, welche die Einführung technischer Maßnahmen zur Senkung der fahrzeugspezifischen Treibhausgasemissionen unterstützen. Die Maßnahmenanalysen müssen einerseits den Aufwand zur Einführung und Kontrolle von Grenzwerten sowie der damit insgesamt erreichbaren Minderungswirkungen (Endenergie, Treibhausgasemissionen) umfassen, andererseits Aufwand und Wirkungen alternativer Maßnahmen bzw. Maßnahmenbündel bewerten und möglichen Grenzwertregelungen gegenüberstellen. Gerade bei alternativen Maßnahmen sind über Fahrzeug- bzw. Komponentenhersteller hinaus weitere Zielgruppen wie Fahrzeugbetreiber oder Besteller von Transportdienstleistungen einzubeziehen. Vor dem Hintergrund der großen Vielfalt von Fahrzeuggrößen und -kombinationen sowie Einsatzzwecken mit unterschiedlichen Akteuren muss die Bewertung der Sinnhaftigkeit von Grenzwerten im Vergleich zu alternativen regulatorischen Maßnahmen auch spezifische Anforderungen in einzelnen Bereichen berücksichtigen.

1.2 Aktuelle Situation und politische Maßnahmen im SNF-Sektor

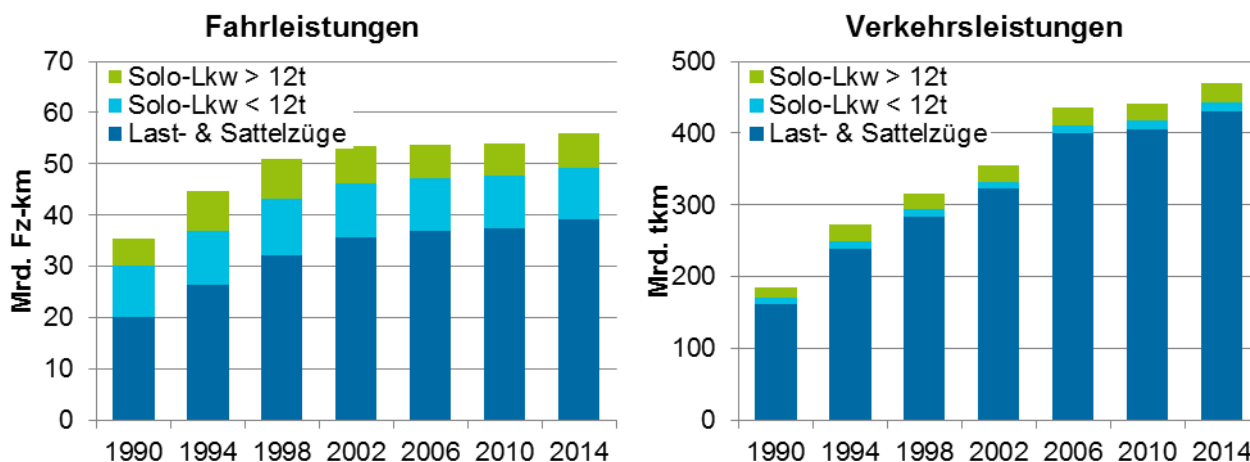
1.2.1 Entwicklung von Fahrleistung und Energieverbrauch schwerer Nutzfahrzeuge

Die Fahrleistungen bei den SNF haben zwischen 1990 und 2014 um 60 % zugenommen. Durch eine Verschiebung hin zu größeren Fahrzeugen haben sich die Verkehrsleistungen im selben Zeitraum mehr als verdoppelt [ifeu, 2016a], [BMVI, 2016]. Dabei liegt der Anteil von Last- und Sattelzügen bei 70 % der Fahrleistung (bzw. bei 92 % der Verkehrsleistung) der SNF.

¹⁰ Laut Treibhausgasinventarschätzung 2016 des Umweltbundesamtes betrugen die THG-Emissionen des Verkehrs 164,5 Mt CO₂e, die Gesamtemissionen liegen bei 795,9 MT CO₂e

¹¹ 45 MT CO₂. Basierend auf der TREMOD 5.71, ohne Emissionen der Energiebereitstellung und ohne Emissionen durch Biokraftstoffe, Korrektur nach Energiebilanz

Abbildung 4: Fahr- und Verkehrsleistungen im Straßengüterverkehr >3,5 t zGG in Deutschland zwischen 1990 und heute

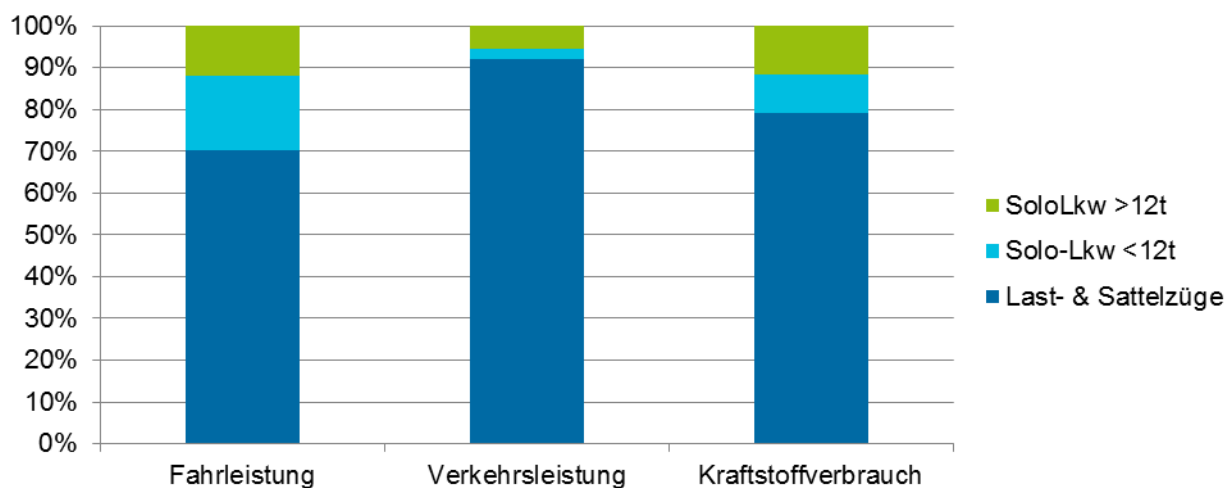


Quelle: ifeu, eigene Darstellung basierend auf TREMOD [ifeu, 2016a]

Auch in Zukunft kann von einer weiteren deutlichen Zunahme des LKW-Verkehrs ausgegangen werden, nach [BMVI, 2014] steigt dieser zwischen 2010 und 2030 um 40 %. Diese Zunahme ist einerseits auf eine Steigerung in den transportierten Waren und andererseits auf eine größere Attraktivität der Straßentransporte zurückzuführen. Massenguttransporte verlieren an Bedeutung, gleichzeitig gibt es mehr kleinteilige Sendungen mit kürzeren Zustellzeiten, bei denen die Bahn/das Schiff schlechter geeignet sind.

Diese Entwicklung spiegelt sich auch im Energieverbrauch des SNF-Verkehrs wider. Im Jahr 2014 hatten die gesamten LKW >3,5 t in Deutschland einen Kraftstoffverbrauch von 579 PJ, was einem Viertel des gesamten Energieverbrauches im Straßenverkehr entspricht. Dieser Energieverbrauch im SNF-Verkehr ist seit 1990 um 43 % gestiegen, was zu 35 % höheren CO₂-Emissionen geführt hat. Somit ist der SNF-Verkehr aktuell für etwas mehr als 25 % der CO₂-Emissionen des gesamten nationalen Verkehrs in Deutschland zuständig. Wie in Abbildung 5 dargestellt, erbringen Last- und Sattelzüge über 90 % der Verkehrsleistung im Straßengüterverkehr und sind für etwa 80 % des Kraftstoffverbrauches von SNF verantwortlich.

Abbildung 5: Anteile verschiedener LKW-Größenklassen an Fahr- und Verkehrsleistungen sowie Kraftstoffverbrauch des LKW-Verkehrs in Deutschland 2014



Quelle: ifeu, eigene Darstellung basierend auf TREMOD [ifeu, 2016a]

Typische Treibstoffverbräuche liegen heute für Sattelzüge im Fernverkehr bei etwa 30-35 l Diesel/100 km (je nach Beladung) [ifeu, 2016a]. In diesem Kontext sind Verbesserungen der Energieeffizienz und Verringerungen der Treibhausgasemissionen im Segment der Last- und Sattelzüge besonders wichtig. Doch auch die anderen LKW-Klassen können einen Beitrag leisten und dabei helfen, neue Technologien schneller in den Markt zu bringen.

Allerdings gab es in den letzten 20 Jahren kaum Verbesserungen bei den spezifischen Verbräuchen von Sattelzügen. Die Reduktionen werden jedoch je nach Quelle sehr unterschiedlich angegeben. Als Beispiel werden einige Verbrauchswerte der 40 t-Sattelzüge herangezogen.

- ▶ Mit VECTO ermittelte Verbräuche eines generischen Sattelzugs gehen von einem kontinuierlichen Rückgang von ca. 43 l/100km im Jahr 1989 bis zu 34 l/100 km in 2014 aus. Das entspricht einer mittleren jährlichen Reduktion von 0,8 % p. a.
- ▶ Eine Veröffentlichung der ACEA [ACEA, 2017] führt Messergebnisse an Sattelzug-Modellen verschiedener Hersteller von den 1990er Jahren bis heute auf. Die mittlere jährliche Reduktion der CO₂-Emissionen weist eine Bandbreite von 0,76 % bis 1,45 % auf. Eine weitere Untersuchung im Auftrag der ACEA [TML, 2015] kommt ebenfalls auf eine Reduktion von ca. 1 % p. a. seit 2005.
- ▶ Langjährige Tests verschiedenster Modelle durch lastauto omnibus [Eurotransport, 2014] wiederum veranschaulichen, dass sich der spezifische Verbrauch der schweren LKW seit 1990 kaum geändert hat und damals schon bei ca. 35 l/100 km lag. Die Vergleichbarkeit der herangezogenen Modelle im Hinblick auf Parameter wie max. Zuladung, Motorleistung etc. ist hierbei aber nicht ersichtlich.
- ▶ In TREMOD, welches auf den spezifischen Verbrauchsentwicklungen in HBEFA basiert, wird für die Vergangenheit ebenfalls von einer geringeren Reduktion des Kraftstoffverbrauchs ausgegangen. Auf Autobahnen lag der mittlere Verbrauch der 40-t-Sattelzüge in den 1980er Jahren bei 35 l/100 km und 2014 bei 30,5 l/100 km, was einer mittleren jährlichen Reduktion um ca. 0,4 % entspricht.

Tabelle 4: Verbrauchsminderungen bei schweren LKW in der Vergangenheit aus verschiedenen Erhebungen

Quelle:	VECTO	[ACEA, 2017]	[TML, 2015]	[Eurotransport, 2014]	TREMOD 5.63/ HBEFA 3.2
Zeitraum	1989 bis 2014	1991 bis 2016	2005 bis 2014	1966 bis 2014	1985 bis 2014
Mittlere Verbrauchsreduktion p. a.	-0,8 %	-0,76 % bis -1,45 %	-1 %	-0,8 % seit 1966 -0,4 % seit 1990	-0,4 %

1.2.2 Aktuelle politische Maßnahmen zur Reduktion der CO₂-Emissionen

Aktuell gibt es nur sehr wenige politische Instrumente um die CO₂-Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen zu begrenzen. Seit 2009/2011 gibt es eine EU-Regulierung zur Begrenzung und Kennzeichnung des Rollwiderstandes von Reifen (EU-Verordnungen 661/2009, 1222/2009, 1235/2011). Zudem ist Erdgas von der Energiesteuer befreit und es ist geplant, im Rahmen der europäischen AFID-Richtlinie ein Basisnetz von LNG-Tankstellen aufzubauen.

Auch die schadstoffklassenabhängige LKW-Maut kann zur Reduktion der Treibhausgasemissionen beitragen, da sie zu einer verstärkten Flottenerneuerung führt.

Allerdings gibt es für schwere Nutzfahrzeuge im Gegensatz zu PKW und leichten Nutzfahrzeugen bisher keine standardisierten CO₂-Kennwerte und auch keine CO₂-Grenzwerte. Durch die sehr große Modellvielfalt (durch Auswahlmöglichkeiten kann es über 1.000 verschiedene Varianten einer Modellreihe

he geben, die an verschiedene Anforderungen angepasst sind und jeweils nur geringe Stückzahlen haben) ist es nicht möglich, für alle Fahrzeuge Prüfstandmessungen durchzuführen.

Deswegen hat die europäische Kommission ein standardisiertes CO₂-Zertifizierungsverfahren entwickeln lassen, bei dem der Verbrauch und die CO₂-Emissionen von neuen schweren Nutzfahrzeugen in einem Simulationsprogramm berechnet werden (für Details dazu siehe Kapitel 1.2.3). Dies stellt die Voraussetzung für eine Einführung der später ausführlich betrachteten CO₂-Grenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge dar.

Weiterhin lässt derzeit das BMVI eine CO₂-abhängige LKW-Maut prüfen, welche in Kapitel 4.2.4 diskutiert wird. Zudem wird derzeit ein befristetes Förderprogramm für LKW mit alternativen Antrieben (Elektro, Hybrid, Gas) mit einem Fördervolumen von 10 Millionen Euro zwischen BMVI und Bundesregierung abgestimmt (siehe auch Kapitel 4.2.2)[Handelsblatt, 2017].

Zentral für neue Maßnahmen ist, dass gleichermaßen die Steigerung der Energieeffizienz bei herkömmlichen LKW (Reduktion der Fahrwiderstände und Verbesserung des Antriebstranges) sowie die Einführung alternativer Antriebe und die Verbesserung der logistischen Prozessketten adressiert werden (siehe nächstes Kapitel: 1.3).

1.2.3 CO₂-Zertifizierungsmethode und Einsatz von VECTO

1.2.3.1 Stand des CO₂-Zertifizierungsprozesses

Eine wesentliche Grundlage aller Maßnahmen zur Senkung der CO₂-Emissionen von SNF ist die standardisierte Erfassung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen sowie das Monitoring für alle auf den Markt kommenden Modelle. Dieses Kapitel gibt eine Übersicht über das Verfahren der CO₂-Zertifizierungsmethode für SNF, das in weiten Bereichen schon fest steht, und zeigt den Stand der Arbeiten für die noch offenen Bereiche.

In den sogenannten „LOT 1 bis LOT 4“-Projekten wurde seit dem Jahr 2010 im Auftrag der EU-Kommission (DG CLIMA) ein Verfahren zur Zertifizierung von Verbrauch und CO₂-Emissionen von SNF entwickelt. Ziel ist es, für jedes für den EU-Markt produzierte SNF CO₂-Werte sowie Verbrauchswerte in den Einheiten [g/tkm], [g/Kfz-km], [g/km] sowie [g/m³-km] zu erzeugen. Die CO₂- sowie Verbrauchswerte sollen dabei repräsentativ für den realen Betrieb sein und insbesondere Unterschiede zwischen verschiedenen SNF korrekt wiedergeben. Der Entwurf für die gesamte Gesetzgebung [European Commission, 2016a] sowie die zugehörige Software wurde im „LOT 4“-Projekt erarbeitet. Darüber hinaus wurden am 11. Mai 2017 die Grundlagen für ein EU-weites Monitoringverfahren beschlossen. Dabei sind bis zur Anwendung noch Detailanpassungen zu erwarten, um ab Anfang 2019 alle notwendigen, zertifizierten Datensätze verfügbar zu haben.

Die erzeugten CO₂- bzw. Verbrauchswerte sollen direkt zur Kundeninformation verwendet werden. Die Werte sollen parallel in einer zentralen Datenbank gesammelt werden, um die Entwicklung der Flottenverbräuche von SNF beobachten zu können. Für die Kundeninformation soll der Kunde die Möglichkeit haben, die Verbrauchswerte verschiedenster Fahrzeugkonfigurationen, Marken und Typen anhand der zertifizierten Werte vergleichen zu können. Die Werte müssen dementsprechend auch den Händlern zur Verfügung stehen und für verschiedene SNF-Konfigurationen online erzeugt werden können.

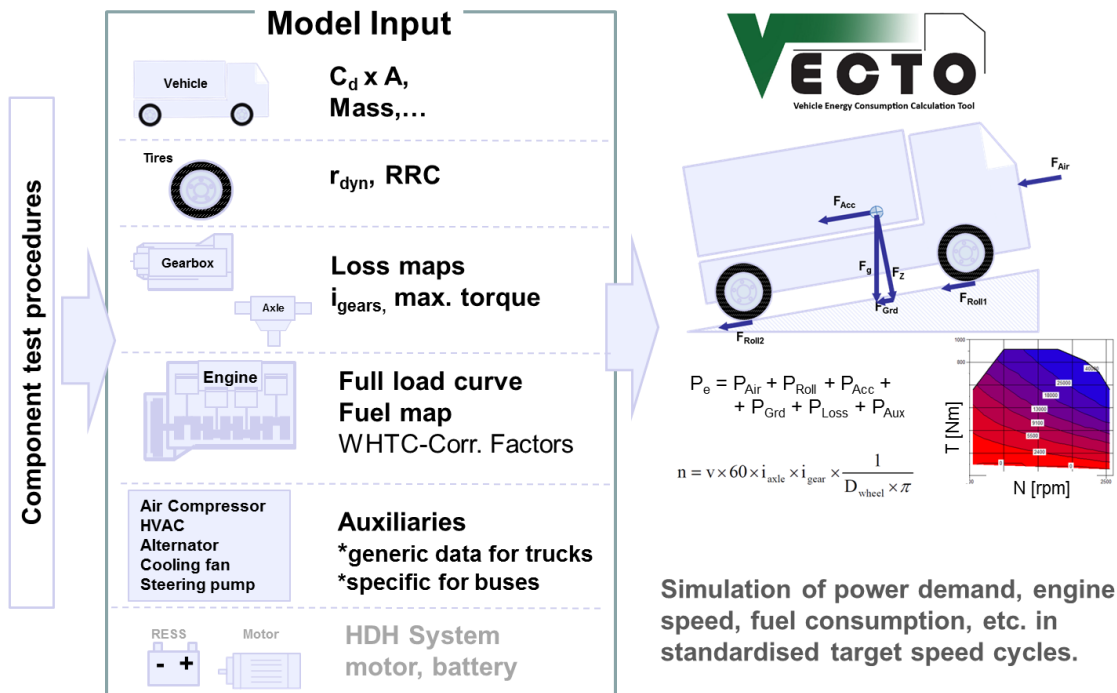
Wegen der üblicherweise sehr modularen Konzeption von LKW wurden Rollen- oder On-Board-Tests für die CO₂-Zertifizierung ausgeschlossen. Da der Kunde seinen LKW aus verschiedensten Kombinationen von Chassis, Kabine, Motor, Getriebe, Achsen, Reifen und Aufbauten zusammenstellen kann, würde eine Erfassung dieser Variabilitäten einen hohen Messaufwand erfordern. Würde jedoch durch eine sehr großzügige Familiendefinition zur Reduktion des Messaufwandes z. B. der Einfluss der Motorisierung oder der Achsübersetzung auf den Verbrauch nicht abgebildet, wäre die Information für den

Kunden sehr eingeschränkt nützlich. Daher wurde entschieden, eine Kombination aus physikalischen Tests an den verbrauchsrelevanten Komponenten und einer Simulation des gesamten Kfz anzuwenden. Die Komponententests erfassen dabei die Eingangsdaten für die Simulation (Verbrauchskennfeld des Motors, Verlustmomente in Achsen und Getrieben, Rollwiderstandsbeiwerte, Luftwiderstandsbeiwerte,...). Die Komponententestverfahren sind genau definiert und liefern damit auch sehr gut reproduzierbare Ergebnisse.

1.2.3.2 Einsatz von VECTO für den CO₂-Zertifizierungsprozess

Die Simulation erfolgt mit der eigens entwickelten Software VECTO. Sie berechnet entsprechend der Beziehungen der Fahrzeuglängsdynamik die Motorleistung sowie die Motordrehzahl für genormte Fahrzyklen. Damit wird dann der momentane Verbrauch aus dem Motorkennfeld interpoliert. Die Integration der Momentan-Verbräuche ergibt den Gesamtverbrauch im Zyklus. Eine Korrektur für Dynamikeinflüsse und Kaltstartzusatzverbrauch wird am Ende der Simulation durchgeführt. Die Zertifizierung erfolgt mit verschiedenen Testzyklen, die das Spektrum der möglichen späteren Kundennutzung gut abdecken. Diese sind als sogenannte „Target-Speed-Zyklen“ konzipiert (für weitere Details siehe Anhang 6.1).

Abbildung 6: Schema des Datenflusses und der Simulation in der SNF-CO₂-Zertifizierung



Quelle: FVT, Eigene Darstellung

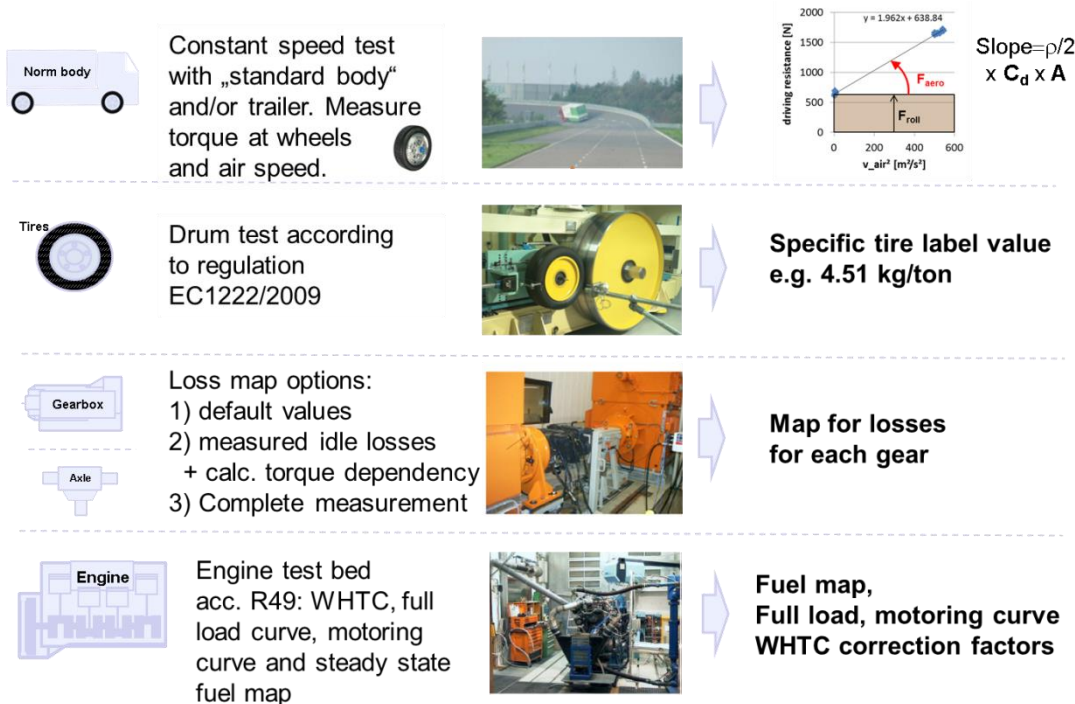
Neben den Verbrauchswerten gibt VECTO auch die mittlere Reisegeschwindigkeit in den Zyklen an, so dass auch eventuelle Trade-offs zwischen Energieeffizienz und Zeitaufwand sichtbar sind. VECTO simuliert dazu, wie Fahrer und Fahrzeug dieser Wunschgeschwindigkeit folgen. Bei Beschleunigungen sowie bei Steigungen kann das Kfz den Target Speed nicht oder erst später erreichen. Bei Verzögerungen geht der virtuelle Fahrer in VECTO nach einem generischen Algorithmus schon rechtzeitig vom Gas und leitet danach eine mechanische Bremsung ein, wenn nötig. Damit ergeben sich für alle Kombinationen aus Fahrzeug, Motor und Beladung realistische Lastprofile.

Insgesamt wurde also viel Energie in eine realistische Abbildung des Fahrverhaltens gelegt. Realistische Zyklen sind auch essenziell, um die technologische Entwicklung dort voranzutreiben, wo der Kunde dann größte Verbrauchseinsparungen haben würde¹².

Für die Simulation mit VECTO sind gültige Eingabedaten für die Komponenten nötig. Deshalb muss die Komponentenmessung im Rahmen einer Zertifizierung der einzelnen Komponente erfolgen. Dabei sind Technische Dienste (z. B. TÜV) und Typprüfbehörden involviert. Entsprechend der Komponenten, die der Kunde auswählt, werden die zugehörigen, zertifizierten Eingabedaten der Simulation zugeführt. Die Nebenverbraucher (Lichtmaschine, Kompressor, Lenkhilfepumpe, Kühlgebläse Motor, HVAC) werden gemäß ihrer Technologie zugeordnet und mit generischen Leistungsbedarfswerten abgebildet¹³. Für alle bisher in VECTO abbildbaren Komponenten wurden seit dem Jahr 2010 zum Teil neuartige Messverfahren erarbeitet bzw. bestehende Verfahren verbessert. Ziel war es jeweils, realitätsnahe Messergebnisse mit hoher Reproduzierbarkeit und mit wenig Spielraum für testspezifische Optimierungen zu erhalten.

Die Komponenten-Testverfahren sind in den Annexes im Detail beschrieben [EC, 2017]; Abbildung 7 zeigt die Verfahren in einer Übersicht.

Abbildung 7: Übersicht zu den Methoden der Komponententests



Quelle: FVT, Eigene Darstellung

¹² Die niedrigen Lasten und hohen Leerlaufanteile des NEDC haben z. B. dazu geführt, dass in hohem Maß Technologien in den Markt kamen, die in diesen Lastbereichen hohes Minderungspotenzial haben (z. B. Start/Stop-Systeme, Zylinderabschaltung,...). Wenn also Testzyklus und reales Fahrverhalten unterschiedlich sind, sind die realen Verbrauchseinsparungen typischerweise niedriger als im Testzyklus.

¹³ Die generischen Werte wurden in den Arbeiten zu LOT 3 und LOT 4 in Kooperation mit der Industrie und der EU-Kommission bestimmt. In einer späteren Ausbaustufe von VECTO (nach 2020) könnten die wesentlichsten Nebenverbraucher eventuell auch mit produktspezifischen Messwerten in der CO₂-Zertifizierung berücksichtigt werden. Dazu müssten aber zuerst genormte Testverfahren erarbeitet und beschrieben werden (z. B. Messmethode für Lichtmaschinen-Verlustkennfelder).

Was die Ermittlung des Luftwiderstandes betrifft, wurde eine neue Methode erarbeitet, die bei konstanten Geschwindigkeiten (15 km/h und 85 km/h) mittels Drehmomentmessnaben die Kraft an den angetriebenen Rädern misst. Die Relativgeschwindigkeit des Kfz zur Luft wird on-board mittels Anemometer gemessen. Nach Abzug von Steigungseinflüssen und Korrektur von Seitenwindeffekten und von Geschwindigkeitsungleichförmigkeiten kann aus der Kraftdifferenz bei 85 km/h und bei 15 km/h die Luftwiderstandskraft und damit der für VECTO relevante Wert $C_w \times A$ bestimmt werden.

Der Rollwiderstandsbeiwert der Reifen wird, wie schon für das Reifenlabel-Verfahren definiert, am Trommelprüfstand durchgeführt.

Für Achs- und Getriebeverluste sind drei Verfahren zulässig, da das genaue Messen der Verluste ein aufwändiges Verfahren ist. Die Verwendung generischer Verlustkennfelder führt zu schlechten Wirkungsgraden und wird nur bei Getrieben und Achsen in Kleinserien Anwendung finden. Die zweite Methode misst die Schleppverluste und addiert generische, lastabhängige Verluste. Aus heutiger Sicht wird dieses Verfahren einen guten Kompromiss aus Kosten und Genauigkeit darstellen. Die dritte Methode sieht eine komplette Vermessung aller Gänge in definierten Drehzahl- und Drehmomentstufen vor und ergibt die genauesten Werte, dürfte aber (vorerst) nur bei großen Serien Anwendung finden.

Der Motortest beinhaltet die Vermessung eines Motorkennfeldes, in dem der Energieverbrauch in stationären Drehzahl- und Drehmomentstufen erfasst wird. Dazu wird auch der WHTC gemessen, aus dem der sogenannte „WHTC Correction Factor“ abgeleitet wird. Dieser soll Dynamikeffekte auf den Verbrauch abbilden und auch eine spezielle Motoroptimierung auf Stationärpunkte unattraktiv machen. Die Motortests können als Add-On zum bestehenden Zertifizierungsverfahren für Schadstoffemissionen (UN/ECE R.49.06) durchgeführt werden. Alle Grenzwerte für Schadstoffe müssen auch bei der Kennfelderstellung erfüllt werden, so dass eine korrekte Abbildung des realen Verbrauchsverhaltens erreicht werden sollte.

Die Effizienz der Nebenaggregate wird nicht spezifisch vermessen, sondern entsprechend der verwendeten Technologie aus generischen Daten in VECTO zugeordnet. Wegen des eher geringen Einflusses der Nebenaggregate auf den SNF-Verbrauch ist dieser Ansatz zumindest zu Beginn der Einführung der CO₂-Zertifizierung vertretbar. Komponentenspezifische Tests könnten später auch für Nebenaggregate hinzugefügt werden (z. B. Wirkungsgradkennfeld der Lichtmaschinen), bräuchten aber jeweils die Ausarbeitung standardisierter Testverfahren als Grundlage und würden auch die Zertifizierungskosten je SNF erhöhen¹⁴.

Die bisherigen Validierungen zeigten relativ gute Übereinstimmungen mit den Realverbräuchen für das Gesamtfahrzeug. Die Komponententests sollten realistische Effizienzdaten ergeben, so dass die Berechnung des Verbrauchs- bzw. CO₂-Wertes mit VECTO belastbare Ergebnisse bringt. Validierungen wurden 2014 und 2015 von JRC durchgeführt. Dabei ergaben sich Abweichungen zwischen VECTO-Simulation und Messungen im realen Fahrbetrieb von weniger als 3 %. Eine umfangreichere Validierung ist durch JRC in Bearbeitung.

Wenn die Fahrzeugverifizierung als stichprobenartige Prüfung, am besten durch Mitgliedstaaten, erfolgreich eingeführt wird, kann auch davon ausgegangen werden, dass die VECTO-Methode im Vergleich zu Prüfstandmessungen¹⁵ mindestens so robust, jedoch viel effizienter ist.

¹⁴ Andererseits haben standardisierte Effizienzmessungen auch Vorteile für OEMs, da ein Vergleich von Komponenten einfacher, transparenter und preiswerter wird.

¹⁵ Für Messungen am Rollenprüfstand wären auch Luft- und Rollwiderstand vorab zu messen. Zudem wären wegen der vielen Kombinationen aus Kabinen, Chassis, Achsübersetzungen, Motoren und Getrieben sehr viele Rollentests nötig, was zu sehr hohen Kosten führen würde. On-Board-Messungen sind wegen des großen Fahrer- und Verkehrseinflusses bei der Ermittlung von CO₂-Werten ebenfalls nicht gut geeignet.

Nichtdestotrotz ist die Methode für Hybridfahrzeuge (HEV) noch nicht entschieden. Aus heutiger Sicht erscheint es aber sinnvoll, diese auch in VECTO zu simulieren. Dafür müssten Verlustkennfelder vom Elektromotor sowie Batteriewirkungsgrade bzw. Innenwiderstände in der Komponententypisierung vermessen werden. Alternativ können auch generische Werte für Wirkungsgradkennfelder und Lade- und Entladeverluste verwendet werden, was natürlich Kosten für die Messung spart. Inwieweit dadurch die Genauigkeit der berechneten CO₂-Werte von HEVs verringert würde, ist in Untersuchung¹⁶.

Die VECTO-Software kann entweder über ein grafisches Nutzer-Interface oder über Datenbanken aufgerufen werden. Im typischen Zertifizierungsprozess eines LKW werden die Daten aus der Komponentenzertifizierung in die Datenbank des Herstellers übertragen. Je nach Konfiguration des SNF werden aus der Datenbank dann die passenden Daten entnommen, für VECTO konfiguriert und VECTO gestartet. Die Ergebnisse werden wieder in eine Datenbank eingetragen. Die große Anzahl an zu bearbeitenden SNF verlangt zumindest bei den LKW Herstellern eine Automatisierung des Prozesses. Bei kleineren Bus-Herstellern sowie bei Behörden, z. B. zur Nachkontrolle, könnte manuelle Arbeit noch effizient sein. Für die Kopplung mit Datenbanksystemen gibt es eine eigene Applikation („DEA“, VECTO Data Exchange API). Der VECTO-Code ist in allen Anwendungen derselbe.

Die Daten, die im Rahmen der CO₂-Zertifizierung erzeugt werden, sind:

1. Files aus der Komponentenzertifizierung als VECTO-Eingabe
2. ein Sammel-Eingabefile pro zertifiziertem SNF, in dem alle relevanten Datensätze für das Kfz gelistet sind
3. ein Ergebnisfile für die Typprüfbehörde
4. ein Ergebnisfile für das CO₂-Monitoring
5. Dokument zur Kundeninformation.

Inwieweit die Daten für 3.) und 4.) in unterschiedlichen Files transportiert werden, ist noch offen. In einer Studie für DG CLIMA wurden Möglichkeiten zum Monitoring-Prozess der SNF-CO₂-Werte untersucht. Da jeder LKW ein eigener Datensatz ist, wird eine relativ große Datenmenge zu verwalten sein. Dafür erscheint eine direkte Übermittlung der Daten von OEMs zur EEA, die ja auch schon das Monitoring für PKW und LNF beheimatet, die effizienteste Lösung. Da viele Typprüfbehörden in EU-Mitgliedstaaten noch keine passenden Datenbankstrukturen haben, dürfte ein Monitoring, das von den Typprüfbehörden bzw. von den Mitgliedstaaten verwaltet und an die EEA weiter geleitet wird, längere Vorlaufzeiten benötigen und vermutlich weniger effizient sein. Im Fall einer direkten Meldung der Monitoring-Daten an die EEA würden die Typprüfbehörden jeweils einen zertifizierungsrelevanten Datensatz erhalten, in dem zumindest die Komponenten, die Datenflüsse und die Ergebnisse für CO₂ und Verbrauch enthalten sind. Die VECTO-Eingabedaten selbst würden eventuell bei den Herstellern gespeichert, müssten auf Verlangen aber zumindest der Typprüfbehörde verfügbar gemacht werden.

¹⁶ Wenn gemessene Kennfelder von Komponenten mit einer generischen Betriebsstrategie gekoppelt werden, könnten Artefakte auftreten, indem z. B. der Elektromotor in Realität durch die reale Betriebsstrategie immer nahe des Bestpunktes betrieben wird, mit der generischen Strategie aber weit davon entfernt. Die generische Hybridstrategie müsste solche Effekte also in allen möglichen HEV-Auslegungen verhindern, um nicht verzerrte Verhältnisse zwischen unterschiedlichen Hybridkonzepten zu liefern. Erfahrungsgemäß können dabei schon relativ geringe Verschiebungen reichen, um die Akzeptanz des Ansatzes zu verhindern, speziell wenn das Konzept eines OEMs etwas zu gut und das eines anderen etwas zu schlecht bewertet wird. Ob eine allgemein akzeptierte Betriebsstrategie möglich ist, wird vermutlich erst festzustellen sein, wenn versucht wird, das Konzept umzusetzen. Hier bleibt also das Risiko, viel Entwicklungsaufwand in VECTO investieren zu müssen.

Welche Daten genau für den Monitoring-Prozess zu melden sind und wer auf welche Daten Zugriffsrechte haben soll, ist noch nicht fixiert. Es sollte jedenfalls sicher gestellt sein, dass unabhängige Behörden für Kontrollzwecke Zugriffsrecht auf die VECTO-Eingabedaten und auf die Ergebnisfiles jedes SNF haben und dass die Datenerhebung mit vertretbarem Aufwand erfolgen kann. Aus heutiger Sicht sind nur beim Hersteller alle Daten gesammelt vorhanden, es sollte also gesetzlich geregelt werden, dass der Hersteller die notwendigen Daten verfügbar machen muss. Der Kreis der Bezugsberechtigten muss dann natürlich eingeschränkt werden (Zulassungsbehörden, EU, ggf. sonstige definierte Kontrollinstanzen).

1.3 Potentiale Ansätze zur Senkung der CO₂-Emissionen von SNF

1.3.1 Technisches Potential zur Senkung der CO₂-Emissionen

Fast alle schweren Nutzfahrzeuge haben aktuell einen konventionellen Dieselantriebsstrang und daran wird sich vermutlich auch in der nächsten Zeit wenig ändern. Dabei haben Ergebnisse aus einer Studie des Umweltbundesamtes zu den zukünftigen Maßnahmen zur Kraftstoffeinsparung und Treibhausgasminderung bei schweren Nutzfahrzeugen gezeigt, dass mit bereits heute verfügbaren Technologieoptionen zu Verbesserungen im Diesel-Antriebsstrang und zur Verringerung der Fahrwiderstände (Rollwiderstand, Luftwiderstand, Fahrzeuggewicht) Einsparungen von 7 bis 11 % Kraftstoffverbrauch und Treibhausgasemissionen gegenüber einem durchschnittlichen EURO-VI-LKW möglich sind. Mit zukünftig verfügbaren Technologien, welche bis 2020 verfügbar sein sollten, steigen diese Einsparpotenziale bei Fernverkehrssattelzügen auf 13 bis 20 % [UBA, 2015a]. Weitere Untersuchungen kommen zu dem Ergebnis, dass bis 2030 technische Minderungspotenziale bis zu ca. 40 % wirtschaftlich erreichbar sind (siehe Kap. 3.2.1.)

Viele der betrachteten technischen Maßnahmen wie z. B. Geschwindigkeitsbegrenzer oder Leichtlaufreifen haben nur sehr geringe Zusatzkosten und werden daher sehr schnell amortisiert. Leichtbau oder Aerodynamikverbesserungen sind meistens etwas teurer, ebenso die Abwärmenutzung (WHR), aber auch diese amortisieren sich innerhalb von etwa 6 Jahren während der Fahrzeuglebensdauer durch Kraftstoffeinsparungen. Eine Hybridisierung macht vor allem im regionalen und städtischen Verteilverkehr Sinn und führt z. B. beim 12-t-Verteiler-LKW zu Minderungen von 9 % [UBA, 2015a].

Prinzipiell könnten auf Basis solcher Analysen schon heute realistische und wirtschaftlich tragbare CO₂-Grenzwerte festgelegt werden. Die ermittelten prozentualen Minderungspotenziale sind derzeit verlässlicher als die Absolutwerte, insbesondere da bis 2018 noch Details am Testverfahren geändert werden können, wie etwa die simulierten Fahrzyklen. Absolutwerte können demnach eher erst mit den ersten Ergebnissen des ab 2018 startenden CO₂-Monitorings festgelegt werden, wenn die Ist-Werte der Flotte genauer bekannt sind. Bei Interpretation der in [UBA, 2015a] ermittelten Reduktionspotenziale muss allerdings berücksichtigt werden, dass ein Teil der Potenziale durch Maßnahmen an den Anhängern und Nebenaggregaten noch nicht in VECTO abgebildet werden kann (siehe 2.3.1). Dies gilt momentan auch noch für die Minderungspotenziale durch alternative Antriebe.

Neben Verbesserungen im konventionellen Antriebsstrang und der Verringerung der Fahrwiderstände können auch alternative Antriebe zur Treibhausgasminderung eingesetzt werden. Erdgas-LKW haben dabei auf Grund der schlechteren Energieeffizienz nur geringe Vorteile gegenüber Dieselfahrzeugen, die stark von der Herkunft des verwendeten Erdgases abhängen. Aber auch hier gibt es noch deutliche Effizienzpotenziale.

Im Nah- und Regionalverkehr gibt es heute bereits die Möglichkeit, rein elektrisch betriebene Fahrzeuge einzusetzen. Auf Grund der sehr hohen Mehrkosten sind diese Fahrzeuge allerdings weder aktuell noch in naher Zukunft wirtschaftlich für die Betreiber [UBA, 2015a], [Öko-Institut et al., 2015].

Die einzige Möglichkeit zur direkten Stromnutzung im Ferngüterstraßenverkehr ist allerdings die Einführung von Oberleitungsfahrzeugen, da durch die benötigten großen Reichweiten ein reiner Batterie-

betrieb nicht möglich ist. Dazu müsste jedoch europaweit eine Oberleitungsinfrastruktur an stark frequentierten Autobahnen und Bundesstraßen aufgebaut werden.

Weiterhin gibt es auch Möglichkeiten zur Optimierung des Fahrzeugbetriebs (z. B. GPS-gesteuerte topografieabhängige Geschwindigkeits- und Gangwahl, Verringerung der Fahrzeugabstände durch Platooning) sowie logistische Maßnahmen zur Erhöhung der Fahrzeugbeladung und Reduktion von Leerfahrten, die zur Treibhausgasminderung beitragen können.

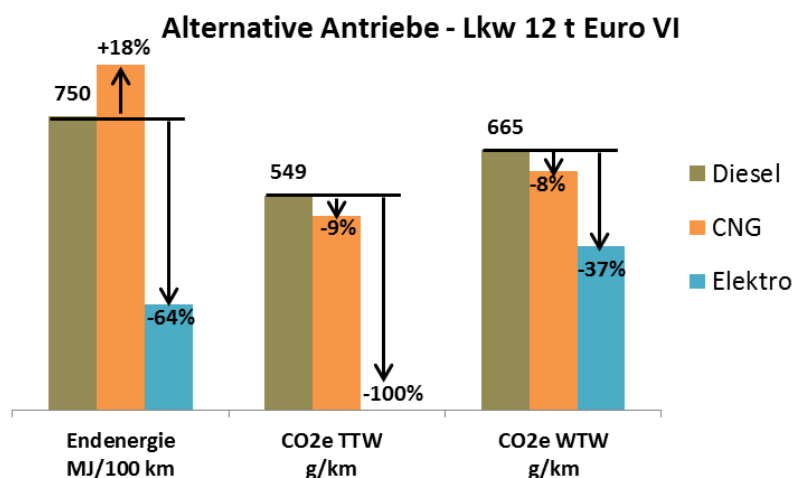
1.3.2 Diskussion der Scopes der Bewertung inkl. alternative Antriebe

Zentral für die meisten Maßnahmen zur Verringerung der Umweltwirkungen ist die Frage, wie die Fahrzeugeffizienz bzw. die Treibhausgasminderungen berechnet werden. Bisher wird im Transportbereich (z. B. bei der CO₂-Gesetzgebung für PKW) fast ausschließlich mit den reinen Kohlendioxidemissionen aus der Verbrennung der fossilen Kraftstoffe gerechnet, während die Treibhausgasemissionen der Vorkette über andere Instrumente, insbesondere die Renewable Energy Directive (RED), die Fuel Quality Directive (FQD) sowie weitere nationale Verordnungen reguliert werden. Diese gelten aktuell jedoch nur bis 2020. Zwar ist eine Erweiterung der RED bis 2030 geplant, welche ein Ziel von 12% erneuerbaren Energien im Verkehr vorgibt. Für den verbleibenden Hauptanteil fossiler Energien besteht jedoch kein Anreiz die Emissionen zu senken, z.B. durch Strom aus Gas- statt Kohlekraftwerken, Verzicht auf unkonventionelle Verfahren wie Fracking, etc.

Um lediglich Dieselfahrzeuge mit fossilem Kraftstoff zu vergleichen, ist eine TTW-Betrachtung meistens ausreichend. Diese TTW-Betrachtung deckt jedoch nicht die gesamten Emissionen der Fahrzeuge ab, da die Kraftstoffbereitstellung sowie die Fahrzeugherstellung vernachlässigt werden. Reine Elektrofahrzeuge werden damit mit Nullemissionen angerechnet. Es ergeben sich keine Anreize für Effizienzsteigerungen bei elektrischen Fahrzeugen (bspw. durch Verringerung der Fahrwiderstände). Wenn in Zukunft jedoch auch alternative Kraftstoffarten und andere Antriebstypen für schwere Nutzfahrzeuge betrachtet werden sollen, reicht diese reine TTW-Betrachtung der fossilen CO₂-Emissionen nicht mehr aus. Da alternative Antriebe zukünftig eine größere Rolle spielen dürften und sich je nach Bewertungsgröße ein sehr unterschiedliches Bild für deren Umweltvorteile ergibt, sollte unbedingt heute bereits eine Erweiterung der reinen TTW-Betrachtung von VECTO angedacht werden.

Abbildung 8 verdeutlicht beispielhaft die Unterschiede eines Elektro- und CNG-LKW zu einem DiesellKW bezüglich drei möglicher Bewertungsgrößen: Endenergie, Treibhausgasemissionen TTW und Treibhausgasemissionen WTW.

Abbildung 8: Beispiel der Umweltwirkungen alternativer Antriebe beim Stadtverteiler LKW



Quelle: ifeu, eigene Darstellung, Endenergieverbrauch nach [UBA, 2015a]; THG-Faktoren: „Diesel“, „CNG-EU mix“, „Electricity-EU mix medium“ nach [JEC, 2014]

Anstelle oder zusätzlich zu den Treibhausgasemissionen könnte auch der Endenergieverbrauch reguliert werden. Die Vorteile einer Regulierung des Endenergieverbrauches liegen darin, dass (bei einer entsprechenden Ausgestaltung) für alle Antriebe gleichermaßen Anreize gesetzt werden, die Effizienz zu verbessern. Da verschiedene Antriebsenergien, vor allem bei Plug-In-Hybrid-Konzepten, eine unterschiedliche technisch erreichbare Effizienz haben, ist es sinnvoll, einen relativen Verbrauch pro Energieträger zu bestimmen. Überlegungen, wie so eine Regelung aussehen kann, gibt es in dem Bericht zu einer möglichen Effizienzgesetzgebung für PKW [UBA, 2013]. Nachteilig an diesem Ansatz ist die Notwendigkeit, für alle Antriebsarten einen Referenzwert zu bestimmen, zudem erlauben die relativen Verbräuche zwar einen einfachen Vergleich zwischen den Fahrzeugen, sagen aber nicht direkt etwas über den realen Verbrauch aus. Alternativ könnte auch mit dem Primärenergiebedarf gerechnet werden, um die Vorketten miteinzubeziehen.

Bisher berechnet VECTO den Endenergieverbrauch und die damit verbundenen direkten CO₂-Auspuffemissionen (TTW). Andere auspuffbedingte Treibhausgase, wie etwa N₂O, das bei einigen SCR-Systemen in relevanten Mengen entstehen kann, oder CH₄, das bei Gasbetrieb maßgeblich zur Treibhausgasbilanz beitragen kann, werden nicht berücksichtigt.¹⁷ Die Einbeziehung dieser Treibhausgase erscheint frühestens in einer zweiten VECTO-Phase denkbar, wenn LKW und Busse mit der aktuellen VECTO-Methode bereits zertifiziert werden und aus den dabei gemachten Erfahrungen Verbesserungspotenziale ausgearbeitet und umgesetzt werden. Gemäß den Daten des HBEFA (V 3.2) beträgt der Anteil der N₂O und CH₄-Emission an den CO₂-Äquivalenten bei SNF weniger als 2 %. Eine Aufnahme in die Grenzwertgesetzgebung hätte nach aktuellen Erkenntnissen im Moment keine Priorität. Allerdings führen weiter verschärfte NO_x-Grenzwerte zu höheren NH₃-Dosierungen, um hohe NO_x-Konvertierungen an der SCR zu erreichen. Das überschüssige NH₃ kann am Ammoniak-Sperrkat auch zu einem erheblichen Anteil in N₂O umgewandelt werden, so dass der Anteil von N₂O am GWP-Potential der Abgase merklich steigen kann. Grenzwerte für N₂O sollten also spätestens bei der nächsten Verschärfung der NO_x-Limits überlegt werden.

Für eine WTW-Betrachtung müssen generische THG-Emissionsfaktoren für die Bereitstellung der Energieträger festgelegt werden, die gekoppelt an den Endenergieverbrauch zu den Abgasemissionen addiert werden. In dem Fall würden z. B. dem direkten Klimavorteil von Gasfahrzeugen infolge geringerer Auspuffemissionen die ggf. höheren Emissionen aus der Gasvorkette (inkl. anderer Treibhausgase wie Methan) gegengerechnet. Auch bei Elektrofahrzeugen würde die Strombereitstellung mitbetrachtet. Eine Schwierigkeit bei solchen WTT-Emissionsfaktoren ist die Erhebung und Definition repräsentativer Werte bei vertretbarem Aufwand. Beispielsweise kann die Strombereitstellung sowohl geographisch (Länderstrommixe) als auch zeitlich (Stichwort Energiewende) variieren. Als pragmatische Lösung, um dies zu berücksichtigen, könnte man sich beispielsweise zu den jeweiligen Grenzwertstufen auf einen EU-mittleren CO₂-Wert [g CO₂/kWh] für Strom sowie andere alternative Energieträger einigen. Mögliche Datenbanken für europäische WTW-Faktoren von fossilen Kraftstoffen umfassen z. B.

- ▶ die WTT- und WTW-Reports von JEC (Joint Research Centre, Eucar, Concawe) [JRC, 2014]
- ▶ die EN 16258 [DIN, 2012]
- ▶ ecoinvent [Weidema et al., 2013] (welches z. B. bereits für die sog. Energieetikette für neue PKW in der Schweiz genutzt wird)

¹⁷ In Europa werden bisher die CH₄-Emissionen von Gasmotoren über die Abgasgesetzgebung geregelt, N₂O wird bisher nicht reguliert.

- das EU-Referenzszenario [European Commission, 2016b], welches Trends für den europäischen Kraftwerkmix bis 2050 beschreibt.

Zusätzliche Anreize für alternative Antriebe könnten dennoch geschaffen werden, z. B. indem ein besonders niedriger Kraftwerkmix vorgegeben wird oder die WTT-Emission geringer als die TTW-Emissionen gewichtet werden. Dieser Ansatz wäre gegenüber dem reinen TTW-Ansatz deutlich zukunftsfähiger.

Das aktuelle Release von VECTO von Juli 2017 enthält bereits einen ersten Datensatz zu Normwerten für verschiedene Kraftstoffe. Die aktuellen Werte werden eingesetzt, um die Messergebnisse zum Motor-Verbrauchskennfeld auf Norm-Kraftstoffe umzurechnen. Dies soll speziell verhindern, dass Tests jeweils mit Kraftstoffqualitäten mit niedrigem Kohlenstoffgehalt je kWh und somit niedrigen gemessenen CO₂-Emissionen gefahren werden. Der aktuelle Datensatz ist vorerst auf TTW-CO₂-Werte der Referenzkraftstoffe für Verbrennungsmotoren ausgelegt, könnte aber auch mit WTT-CO₂-Werten sowie mit Strom und anderen Energieträgern wie z. B. Wasserstoff erweitert werden.

Tabelle 5: Entwurf zur Definition von Normwerten für Referenzkraftstoffe in VECTO.

Engine Fuel Type	Reference Fuel	Density	CO ₂ Emission Factor	Lower Heating Value
[-]	[-]	[kg/m ³]	[g_CO ₂ /g_Fuel]	[MJ/kg]
Diesel / CI	B7	836	3.13	42.7
Ethanol / CI	ED95	820	1.83	25.4
Petrol / PI	E10	750	3.04	41.5
Ethanol / PI	E85	786	2.09	29.2
LPG / PI	LPG Fuel B	not required	3.02	46.0
NG / PI	G25	not required	2.54	45.1

Auch eine WTW-Betrachtung deckt jedoch nicht die gesamten Emissionen der Fahrzeuge mit ab, da z. B. die Herstellung eines batteriebetriebenen Fahrzeuges mit höheren Umweltwirkungen verbunden ist, die sich zudem nicht auf CO₂ beschränken. Damit stellt sich die Frage, ob in Zukunft nicht die gesamte Prozesskette von der Fahrzeugherstellung über die der Kraftstoff-/Strombereitstellung bis zur Fahrzeugnutzung betrachtet werden müsste. Ansätze für eine ganzheitliche Betrachtung der Umweltwirkungen finden sich dabei in der Ökobilanzierung (nach ISO 14040ff), müssten jedoch durch sektorspezifische Regeln ergänzt werden, um eine bessere Vergleichbarkeit zu ermöglichen.

1.3.3 Hemmnisanalyse aus der Stakeholder-Befragung

Bereits die Vorstudie „Zukünftige Maßnahmen zur Kraftstoffeinsparung und Treibhausgasminderung bei schweren Nutzfahrzeugen“ [UBA, 2015a] hat für das Umweltbundesamt mögliche Hemmnisse beim Einsatz von Effizienztechnologien in schweren Nutzfahrzeugen untersucht.

Dabei wurden folgende Gruppen von Hemmnissen unterschieden: **Technologiespezifische Hemmnisse** ergeben sich aus Voraussetzungen für den Einsatz der Technologien bzw. deren Eigenschaften. **Strukturelle Hemmnisse** gehen auf die bestehenden Strukturen und Arbeitsabläufe in der Logistikbranche zurück. Im Bereich der Kosten-Nutzen Abwägung gibt es einerseits **informationstechnische Hemmnisse**, die durch mangelnde verlässliche Informationen zu den Einsparpotenzialen sowie den Kosten dieser entstehen und andererseits **finanzielle Hemmnisse** durch die teilweise hohen Anschaffungskosten für die Technologien verbunden mit den begrenzten finanziellen Mitteln der Akteure [UBA, 2015a].

Auch für die vorliegende Studie wurde eine Befragung zur Hemmnisanalyse und zur Akzeptanz der Maßnahmen bei Stakeholdern (Fahrzeugnutzer, Transportunternehmen und Verbände) durchgeführt. Teilweise sind die Ergebnisse der Befragung auch bei den Maßnahmensteckbriefen direkt eingeflossen.

Vorab bekamen die Stakeholder eine kurze Einführung zum Projekt mit Folien zu den wichtigsten der erarbeiteten Maßnahmen (Standardisierte CO₂-Werte für SNF, CO₂-Grenzwerte für neue SNF, Effizienzlabel für SNF-Komponenten, Bonus-Malus, CO₂ basierte LKW-Maut und Förderprogramme für effiziente SNF) zugeschickt und konnten im Interview dazu Stellung beziehen. Die Auswertung der Befragung erfolgte in anonymisierter Form.

Einleitend wurden jeweils Fragen zum Unternehmen und der Einstellung des Unternehmens zum kraftstoffsparenden Transport gestellt. Von besonderem Interesse war hier die Frage, inwiefern die Unternehmen bereits heute Möglichkeiten sehen, auf CO₂-mindernde Technologien zu setzen im Hinblick auf die Verfügbarkeit, Information/Bewertung und Anschaffungsmehrkosten. Eine Übersicht über die verwendeten Leitfragen gibt Kapitel 6.3 im Anhang.

Informationstechnische Hemmnisse

Allgemein wurden hier von den Stakeholdern die bereits aus [UBA, 2015a] bekannten Hemmnisse angesprochen und ausgeführt. Besonders betont wurde dabei die Notwendigkeit, verlässliche und unabhängige Daten zu den Einsparpotenzialen der Technologien zu haben, die bisher nicht vorhanden sind. Bisher gibt es keine Realdaten zum Kraftstoffverbrauch von schweren Nutzfahrzeugen und es fehlt die Transparenz bei den CO₂-Emissionen. Zwar wird die Einführung der CO₂-Zertifizierung mit VECTO als hilfreicher Schritt gesehen, aber es wurde auch angemerkt, dass Modellrechnungen Realdaten nicht vollständig ersetzen können und VECTO nicht alle Technologien abdecken kann. Insgesamt wird die Branche von den Stakeholdern als sehr konservativ wahrgenommen mit einer geringen Bereitschaft, Neues zu testen bzw. einer starken Angst vor Problemen mit neuen und wenig erprobten Technologien. Ein weiteres Hindernis zum Einsatz neuer Technologien ist auch die Unsicherheit beim Restwert der Fahrzeuge, der Wartung und den realen Kraftstoffkosten. Dabei ist es für Auftraggeber sehr schwer, an Verbrauchsdaten möglicher Auftragnehmer zu kommen, so dass die Einflussmöglichkeiten sehr begrenzt sind.

Zentrale Aspekte, die nach Angaben der Stakeholder helfen können, diese Hemmnisse zu überwinden, sind:

- ▶ unabhängige und verbesserte Informationen zur Fahrzeugeffizienz
 1. Weiterwicklung von VECTO vor allem in Hinblick auf Gesamtfahrzeuge mit AAA
 2. bessere Transparenz der Herstellerangaben
 3. Monitoring der Realverbräuche (unter Wahrung der Betriebsgeheimnisse) und Offenlegung der Ergebnisse
- ▶ Angaben zu CO₂-Emissionen der Unterauftragnehmer als Auswahlkriterium
- ▶ verbesserter Informationsaustausch
 1. Datenaustausch der Spediteure in Foren
 2. Austausch von „best practice“ Beispielen und „business cases“

Speziell die Vorbildfunktion der großen Player (sowohl unter den Kunden als auch bei den großen Speditionen) ist dabei nicht zu unterschätzen.

Dabei ist es auch denkbar, dass Leasingfirmen einen „full operational lease“ (Fahrzeug, Wartung und evtl. Kraftstoffkosten) anbieten. Dadurch wird das Risiko vom Fahrzeugnutzer zum Leasinganbieter verschoben und die Einführung neuer Technologien kann beschleunigt werden.

Finanzielle Hemmnisse

Weiterhin von den Stakeholdern als sehr kritisch gesehen wurden die finanziellen Möglichkeiten für effizientere Nutzfahrzeuge. In der Transportbranche herrscht ein extrem großer Wettbewerbsdruck, die Margen sind sehr gering und die Bereitschaft der Kunden, für CO₂-ärmere Transporte mehr zu bezahlen, ist kaum vorhanden. Dadurch haben die Transporteure nur einen sehr geringen Spielraum für Investitionen in effizientere Fahrzeuge/Transporte und geben den Preisdruck an die Fahrzeughersteller (SZM/Auflieger) weiter. Neben dem mangelnden Eigenkapital kämpfen vor allem kleinere Speditionen damit, dass sie keine bezahlbaren Kredite aufnehmen können, da das Kreditausfallrisiko als sehr hoch eingestuft wird. Zusätzlich zu den relativ geringen Kraftstoffpreisen und den teilweise sehr hohen CO₂-Vermeidungskosten führt dies dazu, dass derzeit wenig in effizientere Fahrzeuge investiert wird.

Um die finanziellen Hemmnisse abzubauen, können Förderprogramme zum Einsatz kommen, allerdings müssen diese eine ausreichende finanzielle Ausstattung haben und schnell umgesetzt werden. Wichtiger ist die Schaffung von Finanzierungsmöglichkeiten, z. B. durch die Bereitstellung zinsgünstiger Kredite oder die Aufstellung eines Risikofonds für die Investition in energiesparende Technologien. Zudem ist es sinnvoll die Forschung im Bereich effiziente Nutzfahrzeuge zu stärken.

Strukturelle Hemmnisse

Weiterhin wurden die Stakeholder danach gefragt, inwiefern bestehende Maßnahmen bei ihnen zur CO₂-Minderung geführt haben. Insgesamt positiv bewertet wurde hier die LKW-Maut nach Schadstoffklassen, die zu einer schnelleren Flottenerneuerung und damit zu erhöhten Anteilen an Fahrzeugen, die der EURO VI- (oder V-) Norm genügen, geführt hat. Ebenfalls als entscheidend wurde die Steuerermäßigung für Erdgas gesehen, um die Einführung von LNG-Fahrzeugen zu erreichen.

Grundsätzlich haben die Stakeholder regulatorische Maßnahmen oder Maßnahmen zur Verteuerung der Fahrzeugnutzung nicht kritisch gesehen, solange sie europaweit einheitlich für alle gelten („level playing field“ und nicht zu Marktverzerrungen/Fehlanreizen führen. Wichtig ist dabei immer die Technologieneutralität der Maßnahmen. Dabei wird ein ganzheitlicher Ansatz begrüßt und die Regulierung von Gesamtfahrzeugen der von Einzelkomponenten vorgezogen. Sehr zentral für die Akzeptanz bei den Maßnahmen ist auch die Planungssicherheit, so dass möglichst lang laufende und konsistente Maßnahmen mit einem Zeithorizont von 5-7 Jahren zu bevorzugen sind. Zulassungsabgaben zur Fahrzeuganschaffung sind bei den Stakeholdern eher unpopulär.

Mehrere namhafte Unternehmen, darunter insbesondere Logistikunternehmen und -kunden, und NGOs haben im Mai 2016 einen Positionsbrief an die EU verfasst, welcher die Einführung von CO₂-Grenzwerten für SNF nach 2020 fordert und dafür in den nächsten zwei Jahren einen Kommissionsvorschlag erwartet [IKEA et al., 2016]. Die Akteure verweisen darauf, dass die bisherigen Aktivitäten, insbesondere das CO₂-Monitoring, alleine nicht ausreichen werden, um die Klimaschutzziele der EU und von Paris zu erreichen.

2 Einführung von CO₂-Grenzwerten für schwere Nutzfahrzeuge in Europa

2.1 Bisherige Aktivitäten

Hauptakteur einer möglichen Grenzwertgesetzgebung für schwere Nutzfahrzeuge ist die Europäische Union. So werden mögliche Marktschranken und -verzerrungen verhindert und die Kosten für die

Hersteller minimiert. Erste Meilensteine in der EU auf dem Weg zur Einführung von CO₂-Grenzwerten für SNF umfassen folgende Aktivitäten:

- ▶ Als Teil einer EU-Strategie zur Reduktion der CO₂-Emissionen von SNF wurde ein **Impact Assessment** durchgeführt, um verschiedene politische Optionen zur Erreichung dieses Ziels zu untersuchen. Ergebnis der Analyse war, dass eine Einführung von CO₂-Grenzwerten für SNF grundsätzlich möglich ist. Prinzipiell sind positive wirtschaftliche Effekte durch eine verbesserte Wertschöpfung bei Fahrzeugherstellern und Zulieferern möglich, weiterhin kann die Abhängigkeit von Energieimporten reduziert werden. Die Ausgestaltung der Grenzwerte müsste jedoch wirtschaftlich zumutbar sein, indem die Mehrkosten für die Anschaffung zumindest bei Einführung der CO₂-Grenzwerte durch die Einsparungen bei den Kraftstoffkosten kompensiert werden. [EC, 2014]
- ▶ Ein weiterer Meilenstein ist die Einführung einer **Zertifizierung der spezifischen Verbrauchs- und CO₂-Werte** schwerer Nutzfahrzeuge mit dem unter „VECTO“ bekannten Verfahren sowie die geplante Einführung eines **Monitorings der zertifizierten CO₂-Emissionen** schwerer Nutzfahrzeuge voraussichtlich durch die EEA (siehe Kapitel 1.2.3). Ohne standardisiertes Testverfahren wären Grenzwerte überhaupt nicht sinnvoll festzulegen. Das Monitoring ist zumindest für die Überwachung von Flottenzielwerten ebenso eine Grundvoraussetzung. Die Einführung von CO₂-Grenzwerten wird inzwischen seitens der EU (DG CLIMA) ambitioniert vorangetrieben.
- ▶ Zur **Ausgestaltung möglicher Grenzwerte** laufen derzeit in der EU-Kommission zwei uns bekannte Projekte. Eines wird von Ricardo bearbeitet und analysiert bestehende internationale Grenzwertssysteme für schwere Nutzfahrzeuge sowie die Randbedingungen in der EU, um daraus Empfehlungen für die beste Strategie in der EU abzuleiten. Die zweite Studie wird von TU Graz, TNO, CE Delft und ICCT bearbeitet und soll schon quantitative Grenzwertevorschläge samt Umsetzungsstrategie erarbeiten (Abschluss Ende 2017 vorgesehen).

Weltweit existieren bisher in Japan, den USA, Kanada¹⁸ und China erste CO₂-Standards für SNF. Folgende Tabelle gibt einen schnellen Überblick über die Regulierungen in China, den USA und Japan.

Tabelle 6: Überblick über die CO₂-Grenzwert-Regulierungen für SNF in China, den USA und Japan

Merkmal	China	USA	Japan
Zuständige Behörde(n)	Ministerium für Industrie und Informationstechnologie (MIIT)	Umweltbehörde (EPA) für THG, Transportbehörde (NHTSA) für Treibstoffverbrauch	Ministry of Economy, Trade and Industry (METI)
Erfasste Kategorien und Komponenten	Phase 1: Sattelzugmaschinen, Solo-LKW, Reisebusse Phase 2: zusätzlich ÖPNV-Busse, Baustellen-LKW	Mittlere und schwere Nutzfahrzeuge mit einem zGG von mehr als 8,5 lbs (=3,9 t) unterteilt in Sattelzugmaschinen, Pick-ups/Lieferwagen, schwere und mittelschwere gewerbliche Nutzfahrzeuge. Fahrzeuge und darin eingesetzte Motoren.	Schwere Nutzfahrzeuge mit zGG >3,5 t und Busse mit mehr als 11 Plätzen

¹⁸ Kanadas Standard ist weitgehend gleich aufgebaut wie derjenige in den USA.

Merkmal	China	USA	Japan
Zielgrößen	Kraftstoffverbrauch in l/100 km, nach zGG-Klassen; tank-to-wheel ¹⁹	CO ₂ -, CH ₄ -, N ₂ O-Emissionen, Kraftstoffverbrauch (pro Tonnenmeile bzw. bhp-h für Motoren); tank-to-wheel	Energieeffizienz in km/l nach zGG-Klassen bestimmt anhand eines Top-Runner-Ansatzes
Art des Grenzwerts	Maximalgrenzwert für „ineffizientestes“ Basismodell je Fahrzeugklasse, der von Basismodell + Varianten nicht überschritten werden darf	Flottenzielwert für Fahrzeuge und Motoren je Hersteller	Kraftstoffeffizienz-Grenzwerte nach Gewichtsklasse (zGG) je Hersteller
Flexible Mechanismen	keine	ABT ("Averaging Banking and Trading") von Credits/Debits innerhalb einer Unterkategorie und mit anderen Herstellern. Early Credits für vorterminalische Einhaltung von Grenzwerten (Gewicht 1,5) innerhalb einer Unterkategorie. Credits für fortschrittliche Technologien, Verrechnung über alle Fahrzeuge/Motoren. Gewichtung sowohl über die Verkaufszahlen als auch typische Lebensfahrleistungen ²⁰ . THG-Substitution ²¹ (CO ₂ , Lachgas, Methan)	Credits für Übererfüllung in einer Klasse können vom selben Hersteller in einer anderen Klasse genutzt werden
Testprozedur/ Zyklen	Prüfstandmessungen für Basismodelle (schlechtestes Modell je Fahrzeugfamilie), Simulation für Varianten davon. Testzyklus: C-WTVC (adaptierter WTVC-Zyklus)	Simulation mit GEM-Modell; Prüfstandmessungen (nur für Pick-ups und Lieferwagen) Testzyklus Fahrzeuge: ARB (transient), stationäre Zyklen (55/65 mph) Testzyklus Motoren: FTP, SET	Motorentest und Simulation des Gesamtfahrzeuges (Fahrzeugmasse, Reifengröße, Schaltabstufung und Effizienz, ...)
Fristen	Phase 1: 2012/2014 Phase 2: 2014/2015	Treibhausgase: Baujahr 2014 Kraftstoffverbrauch: Baujahr 2017 (2014-2016 freiwillig)	Ab 2015 (12 % verbesserte Energieeffizienz zu 2002)

Quellen: [EPA/NHTSA, 2011], [ICCT, 2011a], [ICCT, 2015], [TransportPolicy.net, 2015a], [dieselnet.com, 2016], [Kodaka, 2008]

¹⁹ Die beim Betrieb des Fahrzeugs entstehenden Auspuffemissionen. Im Gegensatz dazu bezeichnet "well-to-tank" (WTT) die bei der Extraktion, Produktion und Verteilung der Kraftstoffe bzw. Elektrizität entstehenden Emissionen.

²⁰ 185.000 Meilen (Class 7), 435.000 Meilen (Class 8), 110.000 Meilen (Class 2B-5)

²¹ Liegen die Emissionen eines Motors über den Grenzwerten (0,1 g/bhp-h Methan bzw. Lachgas), so können diese überschüssigen Emissionen mittels reduzierten CO₂-Emissionen (unter Berücksichtigung der GWP-Faktoren für 100 Jahre) kompensiert werden. Die Kompensation von grenzwertüberschreitenden CO₂-Emissionen mit reduzierten Methan- und Lachgasemissionen ist dagegen nicht zulässig.

2.2 Definition von CO₂-Grenzwerten

Für die Definition von CO₂-Grenzwerten müssen zur Ausgestaltung der Gesetzgebung einige Festlegungen getroffen werden, die im Folgenden diskutiert werden.

2.2.1 Regulierung von Gesamtfahrzeugen

Grundsätzlich ist es möglich, entweder Einzelkomponenten oder gesamte Fahrzeuge zu regulieren. Um möglichst viele technische Minderungspotenziale abdecken zu können, ist ein Fokus auf die Regulierung von Gesamtfahrzeugen sinnvoll, da nur hiermit auch das Zusammenspiel zwischen den einzelnen Komponenten optimiert wird.

Eine separate Regulierung der Motoren, wie sie z. B. in den USA erfolgt, ist nur sinnvoll, wenn damit Fahrzeugklassen abgedeckt werden, die ansonsten bei einer Regulierung nicht enthalten sind. Die Implementierung von motorbezogenen CO₂-Grenzwerten ist für Europäische Verhältnisse vermutlich keine prioritäre Maßnahme, da die Motorenkennfelder bereits gut in VECTO integriert sind und Fahrzeugmotoren in der EU üblicherweise nicht getrennt verkauft werden. Die fahrzeugbezogenen Grenzwerte bewirken eine insgesamt kostenoptimierte Zielwerterreichung der erfassten Kfz. Motorgrenzwerte können sinnvoll sein, wenn eine relevante Anzahl an SNF von den fahrzeugbezogenen Grenzwerten ausgenommen wird. Dazu gibt es derzeit aber noch keine Entscheidungen. Die Einführung eines separaten Grenzwertes für den Motor wäre in der EU relativ einfach, da der CO₂-Wert der Motoren im WHTC bereits bei der Motorzertifizierung im Zuge der CO₂-Zertifizierung erhoben wird.

Interessant für die getrennte Regulierung durch Maximalgrenzwerte können die verwendeten Reifen sein, da diese im Fahrzeugleben mehrfach getauscht werden. Hier gibt es bereits eine Zertifizierung und Kennzeichnung in Form von Rollwiderstandsbeiwerten (EU-Verordnung Nr. 661/2009). Allerdings gibt es für verschiedene Einsatzzwecke einen Zielkonflikt bezüglich Haftung und geringem Rollwiderstand. Da in VECTO die erstausgerüsteten Reifen an der Zugmaschine bzw. am LKW den Rollwiderstand der Berechnung definieren, gibt es bereits einen Anreiz, hier effiziente Reifen zu verwenden. Sinnvoll ist eine Reifenregulierung also nur bei den Anhängern und Aufliegern, wo die hohen Potenziale zur CO₂-Minderung aktuell nicht erfasst werden können. Ausnahmen müssten für Einsätze auf unbefestigten Straßen gelten.

Empfehlungen/Fazit

Einer Regulierung der CO₂-Emissionen bzw. der Effizienz des Gesamtfahrzeugs sollte die größte Priorität eingeräumt werden. Motorgrenzwerte für N₂O und CH₄ wären denkbar, speziell bei weiterer Verschärfung der NO_x-Limits. Aus heutiger Sicht ist zu erwarten, dass Fahrzeughersteller von Motorzulieferern die VECTO Eingabedaten (Kennfelder und Korrekturfunktionen etc.) bekommen werden, um passende Motoren für ihre Kfz auswählen zu können. Sollte der Markt nicht entsprechend funktionieren, müsste eine Informationspflicht definiert werden.

2.2.2 Flottenzielwert statt Maximalgrenzwert

Grenzwerte können entweder – analog zur EU-CO₂-Gesetzgebung für PKW – als mittlerer Zielwert für eine bestimmte Fahrzeugflotte definiert werden, oder als Maximalgrenzwerte pro Fahrzeug, analog zur EU-Regulierung für Kfz-Luftschadstoffemissionen.

Flottenzielwerte regulieren nicht einzelne Fahrzeuge, sondern den Durchschnitt einer gesamten Flotte (z. B. eines Herstellers). Dabei dürfen einzelne Fahrzeuge die Zielwerte für die Flotte überschreiten, wenn diese Überschreitungen durch effizientere andere Fahrzeuge kompensiert werden.

Flottenzielwerte bieten die Chance, einen ambitionierteren Grenzwert festzulegen, zu dem die verschiedenen Fahrzeuge in unterschiedlichem Maße abhängig von den individuellen technischen Potenzialen und damit verbundenen Kosten beitragen können. Flottenzielwerte wären insbesondere für die Regulierung von Basisfahrzeugen geeignet, deren Markt von einer überschaubaren Anzahl von Herstellern dominiert wird.

Bei den PKW zum Beispiel errechnet sich der herstellerspezifische Flottenzielwert aktuell nach folgender Formel [EU, 2009]:

$$130 \frac{gCO_2}{km} + 0,0457 * (Masse \text{ in kg} - \text{mittlere Masse in kg})$$

Die mittlere Masse eines Fahrzeuges in der EU liegt für die Berechnung im Moment bei 1.372 kg. Ab dem Jahr 2016 soll alle drei Jahre geprüft werden, ob diese mittlere Masse an die realen Gegebenheiten angepasst werden muss. Daher kann es bei Erhöhung der mittleren Masse zu strengeren Grenzwerten für die Fahrzeuge derselben Masse kommen. Solange die mittlere Masse nicht angepasst wird, führt allerdings der aktuell zu beobachtende Trend eines Anstiegs der Fahrzeugmasse zu höheren zulässigen CO₂-Emissionen und der Flottendurchschnitt wird verfehlt. Daher gibt es Diskussionen darüber, dass die Masse eines PKW dessen Nutzen teilweise schlecht widerspiegelt. Alternativ könnte daher ein zukünftiger PKW-Grenzwert auf die Fahrzeugfläche oder auf die Zahl der Sitze bezogen werden [EC, 2015]. Dies verdeutlicht die Wichtigkeit der richtigen Nutzwertparameter bei den Grenzwerten für schwere Nutzfahrzeuge.

Bei SNF sind z. B. in den USA entsprechende Flottenzielwertstufen in Abhängigkeit von der Fahrzeugklasse und dem Zulassungsjahr vorgesehen. Dabei gibt es die Möglichkeit, dass einzelne Fahrzeuge die Zielwerte überschreiten und diese durch effizientere andere Fahrzeuge kompensiert werden.

Bei Einführung von Flottenzielwerten für SNF in der EU sollten diese separat für einzelne möglichst homogen gefasste Fahrzeugklassen festgelegt werden. Die Differenzierung nach Fahrzeugklassen sollte sich dabei direkt an der bereits für die CO₂-Zertifizierung festgelegten Einteilung orientieren (vgl. Kap. 2.2.1). Dabei werden neben den verschiedenen Gewichtsklassen (von >3,5 t bis 40 t zGG) auch die vielfältigen Bauarten und Einsatzzwecke zumindest näherungsweise über typische Fahrzyklen pro Klasse in VECTO abgebildet (siehe nächstes Kapitel).

Getrennte Flottenzielwerte je SNF-Klasse sind wettbewerbsneutraler und können die angestrebte Gesamtminderung vermutlich besser sicherstellen als ein mittlerer Flottenzielwert über die gesamte SNF-Flotte. In letzterem Fall müssten zusätzliche Gewichtungsfaktoren der individuellen Fahrzeugklassen einbezogen werden, damit weniger effiziente LKW in Fahrzeugklassen mit sehr hoher Fahrleistung, v. a. für den Fernverkehr, nicht durch besonders effiziente, kleinere LKW-Typen oder spezielle Fahrzeugkonfigurationen kompensiert werden können. Z. B. könnten dafür wie bei SNF in den USA zusätzlich die Fahrzeuglebensdauer oder andere Indikatoren der Nutzungsdauer (z. B. generische Lebensfahrleistung, Lebenstransportleistung je Fahrzeugklasse) einbezogen werden, damit die Gewichtung der Grenzwerte die tatsächliche Nutzung und deren Emissionen besser abbildet. Ein klassenübergreifender Grenzwert wirft auch ein Wettbewerbsproblem auf, da die verschiedenen Hersteller unterschiedliche Anteile je SNF-Klasse haben. Ein Hersteller, der in Klasse 5 (typisches 40-t-Sattelzugfahrzeug mit niedrigeren g CO₂/tkm) geringe Verkaufszahlen hat, in Klasse 1 (Stadt-Verteiler-LKW mit Prinzip bedingt höheren g CO₂/tkm) dafür besonders hohe Stückzahlen, hätte dann alleine wegen seiner Marktanteile einen hohen CO₂-Wert in [g CO₂/tkm] für seine gesamte verkaufte Flotte²². Somit würden hohe verkaufte Stückzahlen an kleineren LKW zu höheren Flottenemissionswerten füh-

²² Wenn der Grenzwert auf [g/km] bezogen wäre, würde sich der umgekehrte Effekt ergeben.

ren und für den betroffenen Hersteller im Vergleich zur Konkurrenz einen technologischen Mehraufwand zur Grenzwerteinhaltung erfordern. Dieser Effekt kann auch mit den o. a. Gewichtungsfaktoren je Klasse nicht eliminiert werden. Damit ist ein einheitlicher Flottenzielwert über alle SNF-Klassen keine sinnvolle Option.

Innerhalb der einzelnen Fahrzeugklassen kann eine Gewichtung über die Verkaufszahlen von der realen Fahr- bzw. Transportleistung abweichen, da die Basisfahrzeuge in einigen Fahrzeugklassen heterogene Einsatzprofile (z. B. Regionalverkehr vs. Stadtverteiler) haben können. Diese stehen zum Zeitpunkt der Zertifizierung aber noch nicht fest. Da die Verkaufs- bzw. Zulassungszahl eine eindeutig erhebbare Größe darstellt, die Fahrleistung aber bislang nicht systematisch erfasst wird, ist der Bezug auf Verkaufszahlen administrativ einfacher. Auch bei PKW werden solche Unterschiede toleriert (z. B. unterschiedliche Lebensfahrleistungen von Benzin- und Diesel-PKW). Für die Flottenzielwerte gibt es eine Reihe von möglichen flexiblen Mechanismen, wie z. B. die Bildung von Emissionsgemeinschaften zwischen verschiedenen Herstellern ähnlich wie bei den PKW in der EU oder die Credits-Regelungen, wie sie in den USA bereits etabliert sind. Wichtig ist, dass geregelt wird, welche Konsequenzen, z. B. in Form von Sanktionen, eine Nicht-Einhaltung des Flottenzielwertes hat. Bei den PKW in der EU müssen bei Überschreitung der Flottenzielwerte Strafzahlungen geleistet werden. Im Falle einer Überschreitung der Flottenzielwerte muss der Hersteller für jedes seiner verkauften Fahrzeuge Folgendes zahlen: 5 Euro für das erste g CO₂/km, 15 Euro für das zweite g CO₂/km, 25 Euro für das dritte g CO₂/km und 95 Euro ab dem vierten g CO₂/km²³ [EU, 2009]. Eine vergleichbare Regelung für schwere Nutzfahrzeuge wäre denkbar.

Maximalgrenzwerte könnten ebenfalls je Fahrzeugklasse festgelegt werden. Hier werden die Fahrzeuge bei der Typprüfung vermessen und die Einhaltung der Maximalwerte ist Voraussetzung für die Zulassung eines Fahrzeuges. Anders als bei einem Flottenzielwert dürfen Fahrzeuge, welche diesen Grenzwert überschreiten, nicht verkauft werden.

Ein Beispiel für die Umsetzung eines CO₂-Maximalgrenzwertes ist China. Hier muss jedes neu zugelassene Fahrzeug einen bestimmten Grenzwert einhalten. Sowohl das Basismodell (mit der hinsichtlich des Kraftstoffverbrauchs konservativsten Ausstattung) als auch deren Varianten dürfen nicht mehr Kraftstoff verbrauchen als der Grenzwert vorschreibt. Innerhalb einer Fahrzeugfamilie gilt dabei in China das Modell mit dem größten Gesamtgewicht, der höchsten Motornennleistung oder dem höchsten zertifizierten Kraftstoffverbrauch, der größten Frontfläche, dem kleinsten Reifenrollradius und dem größten Übersetzungsverhältnis der Gangschaltung als Basismodell.

Das Beispiel der CO₂-Regulierung in China zeigt, dass Maximalgrenzwerte vor allem bei heterogenen Fahrzeugklassen mit größeren Verbrauchsunterschieden immer weniger ambitioniert ausfallen werden als ein Flottenzielwert, da sichergestellt sein muss, dass alle Fahrzeuge den Grenzwert mit einem technisch verhältnismäßigen Aufwand auch einhalten können.

- ▶ Sobald Maximalgrenzwerte für wesentliche Segmente einer SNF-Klasse nur mit hohem technischem Aufwand erreichbar sind, während andere Segmente den Grenzwert noch einfach einhalten, ist die CO₂-Minderung unwirtschaftlicher als bei Flottenzielwerten.
- ▶ Orientiert sich der Maximalgrenzwert an einer mit vertretbarem Aufwand möglichen Einhaltung für spezielle LKW mit sehr verbrauchsungünstigem Profil, kann er vor allem bei einer zu weit gefassten Fahrzeugklasse gleichzeitig von vielen anderen LKW der gleichen Fahrzeugklasse mit verbrauchsgünstigeren Fahrzeug-/Einsatzprofilen problemlos eingehalten werden. Diese bekommen aber keine Anreize für darüber hinausgehende Effizienzverbesserungen. Die in

²³ Rechenbeispiel: Liegt der Flottenmittelwert eines Herstellers 5 g über dem Flottenzielwert, beträgt die Strafzahlung 235 € (5 €+15 €+25 €+95 €+95 €) multipliziert mit der Anzahl der verkauften Fahrzeuge

der LKW-Klasse bestehenden Effizienzpotenziale werden damit nicht ausgeschöpft.²⁴ Eine sehr enge Klassifizierung ist hingegen administrativ aufwändig und bräuchte auch fest definierte Fahrzeugeigenschaften, die zur Klassifizierung herangezogen werden können.

Für die CO₂-Regulierung der mit VECTO zertifizierten Basisfahrzeuge sind also keine speziellen Vorteile von Maximalgrenzwerten zu erkennen. Maximalgrenzwerte wären eventuell schnell politisch durchsetzbar, wenn sie so hoch liegen, dass sie für die meisten Neufahrzeuge einfach einzuhalten sind. Dann sind sie aber kaum CO₂-wirksam.

Maximalgrenzwerte könnten allerdings für die Schaffung von technischen Mindestanforderungen an Aufbauten, Anhänger und Auflieger sowie für Spezialfahrzeuge und eventuell auch für ausgewählte Einzelkomponenten genutzt werden, die in der CO₂-Zertifizierung mit VECTO derzeit nicht erfasst werden oder aufgrund ihres speziellen Einsatzprofils nicht in geeigneter Weise in einen Flottenzielwert einzubeziehen sind.

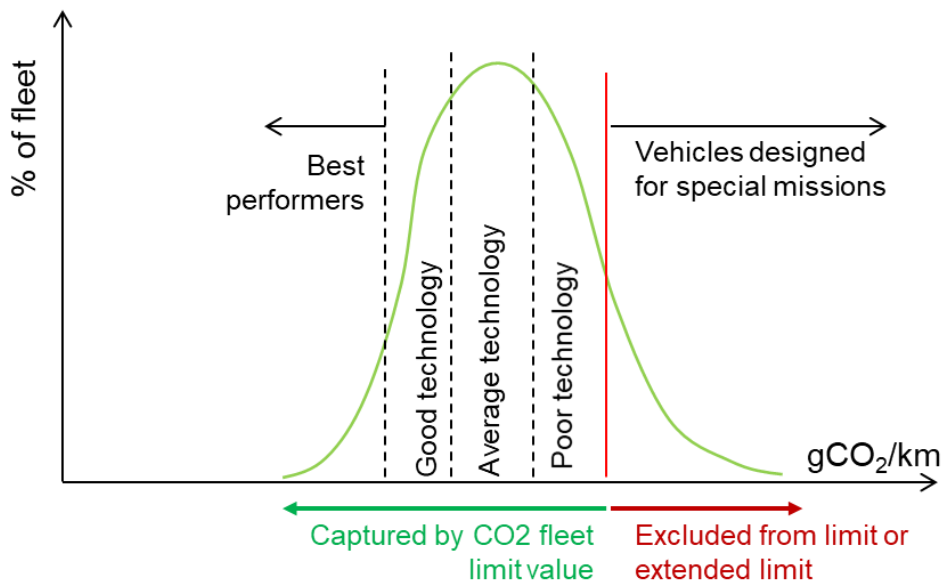
Mit einer solchen Kombination könnte der Anteil der durch die Regulierung erfassten CO₂-Emissionen schwerer Nutzfahrzeuge deutlich gesteigert werden. Insbesondere wenn der Markt viele kleinere Hersteller umfasst (z. B. Aufbauten) sind Maximalwerte wesentlich einfacher administrierbar als Flottenzielwerte. Auf welche Anwendungen Maximalgrenzwerte unter Berücksichtigung der Sonderanwendungen von LKW sinnvoll angewandt werden können, ist noch zu analysieren. Denkbare Regulierungsansätze für nicht mit den Flottenzielwerten erfasste Fahrzeuge bzw. Komponenten beschreibt Kapitel 2.3.

Die sinnvoll anwendbaren CO₂-Minderungstechnologien hängen bei den SNF zum Teil vom späteren Einsatzprofil ab. Können z. B. die später im Fernverkehr eingesetzten LKW mit Seitenverkleidung, Unterbodenabdeckung und Heckeneinzug sowie verbrauchsoptimalen Reifen relativ preisgünstig optimiert werden, so würden diese Maßnahmen bei einem LKW derselben Klasse, der als Kommunalfahrzeug verwendet wird, zwar rechnerisch in VECTO denselben Effekt und somit einen gesunkenen CO₂-Wert in der Statistik ergeben, für die realen CO₂-Emissionen dieses Kfz aber wenig Nutzen bringen. Analoge Probleme treten auch bei alternativen Aufbauten auf, für die Standard-Aero-Pakete keine Vorteile bringen (z. B. Tanklastzug). Wenn LKW dann zur kostengünstigen Erreichung von CO₂-Grenzwerten vom Hersteller mit Technologien verkauft werden, die dem Kunden keinen Verbrauchsvorteil bieten, sind Akzeptanz bei den Betroffenen und der reale Nutzen zur CO₂ Minderung gering.

Ein möglicher Ausweg wäre, die (ambitionierten) Grenzwerte nur für z. B. das 90 %-Perzentil der verkauften SNF eines Herstellers je Klasse festzulegen (Abbildung 9). Das Perzentil wäre so zu definieren, dass der Anteil an Spezialfahrzeugen gerade eben nicht erfasst ist (bei beispielhaft 10 % Spezialfahrzeugen in der Flotte einer SNF-Klasse ergäbe das also das 90 %-Perzentil). Die höchsten 10 % der verkauften SNF könnten dann getrennt limitiert oder mit geringerer Gewichtung in den Flottenwert eingerechnet werden. Für ein getrenntes Limit könnte z. B. das reduzierte Potenzial infolge nicht sinnvoll nutzbarer Technologien berechnet werden und dann als zeitlich konstantes Offset gehandhabt werden.

²⁴ Bei Baustellenfahrzeugen kann z. B. eine starke Untersetzung und sehr profilierte Reifen zusammen mit aerodynamisch ungünstigem Aufbau für die Funktionserfüllung notwendig sein, was zu hohen Verbrauchswerten und damit Problemen mit der Einhaltung von ambitionierten Maximalgrenzwerten führen könnte. Bei zu großzügiger Festlegung der Fahrzeugklassen besteht das Risiko, dass in der Klasse viele Fahrzeuge enthalten sind, die deutlich effizienter sein könnten und für die es keine Anreize zum Heben der Potenziale gibt.

Abbildung 9: Schematische Darstellung der Verteilung der spezifischen CO₂ Werte [g/tkm] einer Flotte innerhalb einer VECTO SNF-Klasse



Quelle: FVT, eigene Darstellung

Bisher konnte keine Definition von „Spezialfahrzeug“ gefunden werden, die nicht missbräuchlich verwendet werden könnte. Eine mögliche Lösung wäre, dass Hersteller selbst Kfz als Spezialfahrzeug deklariert, die dann aus dem Flottengrenzwert fallen, von VECTO aber nur im Zyklus „Municipal Utility“ berechnet werden, was zu hohen CO₂ Emissionswerten führt, da der Zyklus einer Müllsammelroute entspricht. Nimmt man an, dass in Zukunft auch Maut und Steuersysteme auf den CO₂-Wert aufgebaut sein könnten, würde der hohe CO₂-Wert eine missbräuchliche Verwendung vermutlich verhindern. Somit würde ein Hersteller nur die echten Spezialfahrzeuge als solche deklarieren und das bis maximal 10% der insgesamt verkauften LKW. Damit könnte ein unterschiedlicher Anteil von Spezialfahrzeugen je Gruppe einzelner Hersteller auch fair geregelt werden.

Spezialfahrzeuge könnten mit Maximalgrenzwerten behaftet werden, sofern sie eine relevante Menge darstellen.

Empfehlungen/Fazit

Flottenzielwerte ermöglichen die Festlegung ambitionierter Minderungsziele für die SNF-Flotte und geben dabei den Herstellern eine größere Flexibilität zur Einhaltung dieser Minderungsziele gegenüber einer Einführung von Maximalgrenzwerten. Die aufwändige Definition eigener repräsentativer Grenzwerte für alle Fahrzeuge, insbesondere Fahrzeuge mit geringer Anzahl, z. B. Spezialfahrzeuge, entfällt damit. Daher empfiehlt sich für die CO₂-Regulierung schwerer Nutzfahrzeuge in Europa die Verwendung von Flottenzielwerten.

Flottenzielwerte wären individuell je SNF-Klasse vorzuschreiben, da:

- die VECTO-SNF Klassen bereits definiert sind und jeweils SNF mit relativ homogenen Eigenschaften zusammenfassen,
- die g CO₂/tkm mit steigender Nutzlast deutlich sinken und somit zwischen den SNF-Klassen sehr unterschiedlich sind sowie auch die Fahrleistungen in den einzelnen Klassen sehr unterschiedlich sind
- ein Grenzwert über die gesamte verkaufte SNF-Flotte je Hersteller damit je nach Verkaufsanteilen in Klassen mit geringer und mit hoher Nutzlast unterschiedlich schwer erreichbar wäre

re (hohe Anteile von SNF mit hoher Nutzlast führt zu niederen g CO₂/tkm in der gesamten Flotte) und damit nicht wettbewerbsneutral wäre.

Die Grenzwerte je SNF-Klasse müssten je Hersteller eingehalten werden. Überschreitungen der Flottenzielwerte sollten analog zu PKW mit Strafzahlungen mit definierter Höhe je überschrittenem g/tkm und je verkauftem SNF geahndet werden. Die erreichten g/tkm je Hersteller wären jeweils im Folgejahr zentral, z. B. durch die EEA zu ermitteln.

Eventuell können dabei flexible Mechanismen definiert werden, mit denen ein Hersteller Grenzwert-Überschreitungen in einer SNF-Klasse Überschreitungen in einer anderen gegen rechnen kann. Solche Kompensationen müssten die unterschiedlichen erreichbaren g CO₂/tkm sowie die verschiedenen Lebensdauern (Fahr- bzw. Transportleistungen) je SNF-Klasse berücksichtigen. Weiterhin müssen die Möglichkeiten für flexible Anrechnungsmechanismen noch definiert werden. Dies beinhaltet den Handel von Zertifikaten zwischen Herstellern, sowie die Anrechnung von Supercredits oder Öko-Innovationen (siehe Kapitel 2.3.2).

Für vom Flottenzielwert nicht hersteller-/modellspezifisch abgedeckte Spezialfahrzeuge, Aufbauten und Anhänger sowie ggf. weitere Komponenten sind zusätzliche Maximalgrenzwerte denkbar. Damit können technische Mindeststandards definiert und weitere Anreize zur Effizienzsteigerung gesetzt werden.

2.2.3 Fahrzeugklassen und Einsatzzweck

Bei den schweren Nutzfahrzeugen gibt es eine Vielzahl von sehr unterschiedlichen Fahrzeugkonzepten und Nutzungsprofilen, die auch in der CO₂-Gesetzgebung erfasst werden sollten. Verschiedene Klassen von Basisfahrzeugen werden getrennt nach LKW und Bussen über ausgewählte fahrzeugspezifische Parameter (Achszahl, Achsformel, Chassis-Form und maximal zulässiges Gesamtgewicht) abgebildet. Zudem kann das gleiche Basisfahrzeug für unterschiedliche Einsatzzwecke (Fernverkehr, Regionalverteiler, Kommunalfahrzeug etc.) vorgesehen und dafür individuell mit unterschiedlichen Aufbauten, Anhängern u. ä. ausgestattet werden. Das führt zu einer großen Vielfalt an Varianten desselben Basisfahrzeuges mit teilweise sehr unterschiedlichem Verbrauchs- und Emissionsverhalten, beeinflusst von der Fahrzeugkonfiguration ebenso wie vom Einsatzzweck.

Die Klassifizierung in VECTO nach Güter- bzw. Personenbeförderung sowie nach Achszahl, Achsformel (Räder x angetriebene Räder), nach Chassis-Form und maximal zulässigem Gesamtgewicht zeigt Abbildung 10. Zudem werden die Einsatzzwecke und damit die mittlere Beladung, der Arbeitsbedarf für Nebenaggregate und die generischen Aufbauten, Auflieger und Anhänger der entsprechenden SNF-Klasse zugeordnet.

In Abbildung 10 sind jeweils diejenigen Fahrzyklen pro SNF-Klasse mit einem Eintrag versehen, die für die Klasse relevant sind und somit auch in VECTO für das jeweilige Kfz berechnet werden. Der Eintrag in der Zelle beschreibt, in welcher Konfiguration der Zyklus simuliert wird, also ob mit Anhänger(n) und wenn ja, mit welchen. Eine analoge Klassifizierung wurde auch für Busse ausgearbeitet. Die in Klammern geschriebenen SNF werden zumindest vorerst nicht in die CO₂-Zertifizierung eingebunden. Es handelt sich dabei um Spezialfahrzeuge mit sehr geringen Stückzahlen, für die keine allgemein repräsentativen Fahrzyklen und sonstigen generischen Werte aufgestellt werden können.

Abbildung 10: Klassifizierungsschema für N2 und N3

Identification of vehicle class			Vehicle class	Allocation of mission profile and vehicle configuration							Standard body allocation
Axle configuration	Chassis configuration	Maximum GVW		Long haul	Long haul (EMS)	Regional delivery	Regional delivery (EMS)	Urban delivery	Municipal utility	Construction	
4x2	Rigid	>3.5 – 7.5	(0)	excluded							
	Rigid (or tractor)*	7.5 - 10	1			R		R			B1
	Rigid (or tractor)*	>10 - 12	2	R+T1		R		R			B2
	Rigid (or tractor)*	>12 - 16	3			R		R			B3
	Rigid	>16	4	R+T2		R			R		B4
	Tractor	7.5 - 16	5	T+ST	T+ST+T2	T+ST	T+ST+T2				
4x4	Rigid	7.5-16	(6)	excluded							
	Rigid	>16	(7)	excluded							
	Tractor	all weights	(8)	excluded							
6x2	Rigid	all weights	9	R+T2	R+D+ST	R	R+D+ST		R		B5
	Tractor	all weights	10	T+ST	T+ST+T2	T+ST	T+ST+T2				
6x4	Rigid	all weights	11	R+T2	R+D+ST	R	R+D+ST		R	R	B5
	Tractor	all weights	12	T+ST	T+ST+T2	T+ST	T+ST+T2			T+ST	
6x6	Rigid	all weights	(13)	excluded							
	Tractor	all weights	(14)	excluded							
8x2	Rigid	all weights	(15)	excluded							
8x4	Rigid	all weights	16							R	
8x6 8x8	Rigid	all weights	(17)	excluded							

* in these vehicle classes tractors are treated as rigs but with specific curb weight of tractor

R	=	Rigid & standard body
T	=	Tractor
T1, T2	=	Standard trailers
ST	=	Standard semitrailer
D	=	Standard dolly
B1 ... B5	=	Standard bodies defined for specific HDV-class

Quelle: FVT, Anmerkung: Klassennummern in Klammern kennzeichnen Klassen mit Spezialfahrzeugen, die vorerst von der CO₂-Zertifizierung ausgenommen werden sollen.

Die Spalte „Body trailer allocation“ in Abbildung 10 stellt dar, welche Aufbauten, Anhänger bzw. Auflieger bei der jeweiligen Klasse im jeweiligen Einsatzgebiet („Mission Profile“) zu verwenden sind. Die Zuordnung ist relevant für:

- ▶ Luftwiderstandsmessung: da bei der Zertifizierung durch den OEM oft noch unbekannt ist, welcher Aufbau später angebaut wird, sind für die Messung zur Zertifizierung des Luftwiderstandes ($C_w \times A$) standardisierte Aufbauten zu verwenden. Für gute Wiederholbarkeit wurden jeweils Box-Aufbauten als Standard definiert.
- ▶ VECTO-Simulation: der gemessene Luftwiderstand geht als ein Input der Komponente Kfz in VECTO ein. Daneben sind auch die Masse und das Ladevolumen des Aufbaus vordefiniert.

Analog wird auch bei Anhängern und Aufliegern vorgegangen. Da die Zugmaschinen verschiedenste Auflieger führen können, ist auch in diesem Fall die Verwendung von Standard-Aufliegern bzw. -Anhängern sinnvoll. Für einige SNF-Klassen hängt die Verwendung von Anhängern in der Simu-

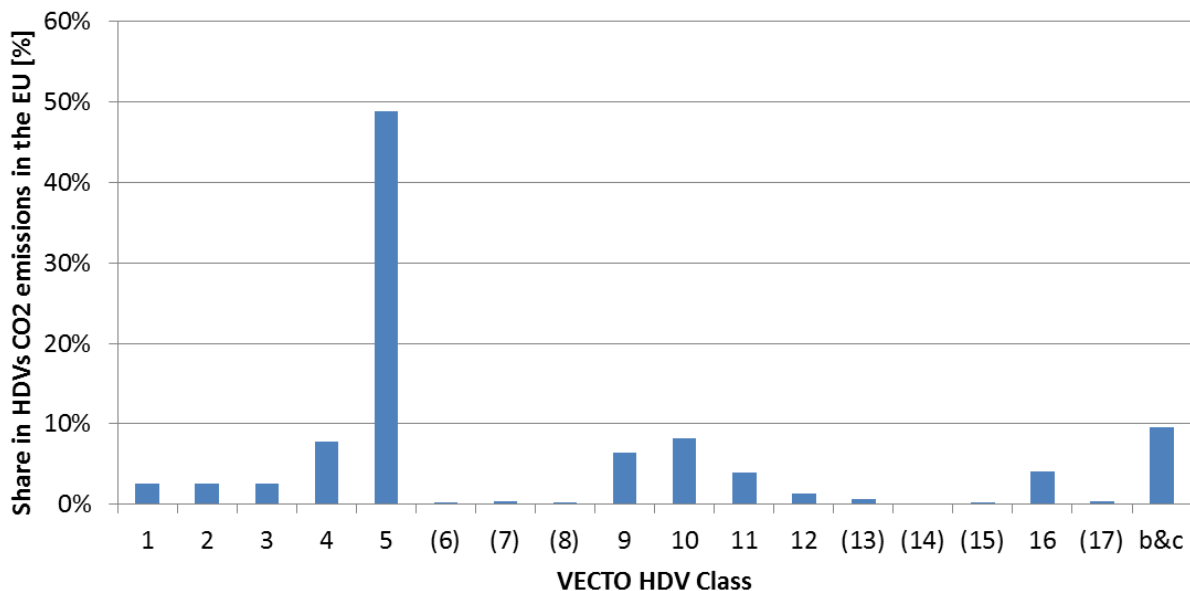
lation vom Einsatzzweck ab. Ein Solo-LKW der Klasse 4 wird z. B. von VECTO im Fernverkehrszyklus mit Anhänger simuliert, im regionalen Verteilerzyklus und im Kommunalfahrzeug-Zyklus jedoch als Solo-LKW. Die Zuordnungen sind in Abbildung 10 jeweils durch die Kürzel (R, T, ST für Rigid, Trailer, Semitrailer) gekennzeichnet. Dementsprechend erhalten die meisten SNF mehrere, teilweise sehr unterschiedliche CO₂-Werte. Für die Kundeninformation ist dies sicher nützlich, für eine eventuelle Klassifizierung nach Fahrzeugeffizienz wäre noch ein Schlüssel für die Gewichtung der einzelnen Ergebnisse auszuarbeiten. Z. B. müsste für Maut- oder Steueranreize für effiziente SNF wohl ein einzelner Effizienzwert erzeugt werden. Auch CO₂-Grenzwerte müssten sich wohl auf einen einzelnen gewichteten CO₂-Wert je SNF-Klasse beziehen. Je Zyklus andere Grenzwerte verhandeln zu müssen, könnte eine zu komplexe (politische) Aufgabe darstellen.

Die von der Zertifizierung erfassten SNF-Klassen decken etwa 98 % der CO₂-Emissionen der SNF in der EU ab (siehe Abbildung 11). Als Einführungszeiträume des CO₂-Monitorings sind folgende Termine vorgesehen (verpflichtende Erzeugung der Verbrauchs- und CO₂-Werte für jedes für die EU produzierte SNF):

- ▶ 01/2019: Fernverkehr LKW (ausgewählte SNF-Klassen 4, 5, 9, 10): ca. 71 % CO₂-Anteil in EU
- ▶ 01/2020: Übrige LKW: ca. 17 % CO₂-Anteil in EU
- ▶ Ca. 2021: Busse: ca. 10 % CO₂-Anteil in EU

Die gestaffelte Einführung für LKW soll helfen, den anfangs hohen Bedarf an Komponententests bewerkstelligen zu können. Vor Beginn der CO₂-Typisierungspflicht müssen alle produzierten Komponententypen gemessen werden, um die Daten für VECTO zu erzeugen. Später fallen nur mehr die neu auf den Markt kommenden Typen für die Messung an. Die LKW mit den höchsten Anteilen an Fahrleistung und CO₂-Emissionen sind in der ersten Einführungsphase erfasst.

Abbildung 11: Anteile der unterschiedlichen SNF-Klassen an den CO₂-Emissionen der SNF in der EU



Quelle: FVT, eigene Darstellung. Erläuterung „b&c“: Abkürzung für „busses and coaches“

Einteilung nach Fahrzeugklassen

Während bei PKW der Zielwert gewichtsabhängig definiert ist, um die Bandbreite an Fahrzeugen abzudecken, bietet sich bei schweren Nutzfahrzeugen eine Unterteilung in verschiedene Fahrzeugklas-

sen mit vergleichbaren Merkmalen und die Festlegung individueller Grenzwerte je Fahrzeugklasse wie in VECTO vorgesehen an²⁵.

Auch in den USA und in China werden derzeit CO₂-Grenzwerte pro Fahrzeugklasse definiert. In China werden dabei pro Fahrzeugkategorie (Sattelzug, Solo-LKW etc.) relativ feine Gewichtsklassen unterschieden.

Inwieweit für VECTO eine weitere Unterklassifizierung notwendig ist, ist derzeit offen. Wenn eine SNF-Klasse sehr inhomogene Kfz beinhaltet, wie etwa eine weitere Spreizung von Maximalgewichten, dann könnte der Grenzwert in einer Klasse auch eine Funktion sein wie z. B. bei den PKW-Grenzwerten. Denkbar ist hier eine vom maximal zulässigen Gesamtgewicht abhängige Funktion für den Grenzwert.

Regulierung von Spezialfahrzeugen

SNF, die nicht in VECTO erfasst sind, können aus heutiger Sicht in der Praxis kaum reguliert werden. Hierbei handelt es sich jedoch im Wesentlichen um Spezialfahrzeuge, für die sich keine einheitlichen Nutzungsprofile (Testzyklen, Aufbauten und Beladungen sowie Leistungsbedarf durch Nebenaggregate) feststellen lassen. Im Rahmen der Analysen in LOT 1 wurde abgeschätzt, dass über 90 % der CO₂-Emissionen von SNF mithilfe der ab 2020 insgesamt für die Zertifizierung vorgesehenen VECTO-Klassen erfasst wären.

Inwieweit einzelne SNF-Klassen, die in VECTO erfasst sind, eventuell von einem Grenzwert befreit werden sollten, kann derzeit nicht abschließend beurteilt werden. Dies wäre dann zu argumentieren, wenn das Monitoring eine starke Spreizung der CO₂-Werte innerhalb einer solchen Klasse zeigt, die sich aus unterschiedlichen Anforderungsprofilen ergibt (z. B. können Übersetzungen und Leergewichte bei mechanisch hoch beanspruchenden Einsatzzwecken durchaus begründet ineffizienter sein als bei anderen SNF). Vermutlich werden die Grenzwerte aber in der EU verhandelt, bevor umfangreiche Monitoring-Ergebnisse verfügbar sind. Damit sollten zumindest für die Verhandlung zu allen in VECTO erfassten Klassen Grenzwerte überlegt werden.

Soweit dieses Problem nur um einen geringen Prozentsatz der Fahrzeuge innerhalb der SNF-Klasse betrifft, erscheint auch eine Ausnahme dieser betroffenen Fahrzeuge und nicht der ganzen Klasse von den Grenzwerten als allgemein mögliche Lösung (z. B. durch Einschränkung der Gültigkeit von Grenzwerten auf ein bestimmtes Perzentil der verkauften SNF einer Klasse, vgl. Erläuterungen in Kap 2.2.2.).

Es wäre auch möglich, ähnlich wie in China, in einem ersten Schritt nur bestimmte Fahrzeugklassen (zum Beispiel die großen Klassen mit hohen Fahrleistungen) zu regulieren. Dabei muss jedoch sichergestellt werden, dass es dadurch nicht zu einer relevanten Verlagerung des SNF-Marktes auf nicht regulierte Nutzfahrzeug-Klassen kommt. Später können weitere Klassen in den Grenzwert mitaufgenommen werden.

Die Analysen der EU zu möglichen Grenzwerten beschränken sich vorerst auch auf die im Fernverkehr genutzten Klassen 4, 5, 9 und 10, die auch als erstes von der Zertifizierung betroffen sind.

Berücksichtigung unterschiedlicher Einsatzzwecke

Auch innerhalb einer Fahrzeugklasse können die Fahrzeuge, je nach Einsatzzweck, sehr unterschiedliche reale Fahrprofile haben. Für die wesentlichen SNF-Klassen gibt es daher in VECTO bis zu drei ver-

²⁵ Da generische Daten, wie z. B. die Beladung zwischen den SNF-Klassen unterschiedlich sind, können nur Ergebnisse innerhalb einer Klasse direkt miteinander verglichen werden. Damit müssen auch Grenzwerte klassenweise festgelegt werden.

schiedene repräsentative **Testzyklen**. Dazu kommen noch jeweils 2 verschiedene Beladungszustände, für die VECTO je Zyklus einen separaten Wert ausgibt.

Da eigene Grenzwerte für alle Kombinationen aus Fahrzeugklasse, Einsatzzweck und Beladung wegen der Vielzahl an Kombinationen kaum beherrschbar wären, sollte ein gewichteter Mittelwert über alle VECTO-Zyklen und Beladungen innerhalb einer SNF-Klasse zur Grenzwertbestimmung genutzt werden. Die entsprechenden Gewichtungen müssten für alle Fahrzeugklassen vor einer Grenzwerteinführung definiert werden. Eine solcher – EU-weit einheitlicher – Gewichtungsschlüssel wäre auch für andere Anwendungsgebiete der VECTO-Ergebnisse dringend erforderlich (z. B. für CO₂-abhängige Steuer- oder Mautsätze), da mit einem einzigen relevanten CO₂-Wert einfacher zu arbeiten ist als mit vier bis sechs verschiedenen Werten je SNF.

Ein über alle Einsatzzwecke gewichteter Mittelwert kann für einzelne Fahrzeuge ungerecht sein, die für einen speziellen Einsatzzweck optimiert sind (z. B. Kommunalfahrzeuge mit verbrauchsintensivem Innerortsprofil in einer gemeinsamen LKW-Klasse mit Fernverkehrs-LKW). Dieses Problem lässt sich jedoch über die Ausgestaltung der Grenzwertregelungen weitgehend entschärfen (z. B. Flottenzielwerte mit Ausnahmen für höchste xx %-Perzentile). Wenn die Hersteller Flottenmittelwerte einhalten müssen, kann der Anteil von verkauften Fahrzeugen mit verbrauchsintensivem Einsatzprofil direkt über eine Zyklengewichtung, die repräsentativ zum Anteil der Nutzung erfolgt (z. B. für Solo-LKW 12 t 70 % urban delivery, 30 % regional delivery), berücksichtigt werden.

Eine weitere Option zum Ausgleich unterschiedlicher Produktpaletten zwischen der Herstellern wäre die Schaffung eines „Kredit-Systems“, bei dem Übererfüllungen der Grenzwerte in einzelnen Klassen eventuellen Untererfüllungen in anderen Klassen gegengerechnet werden können. Das Kredit-System sollte dabei die unterschiedlichen Jahresfahrleistungen und Absolutverbräuche der Klassen und auch die Anzahl der jeweils verkauften Kfz des OEMs je Klasse durch Gewichtungsfaktoren berücksichtigen.

Empfehlungen/Fazit

Die Fahrzeugklassifizierung des VECTO-Modells und der darauf aufsetzenden CO₂-Zertifizierung deckt die wichtigsten SNF-Kategorien ab und sollte die Grundlage einer Grenzwertgesetzgebung bilden. Welche Klassen wann in eine Regulierung einbezogen werden, sollte zeitnah vor der Einführung von Grenzwerten im Detail geprüft und festgelegt werden. Die aktuelle DG CLIMA-Studie zu CO₂-Grenzwerten sieht einen Start der Grenzwertgesetzgebung mit den Klassen 4, 5, 9 und 10 vor, da diese jeweils einen hohen Anteil an den CO₂-Emissionen der SNF in Europa haben.

Zudem enthält VECTO für die Fahrzeugklassen repräsentative Testzyklen, die bereits im CO₂-Monitoring zum Einsatz kommen und für die Grenzwerte ebenfalls verwendet werden sollten. Da in der Typzulassung nur die Fahrzeugklasse, aber nicht der genaue Einsatzzweck ermittelt werden kann, wäre pro Fahrzeugklasse entweder ein repräsentativer Testzyklus oder eine Gewichtung der in VECTO der Klasse zugeordneten Zyklen zu definieren. Analog wäre auch ein gewichtetes Ergebnis für die zwei berechneten Beladungszustände sinnvoll. Diese Vorgehensweise wäre gegenüber Einzelgrenzwerten pro Einsatzzweck pragmatischer, und stellt zumindest bei einem Flottenzielwerte keine Nachteile für Spezialanwendungen dar.

2.2.4 Bewertungsgröße

In Kapitel 1.3.2 wurde bereits auf die Wichtigkeit der Bewertungsgröße und die verschiedenen Möglichkeiten zur Setzung dieser eingegangen. Tabelle 7 zeigt noch einmal die drei Varianten im Überblick.

Tabelle 7: Varianten zur Einbeziehung alternativer Antriebe in die CO₂-Regulierung schwerer Nutzfahrzeuge

	TTW-CO ₂ -Grenzwert	WTW-CO _{2e} -Grenzwert	Relativer Endenergieverbrauch
Kurzbeschreibung der Variante	Verwendung der CO ₂ -Auspuffemissionen	Einbeziehung der CO ₂ -Äquivalent-Emissionen aus der Energieträgerbereitstellung zusätzlich zu den Auspuffemissionen	Bestimmung des Endenergieverbrauchs pro Energieträger
Pro	Starke zusätzliche Anreize zur Einführung von Elektrofahrzeugen Etabliertes System (s. PKW)	Angabe realistischer Umweltwirkungen ohne Vernachlässigung von Emissionsverschiebungen in andere Sektoren/Länder Technologieneutral	Steigerung der Energieeffizienz unabhängig vom Energieträger
Kontra	Minderung der Anforderungen an Verbrennungsmotoren bei steigenden Elektroanteilen Risiko der Verlagerung von Emissionen auf die Energiebereitstellung Bei „Null-Emissionen“ (z.B. Elektro-LKW) kein Anreiz zu Effizienzsteigerungen	Hoher Einfluss der gewählten Vorketten (insb. bei Strom und H ₂) Zusätzlicher Aufwand zur Festlegung generischer Werte für die THG-Emissionen aus der Vorkette WTT werden teilweise bereits anderweitig EU-weit reguliert, z.B. RED	Kein direkter Bezug zu den CO ₂ -Emissionen Zusatzaufwand zur Festlegung von Energieverbrauchslimits (unterschiedlich je Antriebsart)

Mit VECTO können prinzipiell alle Parameter berechnet werden, da der Endenergieverbrauch und die TTW-CO₂-Emissionen bereits integriert sind. Mit entsprechenden WTT-Emissionsfaktoren (g CO₂-Äquivalente/MJ Kraftstoff) können dann auch vorgelagerte Emissionen aus der Kraftstofferzeugung addiert werden.

Derzeit ist es in VECTO noch nicht möglich, elektrische Antriebskonzepte zu modellieren, da weder Elektromotoren, noch die Energiespeicher, noch passende Getriebe im Modell integriert sind. Wie zuvor beschrieben, ist derzeit eine Machbarkeitsstudie für Hybridantriebe für DG CLIMA in Ausarbeitung. Die darauf aufbauende Systemauswahl sollte sicher auch die Zukunftstauglichkeit für PHEVs und für reine Elektroantriebe berücksichtigen. Wenn die verpflichtende CO₂-Zertifizierung von Bussen eingeführt wird, sollten auch PHEVs, HEVs und batterieelektrische Fahrzeuge in VECTO abgebildet sein. Diese alternativen Antriebe sollten dann natürlich auch bei einer Zertifizierung von LKW und Zugmaschinen in VECTO verfügbar sein. Zudem sollte die Möglichkeit der Simulation des Energieverbrauchs und der THG-Emissionen von Dual-Fuel-Antrieben geprüft werden.

Empfehlungen/Fazit

Aktuell ist die Einführung eines CO₂-Grenzwertes (TTW) ausreichend, um die Effizienz der schweren Nutzfahrzeuge in der Gesamtflotte zu steigern. Der Einbezug weiterer Treibhausgase (CH₄, N₂O) erscheint zum jetzigen Zeitpunkt für die direkten Emissionen nur mit erhöhtem Aufwand und gegenüber CO₂ geringerer Genauigkeit möglich.

Wenn alternative Energieträger (Strom, H₂) aber zu Beginn mit Null CO₂ bewertet werden, dürfte es später schwierig werden, die Bewertung zu ändern. Daher wäre die Berücksichtigung der vorgelagerten Emissionen (WTW), etwa bei Strom und Wasserstoff, schon von Anfang an sinnvoll. Dies kann durchaus mit einfachen generischen Werten für vorgelagerte Emissionen [g CO₂/kWh] für zukünftige Grenzwertstufen erfolgen. Bei Null-Emissionen bestünde hingegen kein Anreiz zur Effizienzsteigerung dieser Fahrzeuge.

2.2.5 Bezugsparameter

Wichtig für die Bestimmung der Grenzwerte ist zudem der Parameter der Fahrzeugnutzung, auf den die Bewertungsgröße bezogen wird. Die von VECTO je Kfz erzeugten Ergebnisse sind relativ umfangreich, auch wenn noch nicht fixiert ist, welche davon pro Fahrzeug ausgegeben werden sollen. Es sind:

- ▶ Energieverbrauch in kWh/km, kWh/tkm, kWh/m³-km
- ▶ CO₂-Emissionen in g/km, g/tkm, g/m³-km
- ▶ mittlere Zyklusgeschwindigkeit in km/h
- ▶ jeweils für eine repräsentative Beladung (unterschiedlicher definierter Wert je SNF-Klasse im generischen VECTO-Datensatz) und für 10 % Beladung.

Damit kommt als Bezugsparameter die Fahrleistung (km) ebenso infrage wie ein Bezug auf den Fahrzeugnutzen, d. h. den Transport von Gütern in tkm (LKW) bzw. Personen in P-km (Busse).

Es erscheint grundsätzlich sinnvoll, den Grenzwert in Bezug zum erbrachten oder potenziellen Nutzen zu setzen, also z. B. bei LKW auf tkm zu beziehen: Kfz der größeren Gewichtsklassen haben zwar höhere fahrleistungsbezogene Verbrauchswerte in g/km, aber auch eine höhere Nutzlast. Zudem ist auch die prozentuale Auslastung im Fernverkehr höher als im Verteilerbetrieb. Damit sind die nutzenbezogenen Verbrauchswerte je tkm bei größeren LKW typischerweise deutlich niedriger als bei kleinen LKW. Grundsätzlich kommen je nach LKW-Klasse und -Einsatzzweck unterschiedliche Nutzungsparameter infrage:

- ▶ g CO₂/m³-km: Da in VECTO generische Aufbauten definiert sind (jeweils Boxen), ergeben sich auch generische und je Klasse identische m³ Transportvolumen. Diese haben mit dem Fassungsvermögen des späteren Aufbaus (z. B. Pritsche oder Tank) oftmals keinen Zusammenhang. Diese Einheit wäre also für Kunden irreführend und ist nicht zu empfehlen.
- ▶ g CO₂/km: Dieser Wert hängt stark von der Beladung (Tonnen) ab, da das Gesamtgewicht in die Antriebsleistung eingeht. Er muss also gemeinsam mit der in der Berechnung verwendeten Beladung angegeben werden. Die Beladung ist in VECTO fix je Klasse definiert.
- ▶ g CO₂/tkm (g CO₂/P-km): Dieser Wert hängt ebenfalls stark von der Beladung (Tonnen) ab und muss gemeinsam mit der Beladung angegeben werden.

Mit den je SNF-Klasse fest definierten zwei Beladungen, die von VECTO berechnet werden, enthalten die Einheiten g CO₂/km und g CO₂/tkm also die gleiche Information über die Fahrzeugeffizienz innerhalb einer Klasse (g CO₂/km wird innerhalb einer Klasse lediglich durch einen fix definierten Wert dividiert um g CO₂/tkm zu erhalten). Welcher Wert für eine Grenzwertdefinition verwendet wird, ist innerhalb der einzelnen Klassen also nicht relevant. Werden zusätzlich zu klassenspezifischen Flottenzielwerten auch flexible Mechanismen eingeführt, müsste ohnehin ein Bewertungsschlüssel eingeführt werden, der unterschiedliche Lebensfahrleistungen und unterschiedliche Niveaus in g CO₂/tkm bzw. in g CO₂/km berücksichtigt.

Da in der Simulation mit VECTO die generische Beladung reduziert wird, wenn damit das maximal zulässige Gesamtgewicht des Kfz überschritten würde, könnte ein Bezug auf g CO₂/km das Risiko beinhalten, dass Hersteller das maximal zulässige Gesamtgewicht von Kfz niedriger angeben, um mit der

dann in der Simulation geringeren Beladung auch niedrigere g CO₂/km zu erreichen. Ob solche SNF am Markt bestehen könnten, ist aber fraglich. Insgesamt erscheinen damit aber die g CO₂/tkm etwas robuster als die g CO₂/km bei sonst gleichem Informationsgehalt.

Empfehlungen/Fazit

Als **Bezugsgröße** kommen verschiedene Parameter infrage. Die Emissionen können entweder pro Fahrleistung (Fahrzeug-km) oder pro Verkehrsleistung (tkm, m³-km, P-km) bemessen werden.

Der Informationsgehalt der Größen g CO₂/km und g CO₂/tkm (g CO₂/P-km) bezüglich der relativen Fahrzeugeffizienz innerhalb einer Klasse ist wegen der fixen Beladungen, die in den einzelnen Kfz-Klassen in VECTO hinterlegt sind, gleich. Die Größe g CO₂/tkm erscheint etwas robuster, da sie nicht durch eine Limitierung des Maximalgewichtes des Kfz durch den OEM gesenkt werden kann.

2.2.6 Vorgaben für die Grenzwertermittlung

Um die Höhe der Grenzwerte festzulegen und fortzuschreiben, gibt es unterschiedliche Herangehensweisen:

- ▶ Feste Vorgabe unter Abschätzung der Effizienzpotenziale: Es werden entweder feste Werte oder eine zeitabhängige Grenzwertkurve (z. B. mit einer jährlichen Minderungsrate) festgelegt. Dafür werden die Werte für Referenzfahrzeuge ermittelt und technisch mögliche und wirtschaftlich zumutbare Effizienzpotenziale bestimmt.
- ▶ Top-Runner-Prinzip: Hier werden regelmäßig die effizientesten Fahrzeuge (unterteilt in Fahrzeugklassen) am Markt ermittelt. Nach einer festgelegten Zeit werden die Werte dieser Fahrzeuge dann zum neuen Grenzwert.

Ein Beispiel für **fest vorgegebene Grenzwerte** sind die Flottenzielwerte für PKW in Europa von aktuell 130 g CO₂/km bzw. 95 g CO₂/km ab Ende 2020. Die Grenzwerthöhe wurde bestimmt anhand von Studien wie [TNO, 2006], welche die technischen Potenziale und die damit verbundenen Mehrkosten abgeleitet haben.

In den **USA** wurden die Grenzwerte im Gegensatz zu China unter dem Leitbild von „ambitioniert aber machbar“ (und gleichzeitig „finanziell tragbar und flexibel“) entwickelt, wobei die Industrie und weitere Partner in einem aufwendigen Prozess miteinbezogen wurden. Die Grenzwerte für die Treibhausgasemissionen bzw. den Kraftstoffverbrauch basieren auf den „Baseline“-Werten für Fahrzeugmodelle des Baujahres 2010, die von EPA und NHTSA festgelegt wurden und durchschnittliche Werte für die entsprechenden Fahrzeugtypen darstellen. Mit Hilfe einer Beurteilung ausgewählter, heute verfügbarer Technologiefolgen (Absenkungen der CO₂-Emissionen respektive des Kraftstoffverbrauchs) wurden aufbauend auf die Baseline-Werte Verschärfungen der Grenzwerte für die in den Vorschriften relevanten Baujahre (2014 und 2017) hergeleitet.

Die Höhe der japanischen Grenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge wird anhand eines **Top-Runner-Ansatzes** bestimmt, der auch für andere Bereiche wie z. B. Elektrogeräte oder PKW in Japan eingesetzt wird. Das Produkt mit der besten Performance wird zur Festlegung der neuen Grenzwerte genutzt, die ein paar Jahre später eingehalten werden müssen. Wird das Zieljahr erreicht, wird ein neuer Standard festgelegt, oder, falls die Produkte den Standard deutlich früher erreichen, auch schon davor. Über ein Label für besonders effiziente Produkte, die bereits besser als der Top Runner sind, ist eine Kundeninformation und Werbemöglichkeit gegeben. Hält ein Unternehmen den Standard nicht ein, wird dies ebenfalls veröffentlicht. In vielen Bereichen wurden dabei die Ziele übertroffen oder bereits deutlich früher erreicht. So konnte bei den PKW der Grenzwert für 2010 bereits 2005 erreicht werden [Kodaka, 2008]. Dabei sind die japanischen PKW-Grenzwerte etwas strenger als die EU-Grenzwerte [Puls, 2013].

Prinzipielle Vorteile des Top-Runner-Ansatzes sind, dass nur technisch mögliche Vorgaben gemacht werden können, der technische Spielraum gut ausgenutzt wird, und es zu einem verstärkten Wettbewerb zwischen den Herstellern kommt. Alternativ sind aber auch technische Stillhalteabkommen zwischen relevanten OEMs denkbar. Damit könnte das Ergebnis eines Top-Runner-Ansatzes für schwere Nutzfahrzeuge in Europa z. B. von der ACEA bestimmt werden, in der alle für den europäischen Nutzfahrzeugmarkt relevanten Hersteller vertreten sind. Nachteilig ist auch die schlechte Planbarkeit der Verbrauchs- und Emissionsentwicklung für die EU-Kommission und die geringe Planbarkeit der zukünftigen Anforderungen für die Hersteller. Ein Top-Runner-Ansatz erreicht nur CO₂-Minderungen, welche von vorangehenden Herstellern in Eigenverantwortung realisiert werden, die sich davon einen Wettbewerbsvorteil versprechen.

In Kombination mit einem Flottenzielwert je Klasse, der je Hersteller eingehalten werden muss, dürfte der Top-Runner-Ansatz eine ziemliche Komplexität annehmen. Aus den besten zertifizierten Emissionswerten je Klasse müsste auf einen dann als Limit vorzugebenden Flottenmittelwert je Klasse geschlossen werden. Diese müsste auch die schon diskutierte Streuung in der Flotte wegen der Spezialfahrzeuge und unterschiedlichen Nutzungsprofile berücksichtigen. Es ist nicht anzunehmen, dass die Spezialfahrzeuge dem Entwicklungstrend von Top-Runner-Fahrzeugen ohne weiteres folgen können. Auch müssten in Abhängigkeit der Bewertungsgröße alternative Antriebsarten gesondert behandelt da z. B. ein Elektro-LKW TTW null CO₂-Emissionen hätte und damit automatisch zum Top Runner würde. Einer Gegenüberstellung der beiden Ansätze zeigt Tabelle 8.

Tabelle 8: Methoden zur Ableitung der Grenzwerthöhe und deren Fortschreibung

	Feste Vorgabe	Top Runner Ansatz
Beschreibung	Feste Vorgabe der zeitlichen Grenzwerentwicklung auf Basis von Analysen zu technischen Effizienzpotenzialen und damit verbundenen Kosten.	Definierte Anpassung der Grenzwerte an aktuelle Top Runner (je Fahrzeugklasse) aus dem CO ₂ -Monitoring
Pro	Planbarkeit der Minderungen für Hersteller und Regierungen Beliebige Reduktionsziele (zumindest theoretisch) festlegbar EU-Erfahrungen aus CO ₂ -Gesetzgebung für PKW und leichte Nutzfahrzeuge	Eventuell Verstärkung des Wettbewerbs zwischen den Herstellern Erfolge mit dem Top-Runner-Ansatz in Japan
Kontra	Risiko, dass durch Festlegung zu hoher Referenzverbräuche und/oder zu niedrige Effizienzpotenziale die technisch-wirtschaftlichen Potenziale nur teilweise ausgeschöpft werden	Geringe Planbarkeit der Verbrauchs-/Emissionsentwicklung für die EU-Kommission Geringe Planbarkeit zukünftiger Grenzwerthöhe Risiko, dass Absprachen zwischen Herstellern die Top-Runner-Motivation untergraben

Empfehlungen/Fazit

Die Vorgabe von konkreten Grenzwerten mit einer zeitlichen Entwicklung ist eine in der EU bereits etablierte Vorgehensweise – hiermit sollen die Minderungsanforderungen pro Fahrzeug, aber auch die Gesamtemissionsentwicklung der Fahrzeugflotten in Europa planbarer sein. Es ist dabei zu beachten, dass die Bestimmung der Referenzwerte und der Minderungspotenziale sehr aufwendig sein kann. Zudem sollten die Grenzwerte ambitioniert festgelegt werden. Die aktuell für DG CLIMA laufende Studie arbeitet dazu im Moment Grundlagen aus.

Ein Top-Runner-Ansatz, mit dem in Japan bereits gute Erfahrungen gemacht wurden, sollte trotz seiner geringeren Planbarkeit parallel geprüft werden.

2.3 Einbeziehung von Aufbauten, Anhängern und Aufliegern sowie Umgang mit Ökoinnovationen

Die CO₂-Zertifizierung mit VECTO erfasst die CO₂-Emissionen ganzer schwerer Nutzfahrzeuge. Einzelne verbrauchsrelevante Komponenten werden dabei aber vorerst nicht hersteller-/modellspezifisch berücksichtigt, sondern generisch festgelegt, da sie entweder zum Zeitpunkt der Fahrzeugproduktion noch unbekannt sind (z. B. Aufbauten) oder im Vergleich zum Einfluss auf das Ergebnis aufwändig zu erfassen wären (z. B. Leistungsbedarf der Nebenaggregate).

Damit ist die Optimierung des Zusammenspiels der wesentlichsten verbrauchsrelevanten Komponenten im gesamten Fahrzeug zur Erreichung von Grenzwerten möglich, dem Hersteller wird eine größtmögliche Flexibilität gegeben. Dennoch können mit den derzeitigen Möglichkeiten von VECTO noch nicht alle relevanten technischen Minderungspotenziale für SNF erfasst und somit in eine Grenzwertgesetzgebung einbezogen werden. Auch sind fahrzeugspezifische Regelstrategien (z. B. Schaltlogik von Getrieben) nicht berücksichtigt²⁶.

Nachfolgend wird diskutiert, welche Weiterentwicklungen für die Simulation erforderlich und möglich sind bzw. welche Optimierungsmöglichkeiten eine zusätzliche Regulierung oder Anrechnung von Einzelkomponenten bieten:

- ▶ Alternative Antriebe: Antriebe mit Verbrennungsmotoren und monovalentem Betrieb (CNG, LPG, E85,...) werden mit demselben Testverfahren, wie es für Dieselmotoren entwickelt wurde, zertifiziert. Dafür sind Norm-Kraftstoffspezifikationen definiert, auf die alle Motortestergebnisse umgerechnet werden. Die Kraftstoffspezifikationen des beim Test verwendeten Kraftstoffes müssen dafür analysiert werden. Bei Motoren mit Dual-Fuel-Systemen wäre die Dosierlogik in VECTO vorzugeben. Wie dies einfach, aber in der Typisierung nachprüfbar realisierbar wäre, ist noch offen. Bis wann dieses Thema geklärt werden kann, ist derzeit offen.
- ▶ Weitere alternative Systeme sind noch nicht in VECTO erfassbar. Die wichtigsten sind:
 1. **Elektro-Hybridantriebe:** Diese sind speziell bei Stadtbussen bereits in größeren Stückzahlen am Markt. Dass nur konventionelle Busse eine CO₂-Zertifizierung bekommen, erscheint kein sinnvoller Weg. Die Kommission hat im Juni 2016 eine Machbarkeitsstudie ausgeschrieben, die von der TU Graz bearbeitet wird. Möglichkeiten HEVs, PHEVs und Elektrofahrzeuge in VECTO zu berücksichtigen, wurden bereits im Juli 2015 in einem Workshop an der TU Graz erarbeitet und diskutiert. Die Optionen werden in der Studie vertieft. Die Implementierung in VECTO mit Komponentenmessung von Bat-

²⁶ Diese müssten z. B. über Software oder Hardware in the Loop (SIL, HIL) erfasst werden. Diese Methode ist Standard in der Kfz-Entwicklung, für eine Typprüfung zumindest derzeit aber noch zu aufwändig.

terie und Elektromotor sowie einer generischen Hybridregelung erscheint aus heutiger Sicht die beste Lösung zu sein. Dabei ist die Erarbeitung einer generischen Hybridregelung, die aus den Betriebsmodi allgemein gültig je nach Fahrsituation auswählt, eine herausfordernde Aufgabe. Die Hybridregelung des OEM mittels HIL oder SIL zu verwenden würde voraussetzen, dass die Strategie im Rahmen der Typprüfung auch verifiziert werden kann. Dazu sind bislang nur aufwändige und teure Möglichkeiten bekannt, die HEVs in der CO₂-Zertifizierung gegenüber konventionellen Antrieben benachteiligen würden. Als einfachste Alternative könnten Abschlagfaktoren auf VECTO-Ergebnisse konventioneller Kfz eingesetzt werden, die z. B. eine Funktion der Kfz-Kategorie und der verbauten elektrischen Systeme sein können. Welche Strategie in Zukunft verfolgt wird, ist offen. Ein Entwurf zum Abschlussbericht wurde im Sommer an die Kommission übermittelt.

2. **Smarte Systemsteuerungen:** Solche Systeme regeln den Betrieb der Nebenaggregate, um Schleppverluste zu vermeiden bzw. um die Aggregate möglichst nur dann anzutreiben, wenn das keinen Kraftstoffmehrverbrauch bedeutet (z. B. im Schleppbetrieb). Solche Regelstrategien könnten prinzipiell in VECTO implementiert werden. Das Problem ist aber wiederum, dass entweder generische Regler entwickelt werden müssten, die allen Herstellern gerecht werden, oder dass Prüfverfahren entwickelt werden müssen, wenn OEM-spezifische Strategien abgebildet werden sollen. Ob, wie und wann smarte Steuerungssysteme in der Zertifizierung berücksichtigt werden, ist offen. Langfristig werden solche Systeme vermutlich wesentlich zu CO₂-Minderungspotenzialen beitragen und sollten daher abbildbar sein.
3. **WHR:** Wenn die Energie in Form von Arbeit an den Antrieb eingespeist wird, könnte der Effekt beim Vermessen des Motorkennfeldes mit erfasst werden. Wenn jedoch keine mechanische Energie erzeugt wird, sondern z. B. elektrische oder hydraulische, dann müssten die entsprechenden Komponenten (Energiewandler und Speicher) in VECTO abgebildet werden. Zudem wären passende Komponententests zu entwickeln, um die nötigen VECTO-Eingabedaten im Rahmen von Komponentenzertifizierungen zu erzeugen. Ein Datum für die Bearbeitung des Themas ist noch nicht festgelegt.
4. **Fahrerassistenzsysteme:** Moderne Systeme können z. B. die Fahrgeschwindigkeit anhand der Routenwahl optimieren. Solche Regler könnten auch in VECTO implementiert werden. Für die wichtigsten Funktionen gibt es auch schon relativ weit entwickelte Methoden für die Simulation mit VECTO. Allerdings gibt es bislang kein Budget, diese auch in VECTO zu implementieren. Der Mangel an Budgetmitteln ist auch bei den anderen o. a. Energiesparsystemen wesentlicher Grund, dass sie bisher nicht in der CO₂-Zertifizierung betrachtet sind. Ein Datum für die Bearbeitung des Themas ist noch nicht festgelegt.

Eine Kurzübersicht zu den aktuellen Möglichkeiten der Verbrauchssimulation mit VECTO sowie der geplanten und noch offenen Punkte zeigt Tabelle 9.

Tabelle 9: Übersicht zum Entwicklungsstand von VECTO (Juni 2017)

	Vorhanden	In Planung	Noch offen
Berücksichtigte Fahrzeugklassen	Alle LKW und Zugfahrzeuge, ausgenommen Spezialfahrzeuge mit sehr geringen Stückzahlen	Stadt- und Reisebusse bis 2018	Spezialfahrzeuge und SNF mit speziellen Aufbauten (Müllfahrzeuge in VECTO vorhanden, jedoch nicht in Gesetzgebung, weitere noch offen, z. B. Straßenreinigung,...)
Komponenten	Motor, Nebenaggregate, manuelle und automatisierte Getriebe, Achsen, Reifen, Luftwiderstand	Automatikgetriebe bis August 2017	Waste Heat Recovery (WHR), Advanced Driver Assistance Systems (ADAS), Kfz-spezifische Nebenaggregate und deren intelligente Regelung
Antriebs- und Kraftstoffarten	Diesel, CNG, LNG, LPG, Biokraftstoffe, Wasserstoff (theoretisch möglich)		Elektromotor, Energiespeicher für HEV und PHEV

2.3.1 Regulierung von Aufbauten, Anhängern und Aufliegern

Speziell im Fernverkehr sind durch aerodynamische Maßnahmen am Auflieger erhebliche CO₂-Minderungspotenziale (>6 %) bei gutem Verhältnis von Nutzen zu Kosten vorhanden [UBA, 2015a]. Da es für die Vermessung des Luftwiderstandes von Aufbauten, Anhängern und Aufliegern jedoch noch kein ausreichend preiswertes Verfahren in VECTO gibt, müssen diese zumindest so lange aus Grenzwertprozessen heraus gehalten werden, bis ein standardisiertes Verfahren zur Erfassung ihrer Effizienz verfügbar ist. Zur Festlegung von Grenzwerten für das Gesamtfahrzeug in VECTO, können dazu derzeit nur die vorhandenen Kombinationen mit Standardaufbauten und Standardaufliegern verwendet werden. Damit können einige Effizienzmaßnahmen, z. B. Aerodynamikbauteile an Anhängern, noch nicht abgebildet werden. Solange diese Maßnahmen nicht dargestellt werden können, muss die Höhe der Grenzwerte entsprechend angepasst sein. Eine praktikable und preiswerte Methode zur Abschätzung der Änderung der CO₂-Emissionen über die Änderung des Luftwiderstandes ($C_w \times A$) gegenüber dem Standardaufbau- bzw. -Standardanhänger wird derzeit entwickelt, die Finanzierung des Vorhabens sowie die Umsetzung für VECTO müsste von der EU-Kommission vorangetrieben werden, wenn in absehbarer Zeit eine verpflichtende Erfassung von Aufbauten und Anhängern mit VECTO erreicht werden soll. Alternativ können ggf. auch Mitgliedstaaten zur Ausarbeitung eines passenden Verfahrens beitragen.

In den USA sollen mit der Phase 2 der THG-Regulierungen nach Vorschlägen der EPA und der NHTSA Standards für Auflieger ab Januar 2018 eingeführt werden, die ab 2021 verpflichtend erfüllt werden müssen²⁷. Weitere Verschärfungen der Standards sind 2024 und 2027 angekündigt, mit denen 9 % CO₂-Minderungen umgesetzt werden sollen. Die Standards gelten für boxförmige Auflieger für Sattelzüge mit und ohne Kühlaggregate. Die Hersteller können Maßnahmenpakete aus Aerodynamik, Reifenwahl, Leichtbau und automatischen Reifendruck-Überwachungssystemen zusammenstellen.

Für andere Aufliegertypen sowie für Box-Auflieger, deren Nutzungsbestimmung Aerodynamikpakete nicht sinnvoll macht, sind nur Reifen und Reifendruck-Überwachungssysteme zu wählen. Die Stan-

²⁷ US EPA, NHTSA: Greenhouse Gas Emissions and Fuel Efficiency Standards for Medium- and Heavy-Duty Engines and Vehicles - Phase 2; RIN 2060-AS16; RIN 2127-AL52; US 2016 sowie bzw. www.nhtsa.gov/fuel-economy für NHTSA

dards sollen jeweils vom Mittelwert der vom Hersteller im Jahr verkauften Box-Auflieger erfüllt werden. Die EPA hat dazu ermittelt, dass über die Lebensdauer der Auflieger etwa US \$ 20.000 Kraftstoffkosten gespart werden, was die Mehrkosten deutlich überwiegen soll. Die Hersteller werden mit dem „EPA Smart Way“²⁸ Programm bei der Zielerreichung unterstützt. Zum Nachweis der Einhaltung der Standards wird für die Auflieger – gegenüber den für Zugmaschinen gültigen Testmethoden – ein vereinfachtes Verfahren vorgeschlagen. Um die kostenintensive Messung des Luftwiderstandes zu vermeiden, werden die Aufliegertechnologien in Aerodynamik-Klassen unterteilt, zu denen das „Smart Way“-Programm schon zertifizierte Komponenten auflistet. Neue Technologien müssen aber dasselbe Testverfahren wie für Zugmaschinen verwenden. Das US-Aerodynamiktestverfahren für den Luftwiderstand beruht auf Ausrollversuchen und muss bei verschiedenen Seitenwindsituationen durchgeführt werden, so dass es vermutlich merklich aufwändiger ist als das EU-Verfahren.

Mit den für den Auflieger bestimmten Werten zu Masse und Rollwiderstand sowie einer Änderung des Luftwiderstandes gegenüber einem Referenzaufliieger werden – wie auch bei LKW – mit dem Simulationsprogramm GEM die CO₂-Emissionen je tkm berechnet, allerdings mit einem vordefinierten Zugfahrzeug. Die o. a. Limits für Auflieger gelten für diesen berechneten CO₂-Wert bzw. bei den NHTSA-Standards für den Verbrauch je 1.000 tkm.

Derzeit wird sowohl in der EU als auch in den USA versucht, eine einfache Computational Fluid Dynamics (CFD)-Simulationssoftware aufzubauen, mit deren Hilfe die Änderung des Luftwiderstandes ($C_w \times A$) gegenüber den Standard-Aufbauten preiswert und doch ausreichend genau bestimmt werden könnte. Wenn das gelingt, kann die VECTO-Software entweder das gesamte Fahrzeug mit geändertem Luftwiderstand für die Zertifizierung berechnen oder einfach die Änderung der CO₂- und Verbrauchswerte gegenüber dem Standardaufbau bzw. Standardanhänger bestimmen. Letztere Variante erscheint aus heutiger Sicht einfacher und würde auch die separate Zertifizierung von Anhängern und Aufliegern unterstützen. Das Ergebnis der Simulation und vermutlich der relevante Wert in der Zertifizierung wären „Mehr- und Minderemissionen in Prozent gegenüber dem Standardsystem“. Die Entwicklungsarbeiten dazu werden derzeit vorwiegend von CLCCR (International Association of the Body and Trailer Building Industry) getragen.

Bei Aufbauten, Anhängern und Aufliegern stellt sich auch generell die Frage, ob diese einzeln oder jeweils in Kombination mit Chassis, LKW oder Zugfahrzeug zertifiziert werden sollten. Wegen der Vielzahl an möglichen Aufbauten (Pritsche, Box in Hartbauweise oder Plane sowie in unterschiedlichen Volumen, Tank, Sonderaufbauten) dürfte eine Kombination von Kfz und Aufbauten und Anhängern eine Grenzwertfindung für die SNF erschweren. Zudem müssten in der Zertifizierung eines Fahrzeugs mehrere Hersteller gemeinsam eingebunden werden, da Aufbauten und Anhänger üblicherweise von anderen Herstellern kommen als die Basisfahrzeuge. Dabei stellt sich natürlich auch die Frage, wer für eine Nicht-Erfüllung von Grenzwerten verantwortlich ist und wie dabei Flottenwerte gebildet werden können. Es könnte auch zu ungewollten Effekten kommen, indem z. B. Aufbauten angeboten werden, die zwar aerodynamisch günstig sind, speziellem Kundenbedarf (z. B. hohes Transportvolumen) aber dann nicht entsprechen.

Um die Vielzahl an kleineren Herstellern in der EU, u. a. auch von Sonderaufbauten, nicht vom Markt zu verdrängen, wäre eine Konzentration auf die im Fernverkehr relevanten Sattelaufliieger zumindest für den Anfang sinnvoll. Sattelfahrzeuge haben einen hohen Anteil an den CO₂-Emissionen der SNF, und wegen der hohen Geschwindigkeit hat die Aerodynamik auch einen großen Einfluss auf deren

²⁸ Die SmartWays Transport Partnership ist eine öffentlich-private Partnerschaft, welche darauf abzielt, die Effizienz im Transportsektor zu steigern sowie die Treibhausgasemissionen und die Luftschadstoffemissionen zu verringern. Sie wurde 2004 gemeinsam von der US EPA (Environmental Protection Agency) und verschiedenen Industriepartnern sowie Umweltorganisationen ins Leben gerufen.

Energieverbrauch. Dadurch könnten CO₂-Abweichungen gegenüber dem Standardauflieger als VECTO-Ergebnis für Auflieger erzeugt werden. Hierfür könnten zumindest für die typischen Aufliegerarten Maximalwerte als Grenzwerte festgelegt werden, die schrittweise die Verwendung von Aeropaketen erfordern (Seitenverkleidung, Heckspoiler etc.). Für alternative Aufbauten, Auflieger und Anhänger könnte die Möglichkeit, mit VECTO die relative Änderung im Verbrauch gegenüber den Standardaufbauten darzustellen, als Basis für Maximalgrenzwerte herangezogen werden. Je nach Aufbauart wären dann Maximalwerte für den Mehrverbrauch zu definieren. Alternativ könnten analog zu den Zugfahrzeugen Flottengrenzwerte eingeführt werden, um den unterschiedlichen CO₂-Minderungspotenzialen verschiedener Bauarten besser Rechnung zu tragen. Ausnahmen für Kleinbetriebe wären dann aber zu prüfen.

Bei mehrstufigen Herstellungsprozessen, in denen das Chassis vom OEM an Aufbautenhersteller verkauft wird, ist eine Grenzwertdefinition komplexer, da die Aufbauten aus dem Einsatzprofil unterschiedliche aerodynamische Eigenschaften aufweisen (z. B. verursacht ein Pritschenaufbau wesentlich mehr Luftwiderstand als ein Kastenaufbau). Eine Einbeziehung alternativer Aufbauten in Grenzwerte erscheint bei den LKW also schwieriger als bei den Zugfahrzeugen. Aus heutiger Sicht könnte man sich bei der Ausarbeitung von Grenzwerten und zugehörigen Methoden auf Kofferaufbauten konzentrieren, da diese am meisten Potenzial zur Verminderung des Luftwiderstandes haben dürften. Dachspoiler (ca. 15 % Luftwiderstandsminderung) und Heckeinzug (ca. 7 % Luftwiderstandsminderung) wirken nur bei dieser Aufbauart sinnvoll.

Die Bestandsanteile unterschiedlicher Aufbau- und Auflieger-Kategorien wurden in [Rexeis et al., 2012] erhoben, die Datenlage dazu ist eher unsicher, die Größenordnungen sollten aber korrekt sein. Tabelle 10 fasst die Ergebnisse zusammen. Demnach haben die Box-Aufbauten jeweils die höchsten Anteile, dort sind mit Dachspoiler, Seitenverkleidung zwischen LKW und Aufbau bzw. Auflieger, Heckeinzug etc. auch die höchsten Potenziale zu aerodynamischer Optimierung gegeben. Nachteilig wäre hierbei wenn in Folge von isolierten Grenzwerten für LKW und Zugmaschinen jeder LKW mit Dachspoiler und Seitenverkleidung passend für den Normaufbau (jeweils Box) ausgeliefert wird, ein wesentlicher Teil der SNF dann aber mit dazu völlig unpassendem Aufbau ausgestattet wird. Somit können die aerodynamischen Maßnahmen zwar in VECTO wirksam sein, real bei vielen Konfigurationen aber sogar Fahrwiderstandserhöhungen bewirken. Dieser Effekt würde wiederum die Wahl- und Steuermöglichkeiten des Verbrauchs durch den Endkunden – den Spediteur – negativ beeinflussen, obwohl es ein erklärtes Ziel der Gesetzgebung ist, ein Auswahltool für den Käufer bereitzustellen.

Tabelle 10: Bestandsanteile verschiedener Aufbau- und Aufliegertypen (TUG, 2012)

	Box	Tank	Container	Kipper	Sonstige	Summe
LKW-Aufbauten	39 %	2 %	8 %	18 %	34 %	100 %
Auflieger	60 %	7 %	8 %	12 %	13 %	100 %
Anhänger	31 %	4 %	16 %	18 %	31 %	100 %

Eine Abwägung der Einbeziehung von Aufbauten versus separater Regulierung zeigt Tabelle 11.

Tabelle 11: Berücksichtigung der Aufbauten

	Einbeziehung der Aufbauten	Separate Regulierung der Aufbauten
Kurzbeschreibung der Variante	Regulierung des Gesamtfahrzeuges inklusive Aufbauten/Auflieger/Anhänger	Getrennte Grenzwerte für Aufbauten/Auflieger/Anhänger
Pro	Hebung aller Effizienzpotenziale (auch im Zusammenspiel mit dem Zugfahrzeug). Da die LKW-Aufbauten später fix am LKW sind, wäre für diese eine gemeinsame Zertifizierung am ehesten sinnvoll. Die Masse des Aufbaus könnte grundsätzlich in VECTO berücksichtigt werden, eine $C_d \times A$-Bewertung könnte sich auf Box-Aufbauten für den Fernverkehr beschränken und vordefinierte $C_d \times A$-Reduktionen für spezielle Technologien verwenden (z. B. für Heck-einzug).	Für Anhänger und Auflieger besteht keine dauerhafte Zuordnung zum Zugfahrzeug. Diese müssten daher getrennte Ziel- oder Grenzwerte erhalten.
Kontra	Messung von $C_d \times A$ alternativer Aufbauten aktuell in Gesetzgebung nicht enthalten. Zudem kein preiswertes Messverfahren für den Luftwiderstand alternativer Aufbauten vorhanden. Vielzahl an Herstellern und Kombinationsmöglichkeiten erschwert Grenzwertdefinition. Mehrstufige Herstellungsprozesse erschweren klare Zuordnung, wer für Einhaltung verantwortlich ist. Die Berücksichtigung der realen Anhänger und Aufbauten bei Grenzwerten der Kfz könnte zu einer konzentrierten Zusammenarbeit von Fahrzeugherstellern mit großen Anbietern von Anhängern und Aufbauten führen. Kleinbetriebe würden diesem Prozess vermutlich nicht erfolgreich folgen können.	Separate Ergebnisse aus einer CO₂-Zertifizierung für Aufbauten, Anhänger und Auflieger sind im ersten Schritt der VECTO-Einführung nicht zu erwarten. Eventuell zu hoher Aufwand für die (kleineren) Hersteller aufgrund der großen Variantenvielfalt. Es müsste erst eine preiswerte Methode zur Bestimmung des Luftwiderstandes für Aufbauten und Auflieger erarbeitet werden (z. B. CFD simulationsbasiert). Alternativ könnten nur die Daten zu Reifen und Masse des Aufliegers aus Messungen kommen und Aeropakete vordefinierte $C_d \times A$ Reduktionen verwenden (z. B. für Heckeinzug und Seitenverkleidungen). Gegenüber den vordefinierten Werten weiterreichende Minderungen wären durch Messungen zu zertifizieren.
Bemerkungen	Die Kfz werden in der ersten VECTO-Phase mit standardisierten Aufbauten bzw. Anhängern typisiert. Aufbauten sind also berücksichtigt, aber in der Regel nicht identisch mit dem Aufbau, der beim Kunden ankommt.	Um die Vielzahl an kleineren Herstellern, u. a. auch von Sonderaufbauten, nicht vom Markt zu verdrängen, wäre eine Konzentration auf die im Fernverkehr relevanten Sattelauflieger zumindest für den Anfang sinnvoll.

Empfehlungen/Fazit

Grundsätzlich ist es wünschenswert, dass mit der CO₂-Gesetzgebung und der Simulationssoftware möglichst alle im gesamten Fahrzeug vorhandenen Minderungspotenziale abgedeckt sind. Allerdings stellt sich jeweils die Frage, inwiefern die zusätzlichen Kosten und der Verwaltungsmehraufwand eine CO₂-Minderung durch die Aufnahme in VECTO oder eine getrennte Regulierung aufwiegen.

Insbesondere die Auflieger, Aufbauten und Anhänger im Fernverkehr haben erhebliches Optimierungspotenzial. Die Festlegung von Grenzwerten sollte daher für die bezüglich der gesamten CO₂-Emissionen besonders relevanten Aufbau- und Auflieger-Arten beginnen. Um deren Potenzial zu nutzen, wäre eine mehrstufige Einbeziehung in die CO₂-Zertifizierung empfehlenswert:

- 1) Einfache Zertifizierung (Änderung Verbrauch gegenüber Normaufbau). Dabei können Rollwiderstand und Leermasse als Messgrößen, der Luftwiderstand als berechnete Größe eingesetzt werden. Für Änderungen des Luftwiderstandsbeiwertes gegenüber dem Normaufbau könnten einfache Abschlagwerte definiert werden (z.B. für Heckenzug und Seitenverkleidung, wenn vorhanden).
- 2) Genauere Zertifizierung. Ein geeignetes, preiswertes Verfahren zur genaueren Luftwiderstandsbestimmung von Aufbauten und Aufliegern wäre zu erarbeiten und zusätzlich oder anstelle der Abschlagwerte zu verwenden. Ausnahmen für Kleinbetriebe wären zu prüfen.

Eine Limitierung von Maximalwerten dürfte für kleinere Betriebe einfacher zu handhaben sein als Limits für Flottenmittelwerte. Alternativ könnten im Falle Flottenzielwerten Ausnahmeregelungen für kleine Betriebe entwickelt werden.

Alternativ könnten die Aufbauten und Auflieger zusammen mit dem Chassis bzw. dem Zugfahrzeug zertifiziert werden. Dieser Ansatz könnte zu einer ganzheitlich aerodynamischen Optimierung führen, würde aber vermutlich Kleinbetriebe vom Markt drängen, da gesamtheitliche Optimierungen eher zwischen Fahrzeugherstellern und einigen großen Aufbauherstellern in Kooperation machbar erscheinen.

2.3.2 Anrechnung von Öko-Innovationen

Die CO₂-Grenzwerte für das Fahrzeug können nur solche Fahrzeugtechnologien direkt einbeziehen, deren Wirkung auf Energieverbrauch und Emissionen mit VECTO abgebildet werden können. Allerdings gibt es auch Möglichkeiten zur Verbrauchsreduktion, die zumindest vorerst nicht in VECTO simuliert werden können.

Das betrifft beispielsweise Fahrerassistenzsysteme (Advanced Driver Assistant Systems, ADAS), die Geschwindigkeit und Gangwahl dem kommenden Höhen- und Routenprofil zur Verbrauchsminimierung anpassen, oder Platooning, d. h. die Kopplung mehrerer Fahrzeuge mittels „elektronischer Deichsel“ zu Fahrzeugverbänden, was deutliche Einsparungen des luftwiderstandsbedingten Verbrauchs beim Einzelfahrzeug bewirken kann. Auch für andere innovative Technologien (z. B. WHR, intelligente Regelung von Nebenaggregaten, Bremsenergieerückgewinnung, DualFuel-Motoren, Elektro- und Hybridantriebe sowie zugehörige Energiespeichersysteme) gibt es noch keine Möglichkeit, diese in VECTO abzubilden.

Damit die CO₂-Regulierung Anreize für die Hersteller schafft, auch solche nicht VECTO-kompatible CO₂-mindernde Technologien in den Fahrzeugen zu integrieren, könnten beispielsweise die CO₂-Reduktionen solcher Technologien über ein Add-On-Verfahren, ähnlich dem bei PKW verwendeten EcoInnovations-Ansatz, bewertet und in der CO₂-Zertifizierung berücksichtigt werden.

In den USA gab es in Phase 1 hierzu folgende Möglichkeiten:

- "Advanced Technology Credits": Die Minderungspotenziale fortschrittlicher Technologien werden mit einem Gewicht von 1,5 bewertet: Mittels der Produktion von Motoren mit WHR und Hybrid-, Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeugen erzeugte Credits können zudem über sämtliche Fahrzeug- und Motorenkategorien verteilt werden. Für die Berechnung der Credits

von Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeugen werden ausschließlich die TTW-Emissionen (=0 für diese Antriebstechnologien) berücksichtigt.

- "Innovative Technology Credits": Technologien, die Treibhausgasemissionen bzw. den Kraftstoffverbrauch senken, die aber nicht mit dem Tool GEM simuliert werden können, können gleichwohl als Gutschriften eingesetzt werden. Diese Absenkungspotenziale müssen aber mit spezifischen Tests (Prüfstände und On-Road) nachgewiesen werden. Diese Art von Credits können nur in derselben Motoren/Fahrzeug-Unterkategorie verrechnet werden.

In Phase 2 wurden die Advanced Technology Credits abgeschafft, da diese Technologien bereits zur Zielerreichung miteinbezogen wurden. Auch die Innovative Technology Credits gelten nur noch in reduzierter Form [EPA 2016].

Bei den PKW-Flottenzielwerten in Europa können EcoInnovations mit bis zu 7 g CO₂/km zur Erreichung des Flottenzielwertes von 95 g CO₂/km ab 2020 eingerechnet werden. Dabei dürfen sie nur eine geringe aktuelle Installationsrate (2009 maximal 3 %) haben und nicht unter die Maßnahmen fallen, die bereits zu einer Heraufsetzung des 2015er Ziels von 120 g auf 130 g CO₂/km geführt haben²⁹.

Technologien, die als EcoInnovations zugelassen sind, umfassen z. B.

- LED-Scheinwerfer (Audi): Reduktion des Stromverbrauchs der Beleuchtung
- Wechselstromgenerator (Valeo): Hoher Wirkungsgrad
- Motorraumkapselung (Daimler): Warmstart des Motors
- Batterieladezustand (Bosch): Navigationsbasierte Vorkonditionierung des Batterieladezustands
- PKW-Solardach (Asola Technologies): Laden der PKW-Batterie mittels PV.

Derzeitig wird die Möglichkeit der Anrechnung von EcoInnovations im PKW-Bereich jedoch nur wenig genutzt.

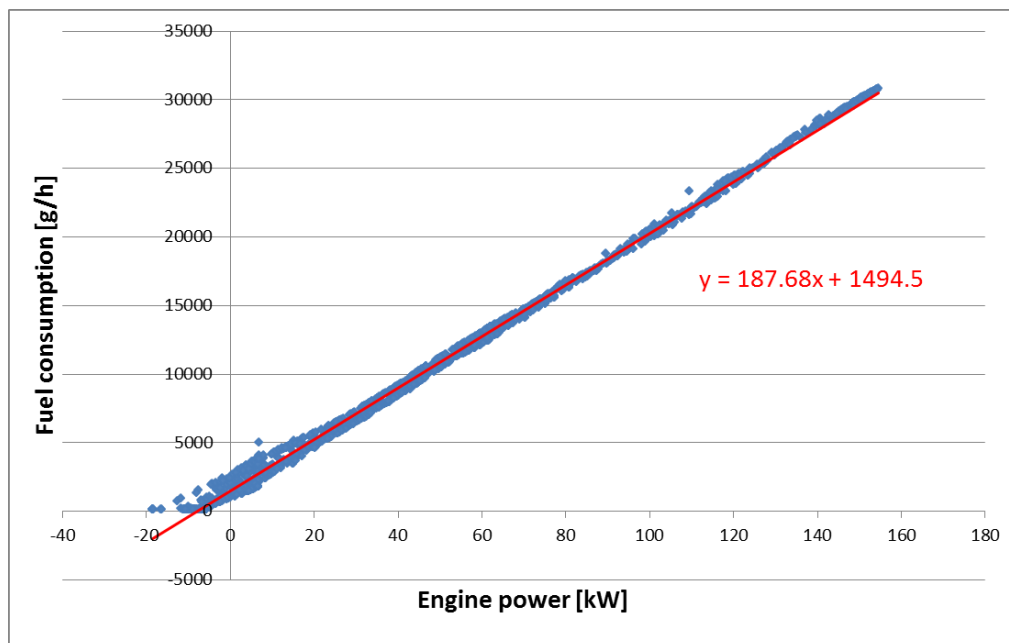
Die wesentliche Hürde zur Implementierung eines solchen Add-On Verfahrens zu VECTO ist die bislang fehlende klare Definition, wie die Technologiepotenziale denn bewertet werden sollen. Dazu gibt es grundsätzlich folgende Optionen:

- **Bewertung durch Messung oder Simulation** mit beliebigen Verfahren und Instrumenten nach Stand der Technik: Für diesen Weg braucht es hochqualifiziertes Personal auf Seiten der abnehmenden Behörde, da sonst ein Missbrauch durch Hersteller nicht auszuschließen ist. Da die Ergebnisse vermutlich auch in die Kundeninformation einfließen sollten, um Anreize für den Einsatz innovativer Technologien zu forcieren, sind auch wenige Prozent fälschlich angerechnete Verbrauchsminderung eventuell stark wettbewerbsverzerrend. Diese Methode erscheint daher für Europa mit seinen vielen nationalen Typprüfbehörden unterschiedlichster Qualifikation nicht geeignet.
- **Ausarbeitung eines standardisierten Bewertungsschemas** für innovative Technologien: Da grundsätzlich Verbrauchsänderungen mit Änderungen mechanischer oder elektrischer Arbeit im Testzyklus verbunden sind, könnte ein Standardansatz auf die Erfassung dieser Änderungen und der Umrechnung der Arbeit (kWh) in Verbrauch (Gramm oder kWh Kraftstoffenergie) über eine bereits in VECTO implementierte Größe erfolgen. Diese Größe stellt den zusätzlichen Verbrauch [g/h] je zusätzliche abgegebener Leistung [kW] als Geradengleichung dar. Der Ansatz („Veline“), wurde bereits für Korrekturen im PKW-Testverfahren (WLTP) eingesetzt und

²⁹ Zu nicht als EcoInnovations zugelassenen Maßnahmen gehören u. a. Mindeststandards für die Effizienz von Klimaanlage, Reifendrucküberwachungssysteme, Einsatz von Gangwechselanzeigen und ein erhöhter Einsatz von Biokraftstoffen.

wird in VECTO genutzt, um Korrekturen für den Verbrauch durch Nebenaggregate bei Motor Start/Stop-Systemen zu berechnen. Abbildung 12 zeigt ein Beispiel zu einer „Veline“ (Vehicle Energy consumption LINear Equation). Die Geradengleichung ($\Delta FC = \Delta Pe \cdot k + D$) enthält mit dem Koeffizienten „k“ die Verbrauchsänderung je kWh Motorarbeit [(g/h)/kW]. Die Konstante „D“ stellt dabei den Verbrauch zur Überwindung der Eigenverluste des Motors dar. Diese fallen bei Aufbringung zusätzlicher Leistung nicht nochmals an, so dass der Faktor „k“ deutlich niedriger ist als der mittlere spezifische Zyklusverbrauch, der auch in [g/kWh] angegeben ist. Problematisch an diesem Ansatz ist der vermutlich sehr hohe Entwicklungsaufwand, um ein Verfahren zu entwickeln, das alle zukünftigen Technologien abbilden kann.

Abbildung 12: Beispiel zu einer „Veline“ für einen LKW aus der VECTO Simulation



Quelle: FVT [Rexeis, 2014]. Anmerkung: jeder Punkt ist ein simulierter Verbrauchswert im Zyklus über der aktuellen Motorleistung

- Ebenfalls aktuell nicht in VECTO enthalten sind die **Nebenaggregate**, bei denen mit generischen Werten gearbeitet wird. Da aktuell der Einfluss der Nebenaggregate bei LKW bei etwa 5 % des gesamten Verbrauchs liegt, ist dieser Ansatz zumindest zu Beginn der Einführung der CO₂-Zertifizierung zu vertreten. Minderungspotenziale bei den Nebenaggregaten gibt es hauptsächlich durch die Wechselwirkung mit dem Gesamtfahrzeug (insbesondere Leistungsmanagement). Z. B. können die Nebenaggregate bevorzugt bei Motorschubbetrieb aktiviert sein, und so eine Art Bremsenergie-Rekuperation durchführen. Speziell bei Kommunalfahrzeugen kann der Verbrauch an Nebenabtrieben jedoch sehr relevant sein, sodass VECTO auch außerhalb der Typprüfung genutzt werden soll, um den Kunden die Verbrauchswerte für die realen Kombinationen aus Chassis und Müllpressen, Kehrvorrichtungen etc. berechnen zu können. Dazu wurde in Kooperation mit OEMs und Aufbauherstellern ein Testverfahren für Müllpressen entwickelt. Verfahren für andere Leistungsabnehmer könnten noch folgen. Die Berücksichtigung komponentenspezifischer Daten benötigt als Grundlage genormte Testverfahren um die VECTO-Eingabedaten zu erzeugen (z. B. Energieverbrauch je Pressvorgang in einem Müllsammelzyklus), da andernfalls keine Vergleichbarkeit der Ergebnisse gegeben wäre.

Eine aus heutiger Sicht sinnvolle Lösung wäre die **Einrichtung eines „Expertengremiums“**, bestehend aus Vertretern der Kommission, der Industrie und Experten von Mitgliedstaaten sowie der je-

weils zuständigen Entwicklungsgruppe von VECTO (vermutlich TU Graz). Industrie, die SNF zertifiziert, kann in diesem Ansatz bei der Kommission Bedarf zur Einbeziehung einer neuen Technologie – mit Beschreibung des Bedarfes – in die CO₂-Zertifizierung anmelden. Die Vorschläge werden gesammelt und im Expertengremium z. B. im 6-Monats-Rhythmus diskutiert. Dabei wird jeweils beschlossen, wie die Vorschläge

- ▶ Einbau in VECTO
- ▶ Separate Bewertungsmethode (z. B. wie Eco-Innovation)
- ▶ vorerst keine Aktion
- ▶ Sonstiges

weiter zu behandeln sind und wer die beschlossene Strategie bearbeiten soll. Die ausgearbeitete Lösung (z. B. separate Bewertung zur Anrechnung zusätzlicher prozentualer Minderung auf das VECTO-Ergebnis) wird dem Expertengremium danach vorgelegt und erfährt eine angemessene und transparente Testphase. Nach erfolgreichem Test wird die Methode für die Zertifizierung freigegeben. Ein Vorteil der Methode ist eine volle Transparenz für alle Beteiligten. Der Ansatz würde grundsätzlich auch für alle sonstigen ggf. nötigen Änderungen an VECTO passen. Ein Nachteil kann sein, dass Hersteller durch die Bedarfsanmeldung innovative Ansätze in der Expertengruppe publik machen müssen.

Ein Vorschlag entsprechend der Option mit Expertengremium wurde der Kommission (DG CLIMA) bereits als Grundlage zukünftiger Wartungs- und Nutzerbetreuungsarbeiten durch die TU Graz unterbreitet. Inwieweit dieser Vorschlag aufgenommen wird, ist derzeit offen. Wichtig erscheint jedenfalls eine klare Regel aufzustellen, wie mit Innovationen umzugehen ist.

Empfehlungen/Fazit

Für effektive und effiziente Minderungen der Flotten-CO₂-Emissionen schwerer Nutzfahrzeuge bietet es sich an, auch Verfahren zur Anrechnung von Minderungstechnologien zu entwickeln die (derzeit) nicht von VECTO erfasst werden können. Solche Verfahren könnten gemeinsam mit dem Umgang mit dem sonstigen, zukünftig zu erwartenden Änderungsbedarf an VECTO getroffen werden (z. B. Bug-Fixing).

2.4 Verifizierung und Überwachung

Nach der Einführung einer verbindlichen Grenzwertgesetzgebung für SNF sollte regelmäßig überprüft werden, ob Energieverbrauch und CO₂-Emissionen aus der Zertifizierung realitätsnah sind. Falls Abweichungen auftreten und mit der Zeit steigen, wäre die Regulierung zu überarbeiten. Geprüft gehört auch, ob es bei einer versetzten Grenzwerteinführung oder Grenzwerten nur für bestimmte Fahrzeugklassen/Nutzungszwecke zu unerwünschten Verschiebungen in Richtung unregulierter oder weniger streng regulierter Fahrzeuge kommt. Ist dies der Fall, muss die Gesetzgebung nachjustiert werden, indem z. B. weitere Fahrzeuge in die Grenzwerte aufgenommen werden oder eine Anpassung der Einteilung in Fahrzeugklassen oder der Prüfzyklen erfolgt.

Erfahrungen im PKW-Bereich zeigen, dass die bisherige CO₂-Grenzwertgesetzgebung im Realbetrieb deutlich weniger Emissionsreduktionen gebracht hat als im Testzyklus. Die Gründe für die Abweichungen zwischen Testzyklus und Realemissionen von heute über 30 % sind vielfältig. Einerseits zeigt sich, dass der Testzyklus nicht repräsentativ genug ist für die realen Bedingungen. So werden bei den PKW teilweise Technologien eingesetzt, die im Testzyklus deutlich wirksamer sind als im realen Betrieb (z. B. Start-Stopp-Automatik). Zudem haben sich die Randbedingungen seit der Einführung der Testzyklen verändert, z. B. werden heutzutage verstärkt elektrische Systeme und Klimaanlage in den PKW eingesetzt, die im Zyklus nicht berücksichtigt sind. Andererseits wird gezielt die (erlaubte) Flexi-

bilität in der Testausgestaltung bei der Typprüfung ausgenutzt, die wenig mit dem realen Betrieb gemein hat [ICCT, 2013]. Nach [TNO, 2012] gibt es zwei Bereiche in den Flexibilitäten der Gesetzgebung für PKW, die ausgenutzt werden können.

- ▶ Zum einen sind dies die vorbereitenden Ausrollmessungen bei denen folgende Anpassungen der Fahrzeuge erfolgen können: Ausrichtung der Bremsen, optimale Umgebungsbedingungen (Wind, Temperatur und Luftdruck sowie Feuchtigkeit), Art/Abnutzung der verwendeten Reifen, Reifendruck, Oberfläche und Neigung der Teststrecke, Fahrzeuggewicht und Fahrzeugaufbau. Damit ergeben sich zu optimistische Fahrwiderstände für die nachfolgenden Rollentests.
- ▶ Zum anderen bietet auch der Testablauf am Rollenprüfstand einige Möglichkeiten, unter möglichst verbrauchsoptimalen Bedingungen zu testen: Fahrzeuggewicht, Ausnutzung der Toleranzen für die Fahrwiderstände auf dem Prüfstand, Einfluss des Fahrers, Vorbereitung des Testfahrzeuges, optimierte Messverfahren, abweichende Gangabstufungen und Schaltpunkte, Ladestand der Fahrzeugbatterie und Labortemperatur sind hier relevant.

Dies stellt ein großes Problem dar, da so die realen Minderungen deutlich geringer ausfallen als geplant. Zudem sinken die Einnahmen aus der Kraftfahrzeugsteuer, die an den CO₂-Verbrauch gekoppelt ist, und die CO₂-Zertifizierung der Fahrzeuge verliert an Glaubwürdigkeit [ICCT, 2013].

Ähnliche Entwicklungen bei den SNF sind daher von vorne herein soweit möglich zu verhindern. Die Überwachung des CO₂-Zertifizierungsverfahrens sollte auf zwei Ebenen erfolgen:

- 1) Überwachung, dass die Hersteller die Verbrauchs- bzw. CO₂-Daten korrekt erzeugen,
- 2) Überwachung, ob das Testverfahren realistische Werte liefert.

Die Aufgabe 1) wird im VECTO-System durch das Typprüfverfahren für die Komponenten, für das Gesamtfahrzeug sowie durch CoP und durch die Fahrzeugtests abgedeckt. Wie in Kap. 1.3.2 beschrieben, sind unabhängige Fahrzeugtests in Mitgliedstaaten ein sinnvoller Kontrollmechanismus. Alle Tests nur den Herstellern zu überlassen, sichert die Daten wenig gegen Missbrauch. Wichtig ist auch, mögliche Flexibilitäten (z. B. bei der Bestimmung des Luft- und Rollwiderstandes), wie sie von den PKW-Herstellern ausgenutzt werden, frühzeitig zu erkennen und dann zu reduzieren. Entsprechende Verfahren sind bereits in der Regulierung (CoP) bzw. liegen als Entwurf einer Regulierung vor (Möglichkeit zur unabhängigen Nachmessung von ganzen SNF). Wichtig ist dazu eine einfache Zugriffsmöglichkeit auf die zertifizierten Datensätze durch unabhängige Kontrollorgane sowie auch die Definition von Mindesttestumfängen. Im Entwurf zur EU-Regulierung ist vorgesehen, dass die Hersteller für die Nachprüfung alle VECTO-Eingabedaten und auch die Ergebnisse zur Verfügung stellen müssen. Der Zugriff wird aber vermutlich auf Behörden limitiert sein. Problematisch an den in der Regulierung vorgeschlagenen Toleranzen (erlaubte Abweichungen bei Nachmessungen) ist, dass derzeit nicht ausreichend Messdaten und Erfahrungswerte vorliegen, um scharfe, aber erreichbare Toleranzen sicher festzulegen (z. B. Serienstreuung im Verbrauch bei Motoren). Unrealistisch scharfe Grenzen würden womöglich Typisierungen verhindern. Daher sind die Toleranzen vorerst konservativ gewählt, sollten aber nach einigen Jahren Erfahrung überprüft und ggf. nachgeschärft werden.

Die Aufgabenebene 2) wäre sinnvollerweise auch in einer Regulierung zu verankern, um sicher zu stellen, dass das Verfahren regelmäßig evaluiert wird und ob es noch realitätsnahe Ergebnisse für Verbrauch und CO₂ liefert. Diese Überprüfung sollte an größeren Datenmengen erfolgen³⁰. So könnten die mit VECTO in der Zertifizierung ermittelten Verbrauchswerte aus dem CO₂-Monitoring den Werten

³⁰ Beim Vergleich einzelner Tests und einzelner Fahrzeuge sind die Unsicherheiten aus Wetter, Fahrbahn, Verkehr, Fahrer, Route etc. zu beachten, so dass bei der Analyse von Einzelfällen Abweichungen von deutlich über 10 % zwischen VECTO und On-Board-Messungen durchaus erwartet werden können.

aus den PEMS-Tests für die In-Use-Conformity-Messungen für Schadstoffemissionen sowie anderen gesammelten Datenquellen gegenübergestellt werden (z. B. nationale Messprogramme, die in der ER-MES-Gruppe gesammelt werden, sowie Testberichte Lastauto&Omnibus Magazin etc.). Damit sollten abweichende Trends identifiziert werden können. In diesem Fall müssten die Ursachen analysiert und bei Bedarf das VECTO-Verfahren angepasst werden. Der Anpassungsbedarf sollte ebenfalls im Gesetz definiert werden, da andernfalls – wie bei PKW in der Vergangenheit – steigende Abweichungen zwar festgestellt aber womöglich erst spät Gegenmaßnahmen eingeleitet werden.

Ob es zusätzlich für CO₂ bzw. Verbrauch sinnvoll ist, über das Fahrzeugleben die Einhaltung der zertifizierten Werte zu prüfen, ist offen. Eine solche Überprüfung ist für Schadstoffkomponenten in Kraft, dort sind die möglichen Alterungseffekte abgasrelevanter Komponenten (AGR, Injektoren, Katalysatoren etc.) aber deutlich ausgeprägter als beim Verbrauch. Eine Kontrolle des Verbrauchsniveaus könnte am ehesten nutzerbedingte Veränderungen, wie z. B. Tausch von Leichtlaufreifen gegen normale Reifen, identifizieren. Um dagegen vorgehen zu können, müssten aber erst gesetzliche Randbedingungen geschaffen werden. Heutzutage können alle zugelassenen Reifen montiert werden und z. B. auch aerodynamisch ungünstige nachträgliche Anbauten (z. B. Scheinwerfergalerien) sind erlaubt. Diese Maßnahme müsste beim Fahrzeughalter und nicht mehr beim Hersteller ansetzen, da dieser die späteren Veränderungen gar nicht effizient überwachen kann. Für entsprechende Überprüfungen wären auch Sichtkontrollen vermutlich viel effizienter als teure Fahrzeugmessungen.

Empfehlungen/Fazit

Die Überwachung des CO₂-Zertifizierungsverfahrens sollte gesetzlich festgeschrieben werden und auf zwei Ebenen erfolgen, um Effekte wie bei PKW bekannt, zu vermeiden:

- ▶ Überwachung, dass die Hersteller die Verbrauchs- bzw. CO₂-Daten korrekt erzeugen (Ex-Post-Verifizierungsmethode ist als Entwurf verfügbar)
- ▶ Überwachung, ob das Testverfahren realistische Werte liefert (z. B. zweijährig Vergleiche von VECTO-Ergebnissen mit unabhängigen Real-World Verbrauchsdaten um eventuell steigende Differenzen früh zu erkennen).

Dazu müssen in Zukunft die Ergebnisse des Monitorings mit Statistiken aus dem realen Verkehr verglichen und die VECTO Methoden bei zunehmenden Abweichungen angepasst werden. Ein allgemein gültiges Default-Beurteilungsverfahren für Technologien, die derzeit nicht erfasst sind, vorab zu erarbeiten, erscheint kaum realisierbar. Das Verfahren muss an neue Erkenntnisse zu Unzulänglichkeiten und an neue technologische Entwicklungen angepasst werden.

Dafür muss eine dauerhaft arbeitsfähige Struktur geschaffen werden, die insbesondere ein ausreichendes Budget und klare Kompetenzverteilungen hat. Die Einführung eines Kontrollgremiums, das Anpassungsbedarf sammelt und z. B. im 6-Monatsrhythmus die einzuführenden Anpassungen beschließt, könnte eine sinnvolle Lösung sein.

3 Szenarien zur Einführung von CO₂-Grenzwerten

Im folgenden Kapitel soll die Einführung von CO₂-Grenzwerten anhand von Szenarien untersucht werden. Ziel hiervon ist es, die daraus resultierenden CO₂-Reduktionen der SNF in Deutschland in erster Näherung abzuschätzen. Dabei sollen einerseits die Minderungspotenziale durch verschiedene Effizienztechnologien und andererseits die Notwendigkeit zur CO₂-Reduktion zur Erreichung der nationalen Klimaziele berücksichtigt werden.

Es werden drei Szenarien untersucht, um die zukünftige Minderung der THG-Emissionen bei SNF abzuschätzen.

1. **Referenz-Szenario:** Es werden neben bereits beschlossenen Maßnahmen keine CO₂-Grenzwerte oder weiteren Maßnahmen umgesetzt. Zusätzliche Effizienztechnologien gegenüber dem Stand heutiger Fahrzeuge, werden bis 2030 standardmäßig verbaut, sofern sie bereits heute zulassungsfähig sind und sich innerhalb von 3 Jahren amortisieren. Damit reduziert sich der spezifische Kraftstoffverbrauch neuer SNF um ca. 0,5 % pro Jahr.
2. **CO₂-Grenzwert-Szenario:** Ab 2025 gelten europaweit CO₂-Flottengrenzwerte für SNF, ab 2030 werden diese verschärft. Die Zielwerte orientieren sich an dem Minderungspotenzial aller Technologien, welche in VECTO abbildbar und damit auch regulatorisch umsetzbar sind.
3. **Grenzwert Plus-Szenario:** Die im CO₂-Grenzwert-Szenario angenommenen Effizienzverbesserungen werden bereits 3 Jahre früher eingeführt. Dies setzt eine kurzfristige Erweiterung von VECTO voraus, um die nötigen Minderungspotenziale überhaupt regulatorisch erfassen zu können. Weitere Maßnahmen können den Einsatz der erforderlichen Effizienztechnologien zusätzlich unterstützen.

Die Minderung bezieht sich auf Deutschland und den Zeitraum bis 2030. Die Berechnungen werden mit dem von ifeu im Auftrag des Umweltbundesamt entwickelten Modell TREMOD (Transport Emission Modell) durchgeführt.

3.1 Entwicklungen im Referenzszenario

3.1.1 Entwicklung der Verkehrsleistung

Zur Abschätzung der möglichen zukünftigen Entwicklung des verkehrsbedingten Energieverbrauchs und der Emissionen wurde in TREMOD ein Trendszenario definiert. Das Szenario baut auf der Verkehrsleistungsentwicklung der Verkehrsverflechtungsprognose 2030 (VP2030) [Intraplan, 2014] auf. Die vorgegebenen Verkehrsleistungen werden in TREMOD umgelegt auf Fahrleistungen und Betriebsleistungen mit den entsprechenden Anteilen der verschiedenen Fahrzeugkategorien und Traktionsarten. Die Entwicklung der Güterverkehrsleistung 2010 bis 2030 wird direkt aus der Verkehrsprognose 2030 übernommen (siehe Tabelle 12). Es zeigt sich, dass für die SNF mit 38,9 % hierbei ein deutlich stärkeres Wachstum als für den sonstigen Straßenverkehr angenommen wird. Unter diesen Rahmenbedingungen ist auch anzunehmen, dass der Beitrag der SNF zur Erreichung der Klimaziele (bezogen auf die CO₂-Emissionen in 1990) unterschiedlich ausfallen muss.

Tabelle 12: Entwicklung der Transportleistung des Straßenverkehrs 2010-2030

Zeitraum	Güterverkehr (SNF) in Tonnen-km	Personenverkehr (MIV und ÖSPV) in Personen-km
2010	437,3	980,5
2030	607,4	1074,6
2010-2030	+38,9 %	9,6 %

Quelle: Verkehrsprognose 2030

Die Zunahme der Fahrleistung orientiert sich an der Entwicklung der schweren Nutzfahrzeuge der VP 2030³¹. Dabei werden die bisherigen Grundannahmen beibehalten, d. h. die Auslastung der Fahrzeuge steigt bis 2030 um 10 % und die Verkehrsleistungszunahme wird stärker von den größeren Fahrzeugen erbracht. Dadurch steigt die Fahrleistung der schweren LKW von 2010 bis 2030 um insgesamt 22 %. Diese Annahme wird auch für die Minderungs-Szenarien in Kap. 3.2 angenommen.

Tabelle 13: Entwicklung der Fahrleistungen (Mrd. km) 2010-2030

Jahr	Solo-LKW <12 t	Solo-LKW ≥12 t	Lastzüge	Sattelzüge	SNF insgesamt
2010	53,9	10,3	6,2	11,6	25,7
2020	59,7	10,6	6,9	13,1	29,1
2030	65,9	11,7	7,0	14,5	32,6

Anmerkungen: bis 2010 real, 2020 und 2030 Annahmen Trendszenario

3.1.2 Entwicklung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs

Im sogenannten UBA-Trend-Szenario [ifeu, 2016b] wird die zukünftige Umsetzung technischer Potenziale durch flankierende politische Maßnahmen bereits angenommen. Der spezifische Energieverbrauch der SNF in MJ/km reduziert sich ca. um 1 % pro Jahr. Für das Referenz-Szenario im vorliegenden Projekt wurden daher Effizienzverbesserungen ohne politische Maßnahmen neu abgeleitet.

Hierfür soll auf Basis von [UBA, 2015a] betrachtet werden, welche Technologien dem SNF-Markt kurzfristig zur Verfügung stehen und welche Minderungspotenziale zu welchen Kosten ausgeschöpft werden können³². Für das Referenz-Szenario werden folgende Rahmenbedingungen angenommen:

- Der Einsatz von Effizienztechnologien für Diesel-SNF, deren Kosten sich in weniger als 3 Jahren amortisieren, nimmt linear zu. Ab 2030 werden diese standardmäßig bei den Neuzulassungen verbaut. Darunter fallen zum Beispiel eine Wirkungsgradsteigerung des Dieselmotors um 1 %, Abgaswärmenutzung, Energieeffizienzdrehmomente oder Geschwindigkeitsbegrenzer auf 80 km/h u. a. (siehe [UBA, 2015a]).
- Ausgenommen sind Aerodynamikteile für Auflieger, welche einen Heckeinzug von 100 cm³³ erfordern und derzeit aufgrund gesetzlicher Rahmenbedingungen nicht zulassungsfähig sind.

Daraus resultiert eine Reduktion des spezifischen Kraftstoffverbrauchs zwischen 2030 und 2015 um ca. 7 % für Sattelzüge und Solo-LKW. Mit umgerechnet ca. 0,5 % p. a. liegen diese verglichen mit den Minderungen in der Vergangenheit (siehe Kap. 1.2.1) eher in einem konservativen Bereich.

³¹ Die Verkehrsverflechtungsprognose macht Angaben zur Fahrleistungsentwicklung der im Inland zugelassenen LKW und Sattelzugmaschinen, unterteilt nach schweren und leichten Nutzfahrzeugen (größer bzw. kleiner oder gleich 3,5t Nutzlast; in TREMOD liegt die Grenze bei 3,5t zulässigem Gesamtgewicht). Diese Angabe ist nicht gleichzusetzen mit der in TREMOD benötigten Inlandsfahrleistung. Aus der Verflechtungsprognose wird daher die relative Fahrleistungsentwicklung übernommen und auf die TREMOD-Kategorien übertragen.

³² Die berücksichtigten Fahrzeugklassen und Einsatzzwecke entsprechen nicht direkt der TREMOD-Systematik, daher erfolgt eine stark vereinfachte Zuordnung. Z. B. werden die Minderungspotenziale für 40 t Sattelzüge im Fernverkehr auf alle Sattel- und Lastzüge übertragen.

³³ Enthalten im „Aeropaket 2“ in [UBA, 2015a]. Aerodynamikteile mit einem Heckeinzug von 50 cm sind bereits heute zulassungsfähig.

3.2 Szenarien mit zusätzlichen Effizienztechnologien

Die Ableitung der technischen Minderungen des Kraftstoffverbrauchs erfolgt einerseits nach einem Forecasting-Ansatz, indem die Minderungspotenziale bekannter Technologien, sowie deren legislative und wirtschaftliche Umsetzbarkeit betrachtet werden. Andererseits werden die erforderlichen THG-Minderungen zur Einhaltung der nationalen Klimaschutzziele und ein möglicher Beitrag der SNF betrachtet.

3.2.1 Übersicht der technischen Minderungspotenziale

Die noch offenen technischen Minderungspotenziale für SNF wurden bisher im Rahmen verschiedener Studien untersucht. Alle Studien basieren auf Abschätzungen mit VECTO und berücksichtigen umfangreiche Maßnahmenbündel, unter anderem Verbesserung des konventionellen Antriebs (Wirkungsgrad Dieselmotor, WHR), Reduktion des Fahrwiderstands (Effizienzreifen, Aerodynamikdesing) sowie Hybridantriebe. Dabei wurden Reduktionspotenziale beim spezifischen Kraftstoffverbrauch gegenüber heutigen SNF von ca. 25-40 % angenommen (siehe Tabelle 14).

Tabelle 14: Übersicht der technischen Minderungspotenziale bei SNF

	[UBA, 2015a]	[Delgado et al., 2017]	[Norris/Escher, 2017]
Kommentar	Referenzfahrzeug EURO VI Potenzial 2020+ (Paket Hybrid B)	Referenzfahrzeug 2015 Potenzial 2030	Referenzfahrzeug 2015 Potenzial 2030 (in 3 Jahren amortisierbar)
Verteiler LKW (Stadtverkehr)	-25 %	-43 %	-32 %
Fernverkehr Sattelzug	-24 %	-43 %	-33 %

Wie eingangs in dieser Studie beschrieben, bestehen derzeit verschiedene Hemmnisse bei den SNF-Herstellern und Betreibern, solche Technologien einzusetzen. Bei der Festlegung technologieneutraler Standards, wie CO₂-Grenzwerten, ist hierbei insbesondere entscheidend, welche Potenziale mithilfe der verfügbaren Mess- und Simulationsverfahren, also in VECTO, umgesetzt werden können. Die Potenziale aus den oben genannten Studien und eigenen Analysen wurden entsprechend der Klassifizierung für typische Sattelzugfahrzeuge und Verteiler-LKW zusammengestellt. Die Technologieklassifizierung ist:

- „1. In Regulation“: beinhaltet alle Technologien am LKW bzw. der Zugmaschine, die mit heutigem Stand der CO₂-Regulierung abgebildet werden.
- „2. Trailer Regulation“: beinhaltet alle Technologien am Auflieger für Zugfahrzeuge, die mit VECTO berechnet werden könnten. Dazu gibt es aber noch keine EU-Regulierung. Ob und wann eine solche Regulierung eingeführt wird, ist offen.
- „3. Future Regulation“: beinhaltet alle Technologien am LKW bzw. der Zugmaschine, die mit erwarteten Erweiterungen von VECTO-Software und der CO₂-Regulierung abgebildet werden können. Eine Umsetzung wird bis längstens 2025 erwartet.
- „4. Body Regulation“: beinhaltet alle Technologien am Aufbau von LKW, die mit VECTO berechnet werden könnten. Dazu gibt es ebenfalls noch keine EU-Regulierung. Ob und wann eine solche Regulierung eingeführt wird, ist wie bei Aufliegern offen. Da Aufbauten von LKW noch variabler sind als Auflieger, könnte die Einführung einer Regulierung dazu noch komplexer werden.

Tabelle 15: Übersicht zu Technologiepotenzialen an Sattelzügen nach Technologiekategorien

Kategorie	Technologie	CO ₂ -Minderung
1. In reg.	Low rolling resistance tyres	6,7 %
1. In reg.	Improvements engine combustion	6,0 %
1. In reg.	Improved aerodynamic, cheaper parts	1,4 %
1. In reg.	Electric cooling fan for engine	0,5 %
1. In reg.	Improved aerodynamic expensive	2,6 %
1. In reg.	Optimisation transmission	1,5 %
1. In reg.	Mild weight reduction tractor	0,1 %
1. In reg.	Electric steering pump	0,3 %
1. In reg.	Strong weight reduction tractor	1,2 %
2. trailer reg.	Low rolling resistance tires on trailer	6,6 %
2. trailer reg.	Rounded front edges of trailer	2,2 %
2. trailer reg.	Boat tail short, additional	2,9 %
2. trailer reg.	Weight reduction trailer	0,3 %
2. trailer reg.	Side and underbody panels at trailer chassis	3,6 %
2. trailer reg.	Boat tail by variable height of trailer body	2,5 %
2. trailer reg.	Covers for trailer wheels	0,5 %
3. future reg.	Speed limiter 80 km/h	2,8 %
3. future reg.	Waste heat recovery	2,1 %
3. future reg.	Parallel hybrid	3,7 %

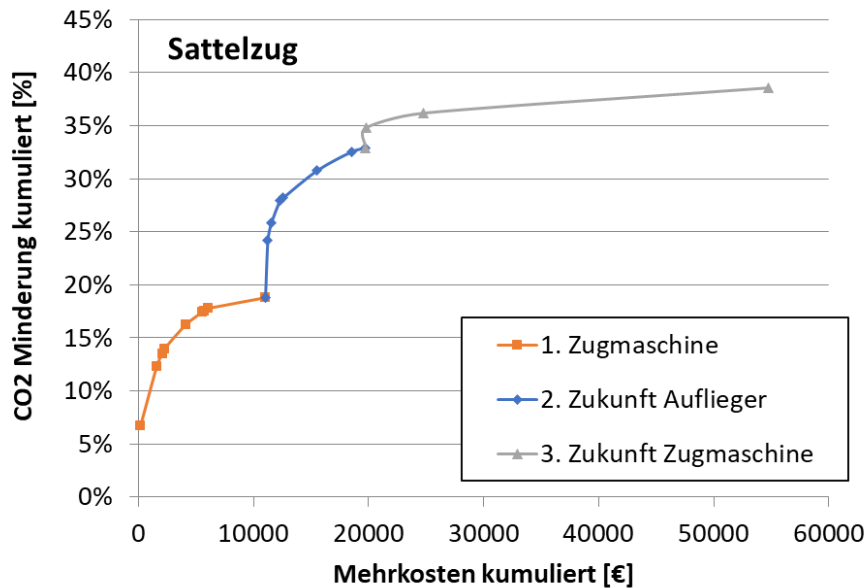
Quelle: Zusammenstellung aus Literaturdaten [UBA, 2015a], [Delgado et al., 2017], [Norris/Escher, 2017] nach eigener Einschätzung

Abbildung 13 zeigt kumulierte CO₂-Minderungspotenziale der Technologien über den erwarteten kumulierten Kfz-Mehrkosten. Die Technologien sind dabei zuerst nach Technologieklasse und innerhalb dieser nach Kosten (€/ % CO₂-Reduktion) sortiert. Demnach sind mit heutiger Gesetzgebung etwa 18 % Reduktionspotenzial gegenüber dem Neufahrzeug 2016 an der Zugmaschine erfassbar. Die Kosten steigen dabei ab ca. 15 % Minderung merklich. Am Auflieger wären etwa 10 % CO₂-Minderungspotenzial relativ kostengünstig darstellbar. Wird VECTO für Hybridantriebe und WHR erweitert, so können noch etwa 6 % Minderung erreicht werden (3. Zukunft Zugmaschine).

Grenzwerte für Zugmaschinen könnten also von 2016 bis ca. 2025 zwischen 15 % und 24 % Reduktionspotenzial nutzen (Klasse 1. und 3. Technologien). Der höhere Wert benötigt eine Reihe teurer Maßnahmen, wie z. B. Hybridisierung. Die jährlich erreichbare Reduktion 2016 bis 2024 wäre damit zwischen 1,7 % und 3,0 %. Wenn die Grenzwerte erst nach 2020 greifen, sind vorab geringere Minderungen zu erwarten, so dass danach mehr Potenzial p. a. verbleibt.

Wird bis 2025 die CO₂-Zertifizierung auch auf Auflieger erweitert, so können insgesamt unter Nutzung aller Technologien knapp 40 % Reduktion erreicht werden. Das Potenzial an Aufliegern wäre aber vermutlich durch gesonderte Grenzwerte zu holen, da diese ja nicht in Einheit mit der Zugmaschine verkauft werden.

Abbildung 13: CO₂-Minderungspotenziale kumuliert für Technologien für Sattelzüge im Fernverkehrsbetrieb über erwarteten Kfz-Mehrkosten nach Technologieklassen



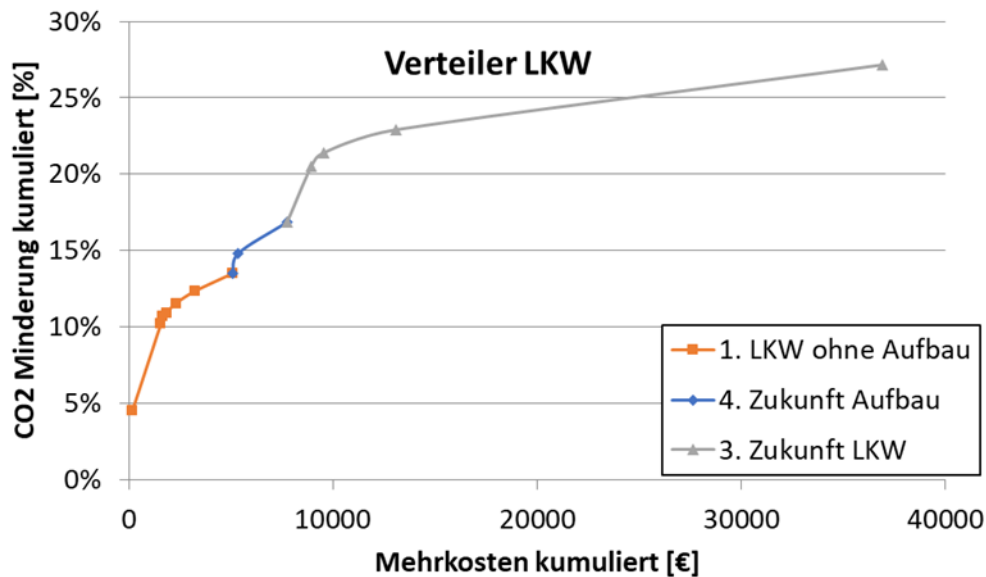
Quelle: Eigene Darstellung, FVT. Zusammenstellung verschiedener Literaturquellen und eigener Daten, siehe Tabelle 15

Abbildung 14 zeigt die Kostenkurve für Verteiler-LKW analog zu der Kurve für Sattelzüge. Die Potenziale am Aufbau sind dabei wegen der geringeren Autobahnanteile und nicht vorhandener Teile (z. B. keine separaten Reifen) mit ca. 3,5 % Potenzial viel geringer als am Auflieger und vermutlich auch schwerer umzusetzen³⁴. Aerodynamische Optimierungen haben entsprechend am Verteiler-LKW ebenfalls weniger Potenzial als an der Zugmaschine. Dementsprechend stehen am Verteiler-LKW mit heutiger Gesetzgebung etwa 12 % CO₂-Minderungspotenzial mit eher kostengünstigen Technologien zur Verfügung. Hybridisierung, Predictive-Cruise-Control-Systeme³⁵ und Waste Heat Recovery können bei entsprechender Umsetzung in der Regulierung noch weitere 10 % CO₂-Minderung am LKW bringen. Bis 2025 ergeben sich also am LKW – je nach akzeptierten Kosten – zwischen ca. 1,5 % und 2,9 % mögliche Reduktionen p. a. von 2016 bis 2025.

³⁴ Maßnahmen am kombinierten LKW-Zug hätten zusätzliches Potenzial durch Optimierung LKW+Aufbau+Anhänger. Wie das in einer Gesetzgebung sinnvoll umsetzbar ist, ist heute aber völlig offen, da ja bei der LKW-Produktion oft unklar ist, ob oder wie häufig dieser später mit Anhänger gefahren wird. Für Betrieb mit Anhänger sind andere LKW- und Aufbau-designs optimal als für Betrieb als Solo-LKW.

³⁵ Bei Sattelzugmaschinen heute schon Standard

Abbildung14: CO₂-Minderungspotenziale kumuliert für Technologien für Verteiler LKW im Verteiler-Betrieb über erwarteten Kfz-Mehrkosten nach Technologieklassen



Quelle: Eigene Darstellung, FVT: Zusammenstellung verschiedener Literaturquellen und eigener Daten

Weiterreichende Reduktionen müssten, wie schon beschrieben, auch Auflieger, Aufbauten und Anhänger einbeziehen und natürlich auch zunehmend alternative Energien verwenden. Die Abbildung alternativer Energien und Antriebe in VECTO ist also wesentlich für umfangreiche CO₂-Minderungen.

Die o. a. Reduktionspotenziale können als erste Abschätzung der Größenordnungen gesehen werden. Eine genauere Analyse ist in der schon eingangs erwähnten, seit Anfang 2017 aktuell für DG CLIMA durchgeführten Studie (TUG, TNO, CE-Delft, ICCT), geplant.

3.2.2 Einordnung der Effizienzpotenziale für SNF zur Erreichung der Klimaziele

Alternativ zu einer Bottom-Up Analyse der technischen Potenziale, können mögliche Effizienzsteigerungen für SNF anhand der internationalen und europäischen Klimaziele für den Verkehr abgeleitet werden³⁶.

Laut Klimaschutzplan 2050 müsste der Verkehrssektor bis zum Jahr 2030 seine THG-Emissionen gegenüber 1990 um 40-42 % reduzieren und bis 2050 weitgehend treibhausgasneutral sein. Bei weiter wachsender Nachfrage nach Transportleistung und ohne Änderung des Modal Split bedeutet das relativ hohe jährliche Reduktionsraten für die spezifischen CO₂-Emissionen der SNF-Neuzulassungen. Ein möglicher Minderungspfad für die SNF zu Erreichung des Ziels für den Verkehr wurde in [UBA, 2016] im „E+ Szenario“ untersucht und umfasst im Jahr 2030 für den Bereich der SNF ein Bündel verschiedener Maßnahmen/Wirkungshebel:

- ▶ Effizienzsteigerung neuer SNF um ca. 20 % bis 2030 (~1,3 % p. a.)
- ▶ Reduktion der SNF-Verkehrsleistung um ca. 10 % durch Vermeidungs- und Verlagerungsmaßnahmen
- ▶ Einführung hybrid-elektrischer Oberleitungs-SNF ab 2020 (5 % der Flotte in 2030)
- ▶ Nutzung erneuerbarer Kraftstoffe, darunter 10 % Biodiesel und zusätzlich 10 % erneuerbarer synthetischer Kraftstoff (Power-to-liquid)

³⁶ d. h. es werden normative Szenarien (sog. „Backcasting“-Ansatz) abgeleitet

Die im E+ Szenario angenommenen Maßnahmen sind aus heutiger Sicht bezüglich der alternativen Antriebe und der Verkehrsverminderung sehr ambitioniert. Insbesondere der Systemwechsel zu synthetischen Kraftstoffen und Oberleitungs-SNF ist bis 2030 mit Unsicherheiten verbunden. Eine ambitionierte CO₂-Grenzwertgesetzgebung sollte daher das technische Potenzial zur Effizienzsteigerung des Dieselantriebs und des Gesamtfahrzeugs bis 2030 möglichst ausreizen. Es müssten Minderungen von deutlich mehr als 1,3 % p. a. gegenüber heutigen SNF erreicht werden. Diese Minderungen können auch einen langfristigen Beitrag zu einem nachhaltigen Güterverkehr durch einen effizienten Einsatz erneuerbarer Kraftstoffe leisten.

Letztendlich gilt es auch die Kosten zur Einhaltung der Ziele möglichst zu begrenzen. In [UBA, 2015a] sowie aktuelleren Studien [Delgado, et al., 2017],[Norris, / Escher, 2017] wurde gezeigt, dass viele Effizienztechnologien für SNF aufgrund ihrer Kraftstoffeinsparung kostenneutral für die Betreiber sind bzw. eine CO₂-Einsparung auch mit Kosteneinsparung verbunden ist. Demgegenüber können die Kosten für erneuerbare Kraftstoffe, z. B. in Form von PtL, im Jahr 2030 nach aktuellen Analysen mit 292 - 876 € pro t CO₂ abgeschätzt werden³⁷. Ein Großteil der Verbesserungen am Fahrzeug und Antriebsstrang wären daher deutlich kosteneffizienter.

3.2.3 Annahmen für die Szenarien

Für das **CO₂-Grenzwertszenario** werden daher folgende Rahmenbedingungen angenommen:

- ▶ Bis 2020 werden dieselben Minderungen wie im Referenz-Szenario umgesetzt.
- ▶ Ein Flottengrenzwert für SNF ist ab dem Jahr 2025 gültig. Die Grenzwerthöhe orientiert sich mit 15 % gegenüber 2015 (3,3 % p. a.) am kombinierten Potenzial der eher kostengünstigen Effizienztechnologien, welche in VECTO abgebildet werden können und für welche schon Messvorschriften existieren. Dieses sind im Wesentlichen Technologien, welche am Basisfahrzeug, jedoch nicht am Anhänger, Aufbau oder Auflieger wirken.
- ▶ Im Jahr 2030 wird der Flottengrenzwert für SNF weiter verschärft. Die Höhe orientiert sich am technischen Minderungspotenzial, welches auch Effizienztechnologien am Anhänger, Aufbau oder Auflieger sowie Hybridantriebe beinhaltet. Die Reduktion gegenüber 2015 beträgt bei Solo-LKW 27 % (3 % p. a. nach 2025) und bei Sattelzügen 38 % (6,8 % p. a. nach 2025). Hierfür müssten entsprechende Zulassungsvorschriften, z. B. die Erweiterung des Heckeneinzugs um 100 cm, sowie Messvorschriften für die Komponententests für VECTO neu geschaffen werden. Die Minderungspotenziale alternativer Kraftstoffe sind für die Einhaltung der Grenzwerte nicht zwingend erforderlich.

Für das **Grenzwert Plus-Szenario** erfolgt einerseits eine frühere Einführung der bereits nachweisbaren Effizienztechnologien ab 2022 und der noch gesetzlich auszuarbeitenden Effizienztechnologien ab 2027. In allen Szenarien wird angenommen, dass die Technologien von den Herstellern bereits schrittweise mit Vorlauf eingeführt werden, daher wird die jährliche Minderung jeweils linear interpoliert. Die jeweiligen Minderungen bei neu zugelassenen SNF zeigt Tabelle 16.

³⁷ [Agora Verkehrswende, et al., 2018] gehen von einer zukünftigen Senkung der Kosten für PtL aus erneuerbarem Strom aus. Für 2030 rechnen die Autoren je nach Herstellungspfad mit Kosten von ca. 10-30 ct/kWh, exklusive Steuern und Abgaben. Die CO₂-Einsparung unter Einbezug der Vorkette wird mit 95,1 g/MJ angenommen (Quelle: EU Fuel Quality Directive).

Tabelle 16: Minderungsraten des spezifischen Kraftstoffverbrauchs bei SNF in den Szenarien bis 2030

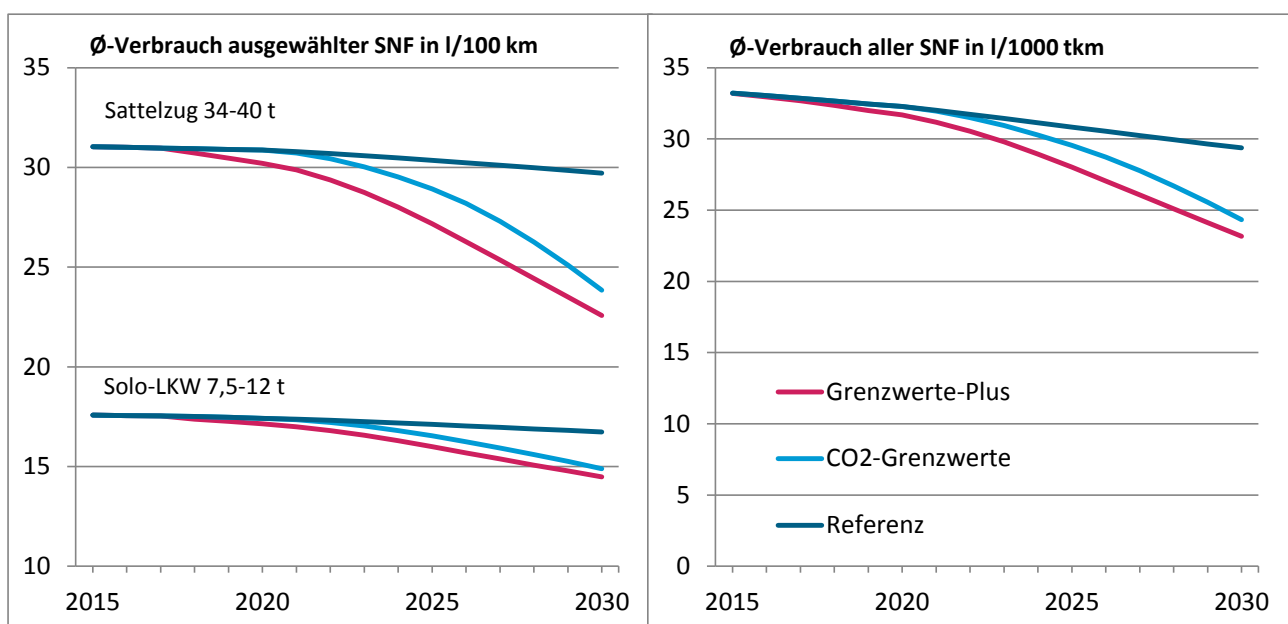
Szenario	Fahrzeug-Kategorie (TREMOT)	Minderung gegenüber einem Neufahrzeug 2015		Jährliche Reduktion		
		bis 2025	bis 2030	2015-2020	2021-2025	2026-2030
Referenz	Solo-LKW	-5 %	-7,5 %	-0,5 %	-0,5 %	-0,5 %
	Last-/Sattelzüge	-5 %	-7,5 %	-0,5 %	-0,5 %	-0,5 %
CO ₂ -Grenzwerte	Solo-LKW	-15 %	-27 %	-0,5 %	-3,3 %	-3,0 %
	Last-/Sattelzüge	-15 %	-38 %	-0,5 %	-3,3 %	-6,8 %
Grenzwerte-Plus	Solo-LKW	-17 %	-27 %	-1,3 %	-2,6 %	-2,6 %
	Last-/Sattelzüge	-23 %	-38 %	-1,3 %	-4,3 %	-4,3 %

3.3 Ergebnisse

Abbildung 15 stellt dar, wie sich der durchschnittliche spezifische Kraftstoffverbrauch der SNF zwischen 2015 und 2030 je nach Szenario entwickelt. Durch die Einführung von CO₂-Grenzwerten sinkt der mittlere Verbrauch deutlich stärker als im Referenzszenario. Die größten Minderungen finden bei den Sattelzügen statt, welche u. a. durch Roll- und Luftwiderstandsreduktion am Auflieger große Einsparungen realisieren können. Der mittlere Verbrauch der 40-Tonner geht somit von ca. 31 l/100 km im Jahr 2015 auf 24 l/100 km im Jahr 2030 zurück. Im Grenzwert+ Szenario sinkt der Verbrauch schon deutlich früher und liegt 2030 bei ca. 23 l/100 km.

Im Mittelwert reduziert sich der Verbrauch aller SNF im Referenz-Szenario von ca. 33 l/1000 tkm in 2015 auf knapp 29 l/1000 tkm in 2030, im Grenzwertszenario hingegen auf knapp 23 l/1000 tkm.

Abbildung 15: Entwicklung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs ausgewählter SNF-Klassen im Bestand gegenüber dem Referenz-Szenario

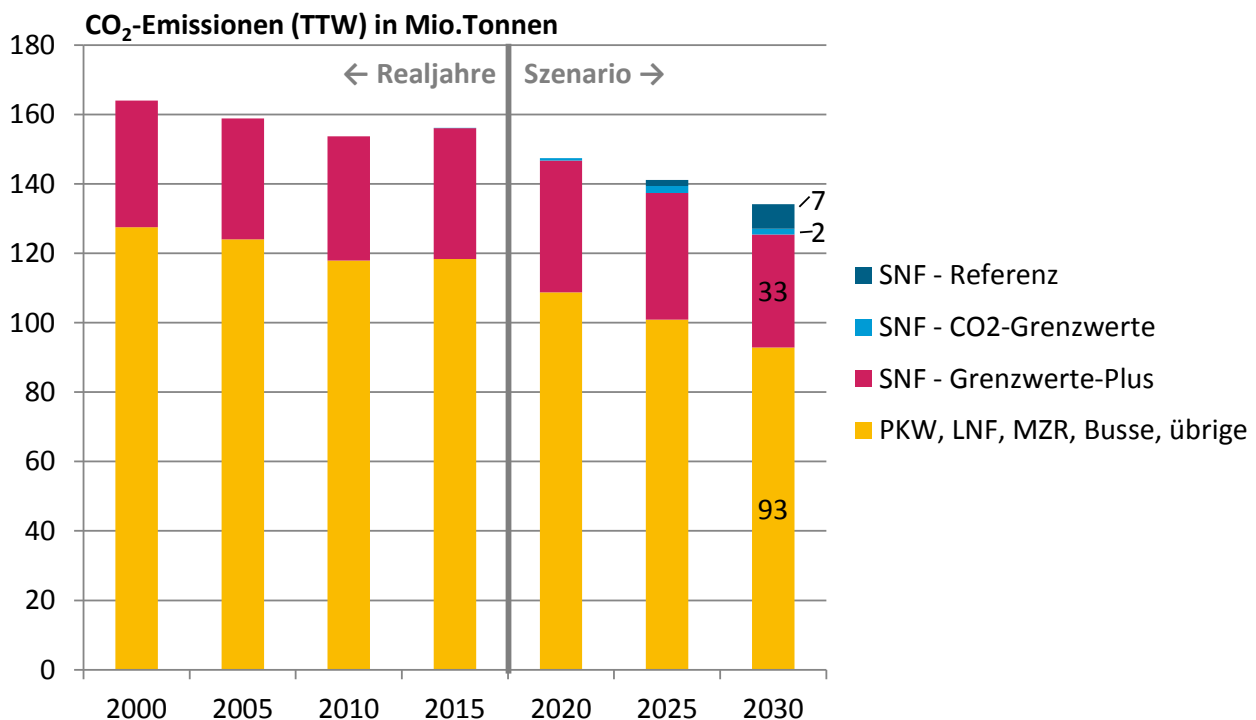


Quelle: Eigene Darstellung, ifeu

Wie Abbildung 16 zeigt, steigen im Referenz-Szenario die gesamten CO₂-Emissionen der SNF in Deutschland kontinuierlich auf bis zu 41 Mt CO₂ im Jahr 2030 an, während im übrigen Straßenverkehr die CO₂-Emissionen sinken (Quelle: UBA-Trendszenario, TREMOD 5.6 [ifeu, 2016a]). Im CO₂-Grenzwert-Szenario wird nach 2022 ein Wendepunkt erreicht, wonach die CO₂-Emissionen der SNF sinken. Gegenüber dem Referenzszenario wären die Emissionen im Jahre 2030 um 7 Mt CO₂ und im Grenzwert-Plus Szenario um 9 Mt geringer.

Aus den Zielen des „Klimaschutzplan 2050“ dürfte der gesamte nationale Verkehr im Jahr 2030 nur 98 Mt CO₂-Äquivalente emittieren (über alle Sektoren wurde für 2030 eine Menge von 563 Mt CO₂-Äquivalenten als Ziel-Wert festgelegt³⁸). Dieser Zielwert würde laut Trendszenario im Jahr 2030 bereits beinahe mit den Emissionen des übrigen Straßenverkehrs von ca. 93 MT CO₂ erreicht, zusätzlich fallen ca. 5 MT CO₂ aus dem nationalen Schienen-, Schiff- und Luftverkehr an [UBA, 2016]. Dies verdeutlicht, dass in allen Verkehrs-Bereichen weitere Anstrengungen zur THG-Minderung zu leisten sind.

Abbildung 16: Entwicklung der direkten CO₂-Emissionen der SNF in Deutschland bis 2030 gegenüber dem Referenz-Szenario sowie Emissionen übriger Fahrzeuge nach UBA-Trend-Szenario



Quelle: ifeu-Berechnungen mit TREMOD, Version 5.6. Emissionen ohne Vorkette; Biokraftstoffe mit Null gerechnet

Der Unterschied zwischen den beiden Minderungsszenarien im Jahr 2030 ist zwar relativ gering, jedoch würde die frühere Einführung der CO₂-Grenzwerte eine deutliche Einsparung der kumulativen Emissionen ermöglichen. Von 2020 bis 2030 würden somit 45 Mt CO₂ weniger emittiert als im Referenzszenario und 18 Mt CO₂ weniger als im CO₂-Grenzwert-Szenario.

³⁸ <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klimawandel/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#textpart-2>

Vor dem Hintergrund der sektorspezifischen Klimaziele scheinen möglichst ambitioniert Effizienzsteigerungen bei SNF notwendig und gerechtfertigt. Den möglichen Einschränkungen einer kurzfristigen und ambitionierten Umsetzung von CO₂-Grenzwerten sollten jedoch auch weitere Maßnahmen gegenüber gestellt werden, welche die Nutzung effizienter Technologien bei SNF zusätzlich vorantreiben können.

4 Analyse weiterer Maßnahmen

Wie im vorigen Kapitel beschrieben, steht die Einführung von CO₂-Grenzwerten für SNF noch vor verschiedenen offenen Fragen. Vor allem die Politik und die Wissenschaft haben in der Vergangenheit eine Vielzahl von weiteren Maßnahmen zur Senkung der CO₂-Emissionen der SNF diskutiert. Auch ist eine Übertragung von Maßnahmen aus anderen Bereichen, z. B. bei PKW oder außerhalb des Verkehrssektors, auf SNF denkbar. Ziel dieses Kapitels ist es, daraus vielversprechende Maßnahmen zu identifizieren und zu bewerten.

4.1 Vorbemerkung zur Auswahl und Bewertung der Maßnahmen

Als Vorstufe zur Bewertung wurde eine Bestandsaufnahme der verschiedenen möglichen Maßnahmen durchgeführt, welche im Anhang (Kap.6.2.3) aufgeführt ist. In Abstimmung mit dem Umweltbundesamt wurde daraus eine Auswahl von Maßnahmen getroffen, welche weiter analysiert werden sollen. Prinzipiell könnten diese entweder alternativ oder ergänzend zu einer Grenzwertgesetzgebung umgesetzt werden. Vielversprechende Ansatzpunkte für eine Ergänzung bieten insbesondere:

- ▶ Erschließung zusätzlicher Hebel, d. h. Wirkung auf Fahrbetrieb, Bestandsfahrzeuge (anstatt nur Neufahrzeuge), sowie Unterstützung von energiesparenden Komponenten, die VECTO derzeit begrenzt abbilden kann (Aerodynamik, Reifen, sparsame Nebenverbraucher, ...)
- ▶ Zusätzliche Anreize für SNF-Betreiber zum Kauf und Einsatz effizienter Fahrzeuge, da Grenzwerte vorrangig die SNF-Hersteller betreffen
- ▶ Gezielte Förderung von alternativen Antrieben und Kraftstoffen

Tabelle 17 gibt eine Übersicht der von uns betrachteten Maßnahmen, geclustert nach den Wirkungsansätzen sowie der Wirkebene. Die einzelnen Maßnahmen werden in den folgenden Kapiteln näher beschrieben und anschließend bewertet.

Tabelle 17: Wirkebene und Wirkungsansätze ausgewählter Maßnahmen

	Anreiz für effiziente Fahrzeuge		Anreiz für effiziente Transporte	
Finanzielle Anreize	Einbezug in Emissionshandelssystem ETS			
	CO ₂ -Grenzwerte	Bonus-Malus-Regelung beim SNF-Kauf	Energiebasierte LKW-Maut	
		Förderprogramm energieeffiziente SNF		Anpassung der Energiesteuer
		Ladeinfrastruktur für E-Fahrzeuge	Förderung Werkstat- tenausbildung	
		Effizienzlabels für Einzelkomponenten		
Rahmenbedingungen	Privilegien für alternative Antriebe			
Freiwillige Maßnahmen	THG-Emission als Vergabekriterium für Fahrzeuge		THG-Emission als Vergabekriterium für Transporte	
	Effizienzberater			

Eine Beurteilung der Maßnahmen erfolgt vorrangig nach dem CO₂-Minderungspotenzial. Sofern relevant wurden weitere Aspekte wie Wirtschaftlichkeit, Akzeptanz, etc. untersucht. Die Beschreibung der einzelnen Maßnahmen soll – soweit möglich – eine erste Einschätzung zu den verschiedenen Kriterien geben.

4.2 Wirkungsansatz – Finanzielle Anreize

Finanzielle Anreize können CO₂-intensive Fahrzeuge verteuern oder CO₂-arme vergünstigen. Während die Vertauung einerseits die Attraktivität von CO₂-armen Optionen fördert, kann sie zusätzlich dazu führen, dass insgesamt weniger Transportdienstleistungen konsumiert werden. Direkte Förderung von CO₂-armen Optionen hingegen kann zu einer Erhöhung der Nachfrage nach Transporten führen (Rebound-Effekt). Allerdings ist zu sagen, dass die Preiselastizität im Güterverkehr zumindest kurzfristig gering ist, dass also die Änderung der Nachfrage aufgrund von Preisänderungen relativ gering ausfällt. Das bedeutet, dass sowohl eine Reduktion der gesamten Transportdienstleistungen als auch ein Rebound-Effekt erst bei großen Preisänderungen relevant werden.

Förderprogramme zielen darauf ab, Investitionen in effizientere Technologien für den Markt attraktiver zu machen, indem z. B. ein Teil der Mehrkosten subventioniert wird. Im Gegensatz zu Regulierungsmaßnahmen ist eine Förderung für die betroffene Zielgruppe freiwillig. Gefördert werden können effizientere Fahrzeuge oder Fahrzeugkomponenten, oder ergänzend die Infrastruktur für alternative Antriebe, sowie spezielle Beratungs- oder Dienstleistungen. Letztere werden in diesem Projekt allerdings unter dem Wirkungsansatz Rahmenbedingungen diskutiert, weil in dem Falle Angebote gefördert werden, welche die Einführung von CO₂-armen Technologien attraktiver machen.

Finanzielle Anreize basieren auf der Vorstellung, dass die betroffenen Akteure ökonomisch rational handeln, also eine günstigere Lösung der Teureren vorziehen. Bei der Ausgestaltung der Maßnahmen muss aber beachtet werden, dass der Preis z. B. bei der Anschaffung eines Fahrzeuges nicht das einzige Entscheidungskriterium ist. Aspekte wie Markentreue oder Image können genauso eine Rolle spielen wie eine allfällige mangelnde Transparenz im Markt, die eine rationale Entscheidung grundsätzlich behindert.

4.2.1 Aufnahme von Herstellern für schwere Nutzfahrzeuge in das EU-Emissionshandelssystem

Grundidee des EU-Emissionshandels ist es, ein marktbasiertes Instrument zur Begrenzung des Klimagasausstosses zu haben. Dafür wird eine festgelegte Anzahl an Emissionszertifikaten ausgegeben (entweder kostenlos oder über eine Versteigerung). Über die Beschränkung der Gesamtmenge an CO₂-Zertifikaten wird eine Emissionsobergrenze (Cap) vorgegeben. Emittenten von Klimagasen müssen jährlich so viele Zertifikate abgeben, wie sie CO₂-Äquivalente emittiert haben. Da die CO₂-Zertifikate handelbar sind, können Unternehmen entweder weitere Zertifikate zukaufen oder ihre Emissionen senken und nach Möglichkeit überzählige Zertifikate verkaufen (Trade). Damit werden Minderungen dort durchgeführt, wo sie besonders wirtschaftlich sind [DEHSt, 2014].

Bisher werden durch das ETS-System europaweit rund 12.000 Anlagen der Energiewirtschaft (und damit indirekt auch der elektrisch betriebene Bahnverkehr) sowie die energieintensive Industrie erfasst, seit 2012 wird auch der Luftverkehr einbezogen [UBA, n.d.]. In Europa ist der Straßenverkehr aktuell in den Emissionshandel nicht einbezogen, eine Aufnahme ist jedoch juristisch möglich [Europäischer Rat, 2015], [Öko-Institut et al., 2014], auch um eine Gleichberechtigung zum Luft- und Schienenverkehr zu erreichen. Prinzipiell existieren hierfür verschiedene Ansätze, wie die folgende Tabelle zeigt.

Tabelle 18: Mögliche Varianten des Emissionshandels für SNF

Variante	Mögliche Zielgruppe	Erläuterung	Ähnliche Maßnahmen
Downstream	SNF-Fahrzeughalter	Entspricht bisherigem EU-ETS System, konzentriert sich auf Endverbraucher, derzeit wenige Energie- und Industrieunternehmen.	CO ₂ -abhängige Maut
Upstream	Mineralölfirmen, indirekt alle Verbraucher im Straßenverkehr (nicht nur SNF)	Zertifikate werden an wenige Mineralölhersteller und -importeure ausgegeben. Zertifikatspreise werden auf Kraftstoffkosten aufgeschlagen.	CO ₂ -abhängige Energiesteuer
Midstream	SNF-Hersteller Fuhrpark- oder Speditionunternehmen	Kompromiss aus Nähe zum Verursacher (SNF-Betreiber) und administrativem Aufwand bei geringerer Anzahl Unternehmen	CO ₂ -Flottengrenzwerte (Hersteller) Bonus-Malus-System (Käufer)

Die Einführung von Emissionszertifikaten für Fahrzeughalter (**Downstream-Ansatz**) scheint auf Grund der großen Zahl zu erfassender Emittenten und dem damit verbundenen hohen Verwaltungsaufwand/-kosten unangemessen [EC, 2014]. Eine weitere Schwierigkeit dieser Variante ist die Bestimmung der realen CO₂-Emissionen der Fahrzeuge im Betrieb, für welche erst ein entsprechendes Monitoringinstrument erforderlich wäre. Daher ziehen u. a. die EU-Kommission [EC, 2014] und der Bundesverband Emissionshandel und Klimaschutz BVEK [BVEK, 2016] bisher einen **Upstream-Ansatz** als Alternative zu einer CO₂-abhängigen Energiesteuer für den Verkehr in Betracht, da dieser mit geringem administrativen Aufwand umsetzbar wäre. Beispielsweise gibt es in Kalifornien seit 2015 ein solches System für fossile Kraftstoffe. Im Gegensatz zum europäischen Emissionshandelssystem gibt es dort einen Mindestpreis für die CO₂-Zertifikate, der jährlich um 5 % ansteigt und aktuell bei fast 13 Dollar pro Tonne liegt. Damit liegt der Aufpreis pro Liter Diesel in den USA etwa bei 0,03 Dollar/Liter [California Environmental Protection Agency, 2016], [Climate Policy Initiative, n.d.]. Die Zertifikatspreise des EU-ETS liegen derzeit bei ca. 5 €/t, während die meisten Maßnahmen im Verkehr, darunter auch die beschlossenen CO₂-Grenzwerte für PKW und LNF gegenwärtig um ein Vielfaches höhere spezifische Minderungskosten verursachen [ICCT, 2014]. Ein Zukauf von Zertifikaten wäre somit für die Fahrzeughersteller deutlich kostengünstiger als die technische CO₂-Minderung an den Fahrzeugen. Der Grund für die tiefen Preise im EU-ETS sind eine Folge von zu geringen Reduktionszielen und einem großen Angebot an Zertifikaten, die zum Beispiel durch den wirtschaftlichen Zusammenbruch der ehemaligen Sowjetunion generiert wurden und deren Gestehungskosten praktisch null sein können. Die Möglichkeit, nicht verbrauchte Zertifikate in die Zukunft zu übertragen, wird dazu führen, dass die Einsparungen von heute zusätzliche Emissionen in der Zukunft erlauben, was dazu führen wird, dass die Zertifikatspreise mittelfristig günstig bleiben, wenn nicht das ETS System grundlegend angepasst wird.

Eine Untersuchung für das Umweltbundesamt kam zu dem Schluss, dass „im gegenwärtigen klimapolitischen Instrumentenmix die Einbeziehung von Kleinemittenten aus dem Verkehrs- oder Haushaltssektor in den EU ETS keinen eindeutigen Mehrwert bringen“ würde, „langfristig aber eine interessante Option“ bleibt. Hierbei wird hervorgehoben, dass eine Reparatur des bisherigen Systems (gegen Zertifikatsüberangebote und Preiseinbrüche) vor einer Erweiterung stehen sollte [Öko-Institut et al., 2014], da bei den gegenwärtigen Zertifikatspreisen praktisch kein zusätzlicher Anreiz zur Reduktion der Emissionen im Verkehr erfolgen würde.

Bisher wenig diskutiert wurde der sog. **Midstream-Ansatz**. Dieser Ansatz setzt zwischen den Wertschöpfungen der Endverbraucher und den Produzenten bzw. Importeuren von fossilen Brennstoffen, z. B. über die Fahrzeughersteller, an. Der Midstream-Ansatz kann damit über eine überschaubare An-

zahl von Unternehmen (dadurch geringere Transaktionskosten) abgewickelt werden, gleichzeitig ist gemäß FIS die Nähe zum Verursacher und damit dem potenziellen Vermeider höher als beim Upstream-Ansatz [FIS, 2015].

Wie gesagt kann Midstream bei den Fahrzeugherstellern oder bei den Speditionsunternehmen bzw. Fuhrparkbetreibern ansetzen. Der Ansatz bei den Betreibern liegt sehr nahe am Downstream-Ansatz und hat die entsprechenden Nachteile. Bei einer Regulierung über die Fahrzeughersteller hingegen werden diese für die von ihren Fahrzeugen durchschnittlich über ihren Lebensweg verursachten CO₂-Emissionen zertifikatspflichtig gemacht, wobei bei Überschreiten gewisser festgelegter Flottenstandards zusätzliche CO₂-Zertifikate erworben und abgegeben werden müssen [Deuber, 2002]. Angelehnt an Betrachtungen zur Einbeziehung der PKW-Hersteller in den Emissionshandel aus [ifeu et al., 2003] könnte die Berechnung der Zertifikatsmenge wie folgt funktionieren:

$$\text{Zertifikate} = [\text{Emissionswert Fahrzeug} - \text{Zielwert}] * \text{Lebenslaufleistung} \\ * \text{Anzahl der verkauften Fahrzeuge}$$

Damit gehen sowohl die durchschnittlichen Emissionen eines Fahrzeuges pro km als auch seine voraussichtliche Lebensfahrleistung ein. Hierbei gelten ähnliche Überlegungen wie bei den CO₂-Grenzwerten für SNF. Es sind standardisierte CO₂-Werte nötig und es sollte nach verschiedenen Fahrzeugtypen differenziert werden. Ergänzend sind abgestimmte und akzeptierte Annahmen zu mittleren Lebensfahrleistungen in den verschiedenen Fahrzeugklassen nötig. Dabei ist allerdings zu beachten, dass so berechnete Emissionen nicht den Ansprüchen an Mess- und Validierbarkeit entsprechen, die z. B. für Mechanismen im Rahmen der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen gelten.

Nachteil des Midstream-Ansatzes ist, dass nur Neufahrzeuge erschlossen werden (im Unterschied zur Wirkung anderer ETS-Ansätze auf die gesamte Fahrzeugflotte). Auch fehlen Anreize für nicht von den standardisierten Werten abdeckbaren Verbesserungen (z. B. erhöhte Fahrzeugauslastung, kraftstoffsparende Fahrweise, ...). Zudem kann dieser Ansatz zu Fehlanreizen führen, z. B. indem eine längere Nutzung von alten Fahrzeugen ökonomisch attraktiver wird.

Minderungspotenzial: Prinzipiell ermöglicht das ETS, alle Neufahrzeuge der relevanten Fahrzeugklassen in der EU zu erfassen. Die Höhe der Minderung lässt sich über die Zertifikatsanzahl und deren Nachjustierung steuern. Damit kann, ähnlich wie bei den CO₂-Grenzwerten, ein Flottenzielwert vorgegeben werden, bei dessen Überschreiten die Hersteller Zertifikate aus dem Fahrzeugbereich kaufen müssen. Aufgrund der relativ hohen Reduktionskosten durch fahrzeugtechnologische Maßnahmen, würden sich deutlich höhere Zertifikatspreise ergeben, als für das aktuelle EU-ETS. Trotzdem werden insbesondere für Innovationen im Bereich von Zukunftstechnologien für das ETS geringe Chancen gesehen [ICCT, 2014]. Wenn allerdings ein geschlossenes System für den Transportsektor mit angemessenen Reduktionsvorgaben (z. B. -40 % bis 2030) umgesetzt würde, darf davon ausgegangen werden, dass auch relativ teure Technologien genutzt werden, da die Zertifikate knapp (und jedes Jahr knapper) und entsprechend teuer würden. Auch könnten in einem geschlossenen Emissionshandelsystem mit Festlegung deutlich höherer Mindestpreise für die CO₂-Zertifikate höhere Innovationsanreize gesetzt werden, doch widerspricht eine Festlegung von minimalen Zertifikatspreisen dem Grundgedanken des ETS, nach dem der Markt die Zertifikatspreise bestimmen und so die effizienteste Reduktion finden soll. Um die Einführung alternativer Antriebe im Bereich der SNF zu fördern, wäre auch denkbar z. B. Elektro-Nutzfahrzeuge vom Emissionshandel zu befreien oder ihnen eine Gutschrift zu gewähren.

Wirtschaftlichkeit: Als marktbasierte Maßnahme hat das ETS grundsätzlich eine gute Kosteneffizienz zur Erreichung von Emissionsminderungen, da der Markt (in diesem Falle die SNF-Hersteller) die günstigsten Maßnahmen identifizieren und anwenden können. Der Vorteil eines für den Fahrzeugbereich geschlossenen Systems liegt darin, dass das Überangebot an Zertifikaten im bisherigen ETS die Zertifikatspreise im Fahrzeugbereich nicht bis zur faktischen Wirkungslosigkeit reduzieren würde.

Damit handelt man sich jedoch den Nachteil ein, dass nicht unbedingt die über alle Sektoren ökonomisch günstigste Reduktion realisiert werden kann, was dem Grundprinzip des ETS widerspricht. Insgesamt dürften sich mit einem geschlossenen ETS für den Fahrzeugbereich sehr ähnliche Reduktionskosten pro Tonne Treibhausgasemissionen einstellen, wie mit einem CO₂-Grenzwert, der dem Zielwert für die Zertifikatberechnung entspricht. Die Einführung der Maßnahme ergibt auch nur dann Sinn, wenn keine Flottengrenzwerte gelten.

Akzeptanz: In der politischen Debatte konnte das ETS für den Verkehr sich bisher trotz vieler Untersuchungen und Debatten nicht durchsetzen. Speziell der Midstream-Ansatz für SNF-Hersteller stand dabei jedoch nicht im Fokus, daher liegen zu dessen Akzeptanz derzeit keine ausreichenden Erkenntnisse vor. Hierbei wäre insbesondere die Akzeptanz bei den betroffenen Akteuren, also den Fahrzeugherstellern, zu untersuchen und der Einführung von CO₂-Grenzwerten gegenüber zu stellen. Der Cap und seine zeitliche Entwicklung und die daraus zu erwartenden Kosten über die Zertifikatspreise und deren Stabilität dürften hierbei entscheidend sein. Die Planungssicherheit scheint beim ETS vergleichbar mit der von regulatorischen Maßnahmen, solange der Cap und dessen zeitliche Entwicklung von Anfang an kommuniziert werden.

4.2.2 Förderprogramm zur Neubeschaffung effizienter LKW

Folgende Förderrichtungen sind möglich:

- a) Förderung bei Anschaffung von Neufahrzeugen basierend auf dem VECTO-CO₂-Wert des Kfz. Dabei müssten, wie auch bei der CO₂-basierten Maut oder einem Bonus bei der Zulassung, je nach CO₂-Wert des Kfz im Vergleich zum Klassenmittelwert oder zum Bestwert Abstufungen innerhalb der einzelnen VECTO-LKW-Klassen fixiert werden.
- b) Förderungen von verbrauchssparenden Technologien/Komponenten an LKW und Bussen (z. B. Reifen, Aero-Pakete, alternative Antriebe). Diese kann auch ohne verfügbaren VECTO-CO₂-Wert umgesetzt werden, sofern ein anderes operationalisierbares Bewertungskriterium verfügbar ist und ist somit für manche Komponenten auch im Bestand anwendbar.

Generell ist eine Förderung zeitlich zu begrenzen bzw. regelmäßig auf ihre Wirksamkeit zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen.

Variante a)

Die Anschaffung von Hybrid, Plug-In-Hybrid sowie batterieelektrischen Bussen wird in einem Programm des BMUB bereits gefördert (ab 2018). Eine Förderung von optimierten Fahrzeugen mit konventionellen Antriebstechnologien sollte hingegen auf VECTO-CO₂-Werten basieren und kann frühestens ca. ein Jahr nach verpflichtender Einführung der CO₂-Zertifizierung der Neuzulassungen, also Ende 2019 oder 2020, erfolgen, da zuerst die real zertifizierten CO₂-Werte analysiert werden sollten. Man könnte danach z. B. LKW, die in ihrer Klasse besser als das 15 %-Perzentil des vorangegangenen Zulassungsjahrganges sind, eine Förderung gewähren. Eine solche Förderung wäre methodisch einfach umzusetzen. Allerdings müsste die Förderhöhe vorsichtig tarifiert werden, um Mitnahmeeffekte zu minimieren und maximale Wirkung pro Fördergeld zu erzielen. Maßnahmen, die ohne Förderung in ca. 2 Jahren amortisiert sind, müssten bei der Beschaffung neuer Nutzfahrzeugmodellen ohnehin umgesetzt werden³⁹ und dürfen darum nicht von der Förderung profitieren (siehe Tabelle 19 zu Amortisations-

³⁹ Unter der idealisierten Annahme, dass die Käufer ökonomisch rational entscheiden und handeln. Geht man davon aus, dass diese Annahme nicht gilt, muss der Wirkungsmechanismus der finanziellen Anreize grundsätzlich in Frage gestellt werden.

zeiten verschiedener Komponenten). Bei Reifen oder Verschleißteilen, deren Lebenserwartung unter zwei bis drei Jahren liegen, muss die Amortisationszeit natürlich deutlich kürzer sein, damit davon ausgegangen werden kann, dass die Maßnahme auch ohne Förderung praktisch standardmäßig umgesetzt werden sollte. Zur Feststellung der optimalen Förderhöhe müsste also berücksichtigt werden, welche Komponenten oder Technologien zum Einsatz kommen, was allerdings der Grundidee dieser Variante widersprechen würde. Für Komponenten oder Technologien mit längerer Lebensdauer in neuen Fahrzeugen sollte die Förderhöhe so gewählt werden, dass sie gemeinsam mit der dadurch erreichten Kraftstoffkostensparnis zu einer Amortisation der Kfz-Mehrkosten in 2 bis 3 Jahren führt. Gemäß [UBA, 2015a] können aber dieselben Reduktionsmaßnahmen in einem Fahrzeugtyp je nach Anwendung des Fahrzeuges (z. B. Regional- oder Fernverkehr) in 2 bis 3 oder erst in über 6 Jahren amortisiert sein. Somit müsste dieses Förderkriterium noch durch Kriterien zur Nutzung der Fahrzeuge ergänzt werden um eine optimale Wirkung der Förderung zu garantieren, was in der Praxis kaum zu überprüfen wäre.

Würde hingegen der für die Förderung benötigte zertifizierte CO₂-Wert so tief angesetzt, dass nur Fahrzeuge davon profitieren können, die deutlich mehr als die ökonomisch lohnenden Maßnahmen umgesetzt haben, könnten in technologieneutraler Weise alternative Antriebe gefördert werden.

Variante b)

Im Rahmen des Programms „De-minimis“ der Bundesregierung zur Förderung der Sicherheit und Umwelt in Unternehmen des Güterkraftverkehrs mit SNF werden Aufwendungen für aerodynamische Maßnahmen zur Verringerung des Luftwiderstandes, für überobligatorische Maßnahmen zur Verringerung des Kraftstoffverbrauchs und für die Beschaffung von rollwiderstandsoptimierten Reifen bereits seit mehreren Jahren gefördert. Seit neuestem ist im Rahmen von „De-minimis“ auch eine Umrüstung auf Elektro-LKW förderungsfähig, wobei bis zu 80 % der zuwendungsfähigen Ausgaben gefördert werden können [Eurotransport.de, 2017].

Die Förderung von effizienten Komponenten braucht eine eindeutige Definition der Kontrollgröße, die zur Beurteilung der Förderwürdigkeit der Komponente verwendet wird. Bei der bestehenden Förderung ist dies z. B. *die Rollwiderstandsklasse* im Label der Reifen. Bei Aerodynamikpaketen ist eine exakte Definition schwieriger und entsprechend gibt es in den bestehenden Förderrichtlinien auch keine konkreten Vorgaben.

Da die Variabilitäten der Kosten und der Wirkungshöhe solcher Maßnahmen recht groß und überdies abhängig von der Fahrzeugnutzung sind, ist das Festlegen der optimalen Förderhöhe noch anspruchsvoller als in der ersten Variante. Eine Abschätzung der benötigten Förderhöhe mit der zu erwartenden CO₂-Einsparung auf Basis der Berechnungen in [UBA, 2015a] ist in Tabelle 19 dargestellt.

Tabelle 19: Änderung der Fahrzeug- und Kraftstoffkosten (in €) sowie der CO₂-Einsparung gegenüber einem Euro-VI-Fahrzeug pro Fahrzeug im Zeitraum von drei Jahren [UBA, 2015a].

Fahrzeug	Maßnahme	Zusätzliche Technologiekosten	Änderung der Kraftstoffkosten	CO ₂ -Einsparung (WTW)	Benötigte Förderhöhe
Sattelzug 40t, Fernverkehr	Leichtlaufreifen Zugmaschine	200	-1.900	3,7 %	0
	Leichtlaufreifen Auflieger	300	-4.100		0
	Aeropaket 1	4.500	-6.500	3,9 %	0
	Aeropaket 2, Zugmaschine	4.900	-1.400	5,8 %	3.500

Sattelzug 40t, Regionalverkehr	Aeropaket 2, Auflieger	6.000	-7.400		0
	Aeropaket 2, Gesamtfahrzeug	10.900	-9.300		1.500
	LNG-Fahrzeug	44.700	-41.900	1 %	3.000
	Parallel-Hybrid	60.000	-6.000	3,7 %	55.000
	Leichtlaufreifen Zugmaschine	100	-1.100	2,9 %	0
	Leichtlaufreifen Auflieger	100	-1.600		0
	Aeropaket 1	4.500	-2.200	2,4 %	2.500
	Aeropaket 2, Zugmaschine	4.900	-600	3,3 %	4.500
	Aeropaket 2, Auflieger	6.000	-2.500		3.500
	Aeropaket 2, Gesamtfahrzeug	109.00	-3.100		8.000
	LNG-Fahrzeug	45.600	-24.000	2,7 %	22.000
	Parallel-Hybrid	60.000	-6.600	7,5 %	54.000
Solo LKW 12t, städtischer Lieferverkehr	Leichtlaufreifen	70	-300	0,9 %	0
	Aeropaket 1	3.600	-500	1,8 %	3.200
	Aeropaket 2	8.500	-700	2,4 %	8.000
	CNG-Fahrzeug	9.000	-8.200	11,3 %	1.000
	Parallel-Hybrid	35.000	-2.600	8,7 %	33.000
	Batterieelektrisch	130.000	-15.200	53,2 %	115.000
	Leichtlaufreifen	310	-1.600	1,7 %	0
Stadtbus, 18t städtisch	CNG-Fahrzeug	37.500	-22.500	8,0 %	15.000
	Parallel-Hybrid	90.000	-12.300	13,5 %	78.000
	Seriell-Hybrid	100.000	-20.300	22,2 %	80.000
	Batterieelektrisch, Depotladung	250.000	-52.200	59,5 %	200.000
	Batterieelektrisch, Zwischenladung	200.000	-56.200	63,7 %	150.000

Anmerkung: Aeropaket 1: Sattelzug: Seitenverkleidung, Heckeinzug 50 cm; Solo-LKW: Windleitblech Kabine-Aufbau, abgerundete Vorderkanten Koffer-, Seiten- und Unterbodenverkleidung, Heckeinzug 50 cm, Heckdiffusor. Aeropaket 2: Sattelzug: Verlängerte Aerofront, Kameras statt Rückspiegel, Seiten- und Unterverkleidung, Heckeinzug 100 cm; Solo-LKW: wie Paket 1 plus Kameras statt Rückspiegel

Der Einsatz von rollwiderstandsoptimierten Reifen sollte bereits in 0,1 bis 0,3 Jahren amortisiert sein. Bei einer Lebenserwartung von 1,5 bis 4 Jahren (ca. 200.000 km) müsste davon ausgegangen werden, dass diese Reifen nur schon aufgrund der ökonomischen Vorteile verbreitet eingesetzt würden. Eine

von der ETRMA publizierte statistische Auswertung der Reifenverkäufe⁴⁰ nach Labelklassen von 2014 zeigt, dass zu der Zeit weit weniger als 1 % der eingesetzten LKW-Reifen in der besten Rollwiderstandsklasse (A; RCC <4) lagen. Auch in Klasse B (RCC 4-5) lagen nur etwa 18 % der Reifen. Es scheint also sicher nicht der Fall zu sein, dass der Kauf von rollwiderstandsoptimierten Reifen für LKW mehr oder weniger als Standard gelten kann. Entsprechend ist zweifelhaft, ob die finanzielle Förderung von rollwiderstandsreduzierten Reifen ohne zusätzliche Maßnahmen einen entscheidenden Einfluss auf deren Verbreitung haben würde. Tabelle 19 stellt die Zusatzkosten und den Nutzen von Leichtlaufreifen dar und zeigt so, dass keine Förderung nötig sein sollte, damit die Nutzer aus ökonomischen Überlegungen die Technologie nachfragen.

Aerodynamikmaßnahmen amortisieren sich bei Sattelzügen im Fernverkehr innerhalb von 2 bis 3,5 Jahren [UBA, 2015a]. Im Regionalverkehr sowie bei Solo-LKW im Stadtverkehr kann die Amortisationszeit in die Größenordnung der Fahrzeuglebensdauer und darüber steigen. Das liegt einerseits daran, dass diese Maßnahmen bei hohen Geschwindigkeiten die größte Wirkung zeigen, und andererseits, dass die jährliche Fahrleistung im Fernverkehr am größten ist. Für die potenzielle Wirksamkeit einer Förderung bedeutet dies, dass die Förderung im Fernverkehr vor allem zu Mitnahmeeffekten führt. In den anderen Anwendungen könnte sie eine Treibhausgasemissionsreduktion um 2-3 % bewirken. Die Zusatzkosten für Aerodynamikmaßnahmen gemäß [UBA, 2015a] sind in Tabelle 19 zusammengestellt. Daraus lassen sich die Förderhöhen abschätzen, die nötig wären, damit die Nutzer aus ökonomischen Überlegungen die Technologien nachfragen sollten.

Eine Förderung von Erdgasfahrzeugen kann im Bereich der Sattelzüge im Fernverkehr gegebenenfalls geringe Mitnahmeeffekte erzeugen, da der Mehrpreis gegenüber Dieselfahrzeugen in unter 4 Jahren amortisiert ist und über die gesamte Fahrzeuglebensdauer zu erheblichen Einsparungen führt⁴¹. Hybride und batterieelektrische Fahrzeuge hingegen rechnen sich zurzeit in keiner Variante oder Anwendung. Eine Förderung dieser Fahrzeuge kann praktisch als Voraussetzung für deren Einsatz betrachtet werden und kann, neben der direkten Einsparung der Emissionen des geförderten Fahrzeuges, auch die Entwicklung dieser Antriebskonzepte fördern und so deren Marktfähigkeit mittelfristig verbessern. Allerdings liegen die Vermeidungskosten pro Tonne CO₂-äquivalente mit mehrheitlich über 100 € und bis zu 1.000 € (gem. [UBA, 2015a], bezogen auf die gesamte Lebensdauer der Fahrzeuge) in einem verhältnismäßig hohen Bereich. Insgesamt negative CO₂-Vermeidungskosten erreicht gemäß [UBA, 2015a] nur der batterieelektrische Stadtbus mit Zwischenladung. Tabelle 19 zeigt die Zusatzkosten und Nutzen von alternativen Antrieben auf und schätzt daraus die Förderhöhe ab, die nötig wäre, damit die Nutzer aus ökonomischen Überlegungen die Technologie nachfragen sollten.

Wie in Tabelle 19 gezeigt, hängt die **Wirkung** der Förderung von Effizienztechnologien, Fahrzeugtypen und Fahrzeugnutzung ab. Reduktionen bis 4 % können ohne Förderung wirtschaftlich sein oder über 50.000 € Förderung benötigen. Einsparungen im zweistelligen Prozentbereich werden im Ausnahmefall mit einer Förderung von 1.000 € wirtschaftlich. In den meisten Fällen wären dafür aber massive Förderbeträge von 50.000 bis 200.000 € notwendig.

Wirtschaftlichkeit: Förderungen von Fahrzeuge haben grundsätzlich den Effekt, dass sie Transport für Anbieter und/oder Nutzer billiger machen. Das hat grundsätzlich einen nachfragesteigernden Effekt. Im grenzüberschreitenden Verkehr können solche Förderungen für heimische Frächter ein wesentlicher Wettbewerbsvorteil gegenüber ausländischen Frachtern sein. Die zulässigen Förderhöhen

⁴⁰ European Tyre and Rubber manufacturers' association 2016 Low emission Mobility, focus on freight transport. Brussels, 24.11.2016

⁴¹ Die Differenz zwischen Gas- und Ölpreis spielt jedoch eine entscheidende Rolle. Die hier angegebenen Werte wurden vor dem Ölpreistief Ende 2015 errechnet, es können sich also auch längere Amortisationszeiten für Gas-LKW ergeben.

und -methoden sind dementsprechend international auch relativ eng definiert. Eine entsprechende Prüfung der EU-rechtlichen Rahmenbedingungen wäre daher erforderlich.

Förderungen verursachen bei der Zielgruppe im Allgemeinen geringe **Akzeptanzprobleme**, sofern keine Wettbewerbsverzerrung entsteht und die Abwicklung praktikabel ist (nicht zu komplexe Antragstellung, gesicherte und zeitnahe Auszahlung).

Eine Förderung auf Basis von Zielwerten, z. B. des spezifischen Energieverbrauchs oder der CO₂-Emissionen der Fahrzeuge, ist prinzipiell **technologieneutral**. Eine Förderung von effizienzsteigernden Komponenten wäre hingegen nicht immer technologieneutral zu gestalten, da sie nur bei speziellen Komponenten sinnvoll möglich ist (z. B. wäre die Verwendung einer effizienteren Kühlwasserpumpe im Motor in einer komponentenbezogenen Förderung kaum abzuwickeln). Auch die Förderung von Elektro-Fahrzeugen und der Ladeinfrastruktur ist nicht technologieneutral. Jedoch können damit Anreize geschaffen werden, auch aktuell nicht schnell amortisierbare Minderungstechnologien einzusetzen.

Stakeholder Rückmeldungen zu Förderprogrammen

Förderprogramme wirken nur bei ausreichender finanzieller Ausstattung und wenn sie schnell umgesetzt werden (negatives Bsp.: aktuelles Förderprogramm). Die Stakeholder begrüßen auch Alternativen wie z. B. die Schaffung von Finanzierungsmöglichkeiten über zinsgünstige Kredite, Aufstellung eines Risikofonds für die Investition in energiesparende Technologien oder die Verstärkung der Forschung im Bereich effizienter Nutzfahrzeuge.

4.2.3 CO₂-abhängige Zulassungsgebühr (Bonus-Malus)

Von einer verbrauchsabhängigen Komponente bei den Anschaffungs- und Fixkosten können wichtige Impulse an Fahrzeugbetreiber zum Kauf sparsamer Nutzfahrzeuge ausgehen. Längerfristig geht davon ein verstärkter Anreiz an die LKW-Hersteller zum Angebot besonders effizienter Modelle aus. Grundidee des Bonus-Malus Systems ist die Einführung einer verbrauchsabhängigen Zulassungsabgabe oder -gebühr, die für Fahrzeugbetreiber die Erstzulassung von Neufahrzeugen mit besonders geringen CO₂-Emissionen signifikant vergünstigt (Bonus), während sich die Zulassung von Fahrzeugen mit hohem CO₂-Ausstoß verteuert (Malus). Dabei ist es denkbar, speziell für alternative Antriebe hohe Boni anzusetzen, um z. B. die Elektromobilität besonders zu fördern. In einer technologieunabhängigen Ausgestaltung der Maßnahme müssten sich Bonus und Malus progressiv mit dem CO₂-Ausstoß entwickeln, damit die Anreize für sehr hohe Einsparungen (z. B. durch Elektrifizierung) groß genug würden.

Ein solches System existiert bereits in Frankreich für PKW. Hier müssen alle PKW mit einem CO₂-Ausstoß oberhalb des Flottengrenzwertes von 125 g CO₂/km Malus-Zahlungen leisten, die von 50 Euro bis auf 10.000 Euro (bei mehr als 190 g CO₂/km) pro Jahr ansteigen. Im Gegenzug dazu gibt es eine einmalige 1.000 Euro-Bonus-Zahlung für Elektro- oder Hybrid-PKW mit einem Ausstoß von 60-21 g CO₂/km bzw. eine Bonus-Zahlungen von bis zu 6.000 Euro für PKW mit weniger als 20 g CO₂/km mit einer Deckelung bei 27 % des Fahrzeuganschaffungspreises [Französische Botschaft, 2017]. Wenn gleichzeitig mit der Anschaffung eines förderungsberechtigten Fahrzeuges ein über 10 Jahre altes Dieselfahrzeug verschrottet wird, werden die Bonusansätze auf 3.500 bzw. 10.000 € erhöht.

Für SNF wäre im Gegensatz zu den PKW eine Gleichbehandlung über alle Fahrzeuge wenig sinnvoll, stattdessen sollten wie bei CO₂-Grenzwerten je Fahrzeugklasse geeignete jahresspezifische mittlere CO₂-Emissionswerte definiert werden, gegenüber denen CO₂-Vorteile und -Nachteile bewertet werden können. Weiterhin ist eine belastbare Einschätzung von Mehr- bzw. Minderkosten beim Fahrzeugkauf für effizientere bzw. ineffizientere Fahrzeugmodelle notwendig. Eine erste Einschätzung können beispielsweise die Werte aus der Untersuchung von [UBA, 2015a] geben (siehe Tabelle 19 im Kapitel 4.2.2). Solche Definitionen wären auch für Spezialfahrzeuge (z. B. Müllfahrzeuge, Schneepflug, ...) oder

spezielle Einsatzbereiche (z. B. Baustellenfahrzeuge) nötig, die systembedingt höhere Emissionen aufweisen können als „normale“ SNF.

Das **Minderungspotenzial** einer Bonus-Malus-Regelung hängt von der Höhe der Bonus-(Malus)-Zahlungen ab. Bonuszahlungen sind optimalerweise von ihrer Höhe her geeignet, die Mehrkosten in der Beschaffung von besonders effizienten Fahrzeugen soweit zu reduzieren, dass sich das Fahrzeug in den erwarteten Amortisationszeiten für den Betreiber insgesamt gegenüber einem durchschnittlich effizienten Fahrzeug ohne Bonus rechnet. Umgekehrt sollte die Höhe des Malus so bemessen sein, dass Fahrzeuge mit signifikant höheren spezifischen CO₂-Emissionen in jedem Falle teurer als Fahrzeuge mit durchschnittlichem CO₂-Ausstoß sind.

Die Maßnahme ist prinzipiell technologieneutral und könnte mit einer progressiven Förderung bei abnehmender CO₂-Emission auch alternative Antriebe, die ohne Maßnahme nicht wirtschaftlich sind, in den Bereich der Wirtschaftlichkeit rücken.

Zur Sicherstellung der **Wirtschaftlichkeit** werden die Bonus-Malus-Zahlungen im Idealfall so gestaltet, dass die Maßnahme insgesamt kostenneutral ist. In der Praxis ist es allerdings schwierig vorher abzusehen, wie diese Aufkommensneutralität sichergestellt werden kann. Die Abschätzung der Mehrkosten von Effizienzmaßnahmen, welche eine wichtige Grundlage für die Bemessung von Bonus- und Malushöhe darstellt, ist nach [UBA, 2015a] auf Grund der großen Bandbreite zwischen den Herstellern und Unterschieden zwischen Listenpreisen und Marktpreisen oft nur schwer möglich, und die Auswahl, welche der Technologien in Serienfahrzeugen angeboten werden, liegt beim Hersteller. Verschiedene in [UBA, 2015a] betrachtete Technologien rechnen sich bereits nach wenigen Jahren auch ohne Bonuszahlung für die Betreiber oder benötigen nur geringe Bonuszahlungen zum Ausgleich der Mehrkosten aus der Fahrzeugbeschaffung. Eine Bonuszahlung von 27 % des Fahrzeugpreises, wie im französischen System für PKW, entspräche ca. 40.000 €. Gemäß [UBA, 2015a] könnten damit auch heute noch sehr teure Technologien, z. B. Aerodynamikpakete, Abwärmenutzung (WHR), LNG- und Hybrid-Fahrzeuge, angeschafft werden.

Ist allerdings der Bonus so hoch, dass die Nachfrage nach solchen Fahrzeugen stark steigt, steigen damit auch die totalen Bonuszahlungen stark an, was dazu führen muss, dass die Maluszahlungen ebenfalls angehoben werden müssen. Dies verstärkt die Attraktivität der emissionsarmen Fahrzeuge weiter, sodass die Bonuszahlungen wieder gekürzt werden müssen. Würde ein solches System einmal jährlich angepasst, könnten sich über viele Jahre hinweg große Schwankungen in den Bonus- und Maluszahlungen ergeben, was die Modellplanung für LKW-Hersteller praktisch unmöglich machen würde. Wird andererseits das System relativ vorsichtig eingeführt und langsam angepasst, ergeben sich planbare Veränderungen, die nur einen Teil der möglichen Reduktionswirkung zeigen.

4.2.4 CO₂- oder effizienzbasierte LKW-Maut

Die Maut auf Autobahnen könnte anstelle oder zusätzlich zur Spreizung nach EURO-Schadstoffklassen auch nach Energieeffizienz oder CO₂-Wert der Kfz erhoben werden. Bisher besteht allerdings keine EU-rechtliche Grundlage für eine Maut, die nach CO₂- oder Energieeffizienzkriterien gestaffelt ist. Die Eurovignettenrichtlinie [1999/62/EU] sieht die Einbeziehung von externen Kosten vor, bei denen zwar Schadstoffe, jedoch CO₂ bzw. Energieverbrauch nicht berücksichtigt sind. Dementsprechend wäre zuerst eine Anpassung der Richtlinie zu bewirken. Ein entsprechender Vorschlag der EU-Kommission liegt seit Mai 2017 vor [EU, 2017].

Grundvoraussetzung für eine nach CO₂- oder Energieeffizienzkriterien gestaffelte Maut ist natürlich eine vorhandene, verpflichtende und standardisierte CO₂-Kennzeichnung aller Fahrzeuge, wie sie auf der Straße sind (also mit Aufbau, Auflieger, Anhänger etc.). Das ist mit VECTO für Neufahrzeuge mit Standardaufbau bzw. für neue Zugfahrzeuge vorgesehen. Gegebenenfalls wird auch die Beurteilung

von spezifischen Sattelzugkombinationen oder von Fahrzeugen mit speziellen Aufbauten mit VECTO möglich. Für den Kfz-Bestand vor Einführungsdatum der CO₂-Zertifizierung wird es allerdings keine solchen CO₂- bzw. Verbrauchswerte geben. LKW ohne CO₂- bzw. Verbrauchswert müssten also über generische CO₂-Werte (z. B. abhängig vom Zulassungsjahr und ggf. von der LKW-Klasse) oder weiterhin nach EURO-Klassen bemautet werden. Eine andere Schwierigkeit liegt darin, dass die Fahrzeugeffizienz auch von Komponenten abhängt, die im Laufe des Fahrzeuglebens entfernt oder geändert werden können (z. B. Reifen, Windabweiser,...). Die effizienzbasierte Maut würde also voraussetzen, dass relevante Komponenten nur durch solche ersetzt werden dürfen, die die Fahrzeugeffizienz gegenüber dem Originalzustand nicht verschlechtern. Das Einhalten dieser Bedingung müsste, mit beträchtlichem Aufwand, kontrolliert werden.

Grundsätzlich ist es besser, die Maut von der relativen Effizienz innerhalb der einzelnen VECTO-LKW-Klassen abhängig zu machen als eine LKW-Klassenüberschreitende Spreizung einzuführen. Letztere würde je nach Ausgestaltung entweder große LKW (wenn auf g/km bezogen) oder kleine LKW (wenn auf g/tkm bezogen) benachteiligen und eventuell unerwünschte Verschiebungen der Fahrzeugauswahl für Transporte bewirken.

Bevor die Mautspreizung fixiert wird, müssten wiederum die CO₂-Werte der Neuzulassungen zu Beginn der CO₂-Kennzeichnungspflicht gesammelt und analysiert werden, um die Verteilung der CO₂-Werte in der Neuwagenflotte verlässlich zu kennen. Damit könnte dann eine aufkommensneutrale Spreizung berechnet werden, die regelmäßig an die Entwicklung der Flottenwerte angepasst werden muss. Da die Spreizung auf CO₂- oder Verbrauchseffizienz des Kfz innerhalb seiner VECTO-Klasse aufbauen sollte, wäre das dazu nötige Klassifizierungsverfahren EU-einheitlich zu gestalten. Verschiedene Klassifizierungen in den einzelnen Mitgliedstaaten wären für eine Akzeptanz hinderlich.

Es wäre also naheliegend, die heutige Mautspreizung nach Achsanzahl zu belassen und für Neufahrzeuge ab ca. 2020 die Spreizung nach EURO-Klassen durch eine CO₂-basierte Spreizung zu ersetzen. Bis dahin könnte auch die Eurovignettenrichtlinie angepasst werden. Da die Schadstoffemissionen moderner EURO-VI-LKW ohnehin schon sehr niedrig sind, setzt eine schadstoffbasierte Spreizung ab EURO VI in weiterer Zukunft wenig Anreiz. Da die baldige Einführung weiterer Emissionsgrenzwerte („EURO VII“) nicht absehbar ist, wäre eine Umstellung auf CO₂ als Basis für zukünftige Neufahrzeuge sicher gut begründbar.

Da die Mautspreizung basierend auf den EURO-Klassen für zukünftige Neuzulassungen derzeit keinen Anreiz mehr darstellt, bessere als gesetzlich verlangte Technologie zu nutzen, ist eine Umstellung auf Energie- oder CO₂-basierte Maut sinnvoll.

City-Maut

Im Zuge der Luftreinhaltungs- und Lärmdiskussion wird diskutiert in Innenstädten eine City-Maut einzuführen, die neben PKW auch schwere Nutzfahrzeuge betreffen kann. Solche Abgaben können einerseits zur Verkehrsverminderung beitragen, jedoch können auch, um die Nutzung von lokal emissionsfrei fahrenden Fahrzeugen zu unterstützen, z. B. Elektro- und Plug-In Hybrid-Fahrzeuge von der Maut befreit werden. Ein prominentes Beispiel ist die sog. „Congestion Charge“ in London, während sich in Deutschland bisher eher das Modell Umweltzonen durchgesetzt hat.

Zur Ausschöpfung der **Minderungspotenziale** einer effizienzbasierten LKW-Maut werden die Neufahrzeuge ab frühestens Baujahr 2020 erfasst und damit ein Anreiz geschaffen, effizientere Kfz anzuschaffen, als ohne eine solche Maut. Je nach Gestaltung der Spreizung kann auch ein Anreiz geschaffen werden, ältere Kfz durch neuere zu ersetzen. Allerdings wird die Spreizung kaum größer sein können als sie jetzt schon von alten EURO-Klassen zu EURO VI ist, so dass daraus kein stärkerer Anreiz zur Flottenerneuerung als heute zu erwarten ist. Jedoch wäre auch ein Erhalten der bisher recht schnellen

Erneuerung ein wünschenswerter Effekt. Je nach zukünftig in der Eurovignettenrichtlinie definierten maximalen CO₂-basierten Mautspreizung dürfte der Kostenunterschied zwischen effizienten und weniger effizienten Kfz im Bereich von ca. 10 Cent/km für 40-t-Sattelfahrzeuge liegen. Diese Spreizung liegt etwas über der Spreizung der Kraftstoffkosten, die mit neuen Technologien erzielbar ist. Damit können auch Effekte in ähnlicher Größenordnung erwartet werden, wie sie jetzt schon infolge der Kraftstoffkosten zu beobachten sind (also etwa 0,5 bis 1,5 % Verbrauchsminderung betroffener Neuzulassungen gegenüber dem Trend). Betroffen sind naturgemäß speziell LKW im Fernverkehr, so dass das Potenzial für die gesamte LKW-Flotte geringer ausfallen wird.

Wirtschaftlichkeit: Die Umstellung der Maut auf eine CO₂-basierte Spreizung sowie die regelmäßige Anpassung wird Verwaltungskosten verursachen. Frächter im Fernverkehr, die verbrauchsgünstige LKW anschaffen, dürften zumindest über die Fahrzeuglebensdauer geringere Kosten als heute haben. Benachteiligt wären vermutlich Fahrzeuge mit speziellem, nicht auf Langstrecken ausgelegtem Einsatzprofil (z. B. Müllfahrzeuge mit eventuell höherem spezifischen Verbrauch infolge der typischen Fahrten), die aber doch gelegentlich die Autobahnen nutzen und dann höhere Mauten zahlen. Da die Mautinfrastruktur schon besteht, dürfte die Nutzung der bestehenden Mautstruktur zur CO₂-Minderung aber eher eine günstige Maßnahme sein.

Bei einer effizienzbasierter LKW-Maut sind **Akzeptanzprobleme** bei Frächtern zu erwarten, die eher lokal und mit nicht verbrauchsoptimierten Kfz operieren und dennoch gelegentlich Autobahnen nutzen.

Stakeholder Rückmeldungen zur LKW-Maut

Eine Umstellung auf eine CO₂-abhängige LKW-Maut mit ähnlicher Spreizung wie heute wird begrüßt. Allerdings muss der Übergang von den EURO-Stufen zu CO₂ als Bewertungskriterium gestaltet werden, da ältere Fahrzeuge keine CO₂-Werte bekommen. Dies erhöht die Komplexität, da bisher nur mit Motorgrenzwerten für die Schadstoffe gearbeitet wurde und nicht mit Gesamtfahrzeugen. Ein wichtiger Punkt bei der Einführung einer CO₂-abhängigen Maut ist die sinnvolle Einbeziehung von Anhängern, Aufliegern und Aufbauten.

4.2.5 Berücksichtigung der CO₂-Intensität von Kraftstoffen bei der Energiesteuer

Da die CO₂-Emission praktisch linear mit dem Treibstoffbedarf zusammenhängt, wäre ein Preisaufschlag auf den Treibstoff gemäß dessen Kohlenstoffgehalt die eleganteste Möglichkeit, um einen finanziellen Anreiz zur CO₂-Reduktion von Kfz zu erzielen. Alle bisher unter 4.2 diskutierten Ansätze wollen letztendlich die CO₂-Emission bepreisen, benutzen dazu aber (mit Ausnahme des Einbezugs ins ETS im Upstream-Ansatz) viel kompliziertere, ungenauere und aufwändigere Methoden.

Die Energiesteuer für Diesel macht derzeit 0,4704 €/l (EnergieStGes) und damit etwa die Hälfte der Kraftstoffkosten aus (durchschnittlicher Dieselpreis, September 2016⁴²: 1,09 €/l, entspr. 0,92 €/l excl. MwSt.). Der Einfluss der Energiesteuer auf die Kraftstoffkosten ist damit erheblich.

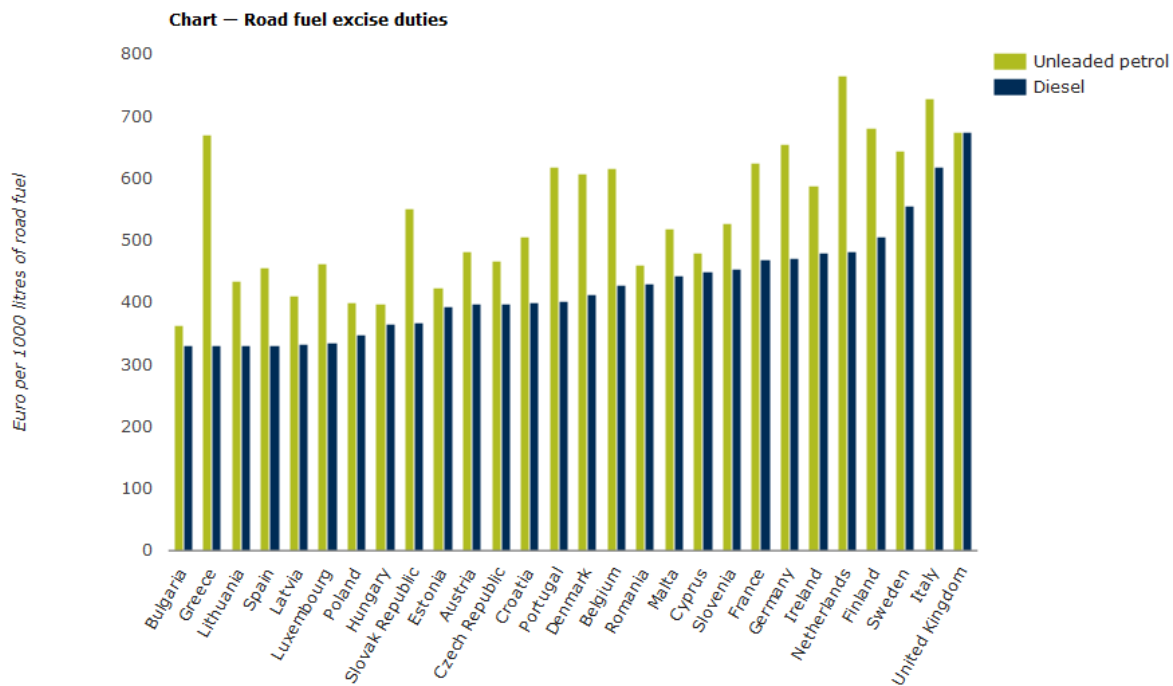
Entsprechend kann eine Dieselsteuererhöhung im Hinblick auf die Senkung der CO₂-Emissionen durch SNF folgende Effekte haben (s. [EEA, 2016]):

- ▶ Anreiz zur Reduktion der Kraftstoffkosten durch Reduktion des Kraftstoffverbrauchs, z. B. durch technische und betriebliche Effizienzmaßnahmen.
- ▶ Anreiz zur Nutzung alternativer, kostengünstigerer Energieträger.

⁴² <https://www.mwv.de/verbraucherpreise/>

Aktuell wird Dieseldieselkraftstoff in Deutschland um 18,4 ct/l niedriger besteuert als Benzin. Die allermeisten EU-Mitgliedsstaaten haben ebenfalls einen energiesteuerlichen Vorteil für Diesel, im Durchschnitt⁴³ liegt dieser mit 11,7 ct/l deutlich niedriger (vergleiche Abbildung 17).

Abbildung 17: Energiesteuersätze für Diesel und Benzin in Europa (Stand 2015)



Quelle: [EEA, 2016]

In der Vergangenheit gab es verschiedene, wenn auch bisher nicht erfolgreiche, politische Vorstöße, den Steuervorteil von Diesel zu reduzieren bzw. die Energiesteuer an Benzin anzugleichen. Eine am CO₂-Ausstoß orientierte Besteuerung wurde u. a. im Rahmen der Revision der EU-Energiesteuerrichtlinie [EU, 2003] diskutiert und war Bestandteil des (heute zurückgezogenen) Vorschlags der Kommission von 2012 [Europäische Kommission, 2012]. Da die CO₂-Emissionen pro MJ Kraftstoff bei Benzin und Diesel in etwa gleich hoch sind, müssten die Steuersätze für Benzin und Diesel etwa gleich hoch ausfallen. Eine ähnliche Forderung findet sich auch in [FÖS, 2015]. Das Umweltbundesamt empfahl ebenfalls eine Anpassung der Steuersätze von Diesel und Benzin, welche neben dem Verlust von Steuereinnahmen einerseits aufgrund der Problematik der städtischen Luftreinhaltung durch Diesel-PKW [UBA, 2015b] und insbesondere den sich für Deutschland ergebenden Konsequenzen des Pariser Klimaschutzabkommens [ifeu, 2017] begründet ist.

Eine Erhöhung der Dieselsteuer wäre eine nationale Entscheidung, da die Energiesteuersätze sowohl für Diesel als auch Benzin in Deutschland deutlich über den Mindeststeuersätzen der EU liegen. Federführend bei der Umsetzung wäre hierbei das deutsche Finanzministerium. Der mögliche Umsetzungszeitraum hinge vor allem von politischen, weniger von juristischen oder technischen Fragestellungen, ab, weshalb eine Einführung vor 2020 prinzipiell möglich wäre.

⁴³ Einfacher Mittelwert, nicht über den Verbrauch der einzelnen Länder gewichtet

Durch eine Erhöhung der Energiesteuer auf Dieselmotorkraftstoff können Kostenvorteile für alternative Antriebe entstehen⁴⁴. Zudem wird die Ungleichberechtigung zum Schienenverkehr aufgehoben, da es für den hier genutzten Strom keine Steuervorteile gibt. Als unterstützende Begründung für eine Erhöhung der Steuer auf Dieselmotorkraftstoff kann die gegenwärtige Debatte um die Abgasemissionen von Diesel-PKW dienen, da es hier Synergien zur Luftreinhaltung gibt.

Die Erhöhung der Steuer auf Dieselmotorkraftstoff ist auf deutscher Ebene jederzeit möglich. Wichtigste Voraussetzung ist die Abstimmung und Zustimmung aller gesetzgebenden politischen Instanzen.

Minderungspotenzial: Eine Erhöhung der Energiesteuer für Diesel hat zum Vorteil, dass sie alle neuen und alten SNF adressiert und der reale Kraftstoffverbrauch relevant ist. Nicht nur effizientere Fahrzeuge und Fahrzeugteile, sondern auch andere effizienzsteigernde Vorgehen (z. B. Erhöhung der Auslastung, spritsparende Fahrweisen, Einsatz von Informationstechnologie, Verlagerung von Transporten auf die Bahn...) werden damit attraktiver. Gütertransporte auf der Straße sind ziemlich unelastisch (siehe z. B. [Beuthe M. et al 2014]; [de Jong G. et al. 2013]). Das heißt, dass eine Preiserhöhung nur eine geringe Reduktion der Transporte zur Folge hat. Wenn die Kraftstoffkosten um 10 % steigen, dürfte damit eine Reduktion der CO₂-Emission im Bereich von 0,5 % bis 3 % zu erreichen sein. Der Anreiz zum Einsatz innovativer Technologien durch eine erhöhte Energiesteuer alleine dürfte jedoch eher gering sein, da die Kraftstoffkosten erfahrungsgemäß nur eingeschränkt die Entscheidung für Investitionen in solche beeinflussen (siehe z. B. [ifeu, 2015; Öko-Institut, 2015][UBA, 2015a]).

Um auch bei sinkenden Ölpreisen die Lenkungswirkung aufrecht zu erhalten, kann eine Koppelung der Energiesteuer an den Ölpreis erfolgen, wie sie im Grünbuch Energieeffizienz des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie diskutiert wird [BMW, 2016].

Grundsätzlich lehnen die Betreiber schwerer Nutzfahrzeuge Energiesteuererhöhungen kategorisch ab. Zudem könnten bei einer rein nationalen Lösung Wettbewerbsnachteile für deutsche Spediteure resultieren, eine höhere **Akzeptanz** könnte jedoch eine europäische Lösung haben. Eine solche europäische Lösung ist allerdings unwahrscheinlich, da gerade erst der Versuch einer Neufassung der Energiesteuerrichtlinie auf europäischer Ebene gescheitert ist [European Commission, 2016c]. Zudem liegen die aktuellen Energiesteuern in Deutschland bereits deutlich über den von der EU geforderten Mindeststeuersätzen. Auch das deutsche Verkehrsministerium und Nutzerverbände wie der ADAC haben sich bisher gegen eine Steuererhöhung ausgesprochen. Nicht zuletzt müsste eine Erhöhung der Steuer auf Diesel auch die PKW-Kunden betreffen, was die schlechte Akzeptanz noch weiter akzentuiert.

Neben den Wettbewerbsnachteilen für deutsche Spediteure kann eine rein deutsche Energiesteuererhöhung zu einem verstärkten Tanktourismus führen. Zu diskutieren ist die sinnvolle Höhe der Steuer, da diese Maßnahme nur dann wirkt, wenn die Preisanreize ausreichend sind. Dabei ist es unter Umständen denkbar, die Energiesteuererhöhung mit einer Entlastung für inländische Spediteure durch eine Förderung zu koppeln. Problematisch hierbei ist, dass die Einnahmen durch eine Steueranpassung, anders als z. B. Abgaben, nicht zielgerichtet verwendet werden dürfen.

⁴⁴ Einen potenziellen Kraftstoff für SNF stellt z. B. Erdgas dar, welches bis 2018 eine Steuerbegünstigung hat. Aktuell wird über eine Verlängerung nachgedacht. Dabei sieht der Diskussionsentwurf der Bundesregierung [Bundesregierung, 2016] vor, dass die Steuerermäßigung für Erdgas um sechs Jahre bis 2024 verlängert wird, wobei ab 2022 eine Abschmelzung stattfindet.

4.3 Wirkungsansatz – Rahmenbedingungen

In diesem Abschnitt werden Regulierungsmaßnahmen auf EU- oder Bundesebene untersucht, die darauf abzielen effiziente Fahrzeuge gegenüber weniger effizienten Fahrzeugen Vorteile zu bieten. Auch das Bestehen von finanziellen Anreizen, wie sie im letzten Kapitel besprochen wurden, kann durchaus als Rahmenbedingung betrachtet werden. Auf eine Wiederholung wird aber verzichtet. Stattdessen werden Maßnahmen diskutiert, die nicht direkt finanzielle Hindernisse zum Einsatz von CO₂-armen Technologien angehen.

4.3.1 Förderung Batterie-Ladeinfrastruktur

Aufgrund der relativ geringen Energiedichte von Batterien ist eine Elektrifizierung bei den schweren Nutzfahrzeugen aktuell vor allem im Regional- und Verteilverkehr und bei den Stadtbussen denkbar. Neben den bisher sehr hohen Anschaffungskosten für diese Fahrzeuge ist jedoch ein weiteres Hemmnis die fehlende Ladeinfrastruktur und der Finanzbedarf zu deren Ausbau.

Daher ist zusätzlich zu dem im vorigen Kapitel beschriebenen Förderprogramm zur Neubeschaffung effizienter Fahrzeuge auch eine (finanzielle) Förderung einer Ladeinfrastruktur anzustreben. Ein derartiges Förderprogramm gibt es bereits in Österreich, wo innerbetriebliche Ladestationen gefördert werden [Kommunal Kredit-Public consulting, 2016]. Auch in Deutschland gibt es eine Förderrichtlinie für Ladeinfrastruktur, bei der jedoch lediglich die Einrichtung eines (semi-)öffentlichen Ladepunktes mit bis zu 60 % der anfallenden Kosten gefördert wird⁴⁵. Diese Förderung könnte auch auf gewerblich genutzte private Ladestationen ausgeweitet werden um z. B. den Verteilverkehr mit kleineren LKW zu elektrifizieren oder den Aufbau einer (Schnell-)Ladeinfrastruktur für Stadtbusse zu fördern. Vorteile einer solchen Förderung liegen darin, dass sie die Markteinführung von Elektro-Fahrzeuge im gewerblichen Bereich unterstützt und eine mögliche Vorbildfunktion (gerade im kommunalen Bereich) haben kann. Die Umsetzung eines solchen Förderprogramms wäre auf Bundesebene zu beschließen, müsste aber in Zusammenarbeit mit den Kommunen erfolgen. Fördernehmer sind hingegen Privatunternehmen. Als extreme Variante könnte auch der Bau einer Infrastruktur zur dynamischen Energieversorgung von Fahrzeugen (z. B. Oberleitung oder induktive Straße) gefördert werden.

Neben der finanziellen Förderung von Ladestationen für SNF muss auch die Standardisierung der Ladestationen weitergetrieben werden. Während für Ladungen mit Stecker heute ein Standard existiert (Combo-Typ-2-Stecker), fehlen entsprechende Standards für die automatisch-konduktive Ladung (z. B. mit Pantographen). Das ist für SNF von Bedeutung, da die Ladeleistung des Combo-Steckers bei 30 kW im Wechsel- und bei 100 kW im Gleichstromladen begrenzt ist. Für elektrische PKW mit typischerweise 20 kWh bis maximal 85 kWh Batteriekapazität erlaubt diese Leistung eine relativ schnelle Ladung. Für SNF hingegen, die aufgrund des höheren Energiebedarfs der Fahrzeuge auch größere Batteriekapazitäten benötigen, werden auch höhere Ladeleistungen benötigt. Fehlende Standards dafür bergen ein Investitionsrisiko für den Betreiber von Fahrzeugen und Infrastruktur, da nicht auszuschließen ist, dass man auf eine Technik setzt, die bald aussterben wird.

Die Abschätzung des **Minderungspotenzials** gestaltet sich schwierig, da eine Infrastrukturförderung lediglich als ergänzende Maßnahme zu einer Förderung der Anschaffung effizienter Nutzfahrzeuge gesehen werden kann. Abschätzungen in [ifeu, 2016c] zeigen jedoch, dass in Deutschland pro Jahr etwa 4.500 Stadtbusse neu zugelassen werden.. Im Bereich der Solo-LKW unter 12 t zGG liegt die Zahl der Neuzulassungen sogar bei etwa 25.500 Stück. Diese Fahrzeuge machen aktuell ca. 23 % der CO₂-Emissionen aller SNF aus (Quelle: TREMOD). Die Förderung von Infrastruktur zur dynamischen Ener-

⁴⁵ <http://mobilityhouse.com/de/bund-gibt-strom-dank-forderrichtlinie-bis-zu-3-000-euro-fur-offentliche-ladestationen/>

gieversorgung von Fahrzeugen birgt natürlich ein viel größeres Potenzial, wäre aber auch mit enormen Kosten verbunden.

Wichtig für die **Wirtschaftlichkeit** ist die Festlegung einer sinnvollen Förderhöhe. Im Idealfall ist diese so gewählt, dass die Mehrkosten über den Lebenszyklus der Fahrzeuge und ihrer Infrastruktur durch die Förderung kompensiert werden. Entsprechend ist sie mit einer allfälligen Förderung von batterieelektrischen Fahrzeugen abzustimmen. Kosten für Ladestationen für LKW und Busse liegen nach [Öko-Institut et al., 2015] zwischen 2.600 Euro für eine Ladesäule mit 22 kW und 15.250 Euro für eine Ladesäule mit 44 kW. Eine Vollladung eines LKW oder Busses dauert mit dieser Leistung rund 4-5 Stunden. Schnellladestationen an Bushaltestellen können sogar 90.000 Euro und mehr kosten.

Im Allgemeinen haben Förderungen eine gute **Akzeptanz** bei den Zielgruppen. Eine **Technologieneutralität** ist bei einer solchen gezielten Förderung allerdings nicht gegeben. Schnellladestationen in Wohngebieten, z. B. an Haltestellen von Bussen, können hingegen durchaus Widerstand bei der Bevölkerung hervorrufen. Themen sind Lärm (Brummen der Trafostationen), Elektromog und Beeinträchtigungen des Stadtbildes.

4.3.2 Förderung Werkstättenausbildung

Diese Maßnahme geht davon aus, dass die fehlende Kompetenz in den Werkstätten ein relevantes Hindernis für SNF-Betreiber darstellt, Hybrid- oder Elektrofahrzeuge zu beschaffen. Uns sind allerdings keine Untersuchungen bekannt, die diese Hypothese bestätigen. Die wissenschaftliche (z. B.: [Egbue/Long, 2012; Rezvani et al., 2012; Sierzchula et al., 2014; Sovacool/Hirsh, 2009]) und „graue“⁴⁶ Literatur zu Barrieren der Elektromobilität stellt Themen wie Fahrzeugkosten, Reichweite, Ladedauer und fehlende Ladeinfrastruktur in den Vordergrund. Weiter werden das schlechte Image und Gewohnheit als mögliche Hindernisse diskutiert. Somit ist unklar, ob eine Förderung der Kompetenzen bei Fachwerkstätten tatsächlich zu einer weiteren Verbreitung von elektrischen Fahrzeugen und Hybriden beitragen würde.

Gemäß Kampker et al (2013) müssen Meisterwerkstätten „spezielles Know-how für Elektrofahrzeuge aufbauen, das von Organisationen wie TÜV oder der DEKRA mit einem Siegel bestätigt wird.“ Diese Aussage bezieht sich nicht nur auf vollelektrische Fahrzeuge, sondern gilt auch für Hybride, die ebenfalls Hochspannungskomponenten und -systeme enthalten. TÜV-Süd bietet Kurse für Kfz-Mechanikerinnen, Kfz-Mechatroniker oder Kfz-Elektrikerinnen an, in denen sie in zwei Tagen zur „Elektrofachkraft für HV-Systeme“ (HV = Hoch-Volt) ausgebildet werden. Zur Weiterbildung wird alle 3-4 Jahre eine eintägige Fortbildung angeboten. Auch der Umgang mit gasbetriebenen Fahrzeugen braucht spezifisches Know-how, das sich die Werkstätten-Mitarbeiter in Kursen aneignen können.

Eine Ausbildung zur „Elektrofachkraft für HV-Systeme“ kostet den Kfz-Betrieb (bzw. die Teilnehmenden) einmalig rund 1.000 € für Kurs und Spesen sowie 2 Tagen der auszubildenden Mitarbeitenden. Die Weiterbildungskosten sind mit ca. 500 € und einem Tag alle 3-4 Jahre ebenfalls sehr überschaubar. Die Kurskosten sollten demnach kein großes Hindernis für einen Betrieb darstellen, Mitarbeitenden bei Bedarf diese Ausbildung zu finanzieren. Da die Opportunitätskosten (Arbeitszeitausfall) einer Weiterbildung ähnlich hoch oder höher sind wie/als die Kurskosten, muss davon ausgegangen werden, dass selbst bei einer vollständigen Übernahme der Kurskosten durch die öffentliche Hand nur diejenigen Betriebe das Angebot nutzen würden, die sich sowieso in dem Bereich weiterbilden wollten. Entsprechend würde eine solche Förderung praktisch 100 % Mitnahmeeffekte erzeugen.

⁴⁶ siehe z. B. <http://evworld.com/article.cfm?storyid=2076>

Bezüglich gasbetriebener Fahrzeugen wird das spezifische Know-how für den Unterhalt ebenfalls kaum als Hindernis diskutiert und die Ausbildungskosten stellen ebenfalls kein großes Problem für die Werkstätten dar.

Aufgrund des geringen Bedarfs für und der wahrscheinlich geringen Wirkung dieser Maßnahme empfehlen wir, sie nicht weiter zu verfolgen.

4.3.3 Effizienzlabel/-klassen für Einzeltechnologien

Freiwillige oder verpflichtende Effizienzlabel für Einzeltechnologien können am ehesten für klar abgrenzbare einzelne Komponenten dargestellt werden. Für Reifen gibt es ein solches Labelsystem bereits. Infolge verbesserter Information kann der Kunde das effizientere Produkt erkennen und ggf. auch auswählen. Dazu muss ein genaues und repräsentatives Bewertungsverfahren als Grundlage existieren oder geschaffen werden.

Sinnvolle Komponenten für Effizienzlabel oder -klassen bei SNF sind (neben dem Gesamtfahrzeug):

- ▶ **Aufbauten, Anhänger und Auflieger:** Mit der VECTO-Methode zur Berechnung des Luftwiderstandes wäre eine Methode gegeben. Derzeit werden alle Kfz mit „Normaufbauten“ modelliert. Die relative Änderung von Luftwiderstand und Gewicht gegenüber dem Normaufbau bzw. Normanhänger kann zur Klassifizierung verwendet werden. Da die Kosten für die Aerodynamikmessung relativ hoch sind, wären kleine Firmen mit geringen Stückzahlen aber benachteiligt. Hier wäre die Bereitstellung eines standardisierten CFD-Berechnungstools eventuell eine gangbare Lösung. In so ein Programm wären dann nur die Konstruktionszeichnungen des Aufbaus bzw. Anhängers einzulesen. „Norm-LKW-Chassis“ bzw. ein „Norm-Zugfahrzeug“ sollten in der Software schon vordefiniert sein. So könnte die Änderung gegen die Normaufbauten vermutlich preiswert und ausreichend genau ermittelt werden. Die Verfügbarkeit so eines CFD-Berechnungstools könnte auch Anreize setzen, dieses Werkzeug in der Designentwicklung von Aufbauten zu verwenden. Derartige Tools werden in dieser Branche bisher kaum verwendet. Da ein aerodynamisch optimierter Auflieger bis zu 20 % Luftwiderstand sparen kann [UBA, 2015a], was ca. 5-6 % Verbrauchsminderung im Fernverkehr ergibt, wäre diese Maßnahme relativ wirkungsvoll.
- ▶ **Spezielle PTO-Komponenten**, wie etwa Müllpressen, Hebezeuge, Straßenreinigungssysteme, etc. Diese Komponenten können im Betrieb wesentlich zum Gesamtverbrauch beitragen. Wenn sie ohne Kupplung fix am PTO-Ausgang des LKW montiert sind, sind die Leerlaufverluste der PTO-Systeme auch während der gesamten Fahrzeit vorhanden. Für einige PTO-Komponenten könnten Standardtestzyklen und Testverfahren entwickelt werden (z. B. Druckverlauf über Zeit, den Müllpressen abgeben müssen, am Prüfstand wäre dann die dazu nötige Leistungsaufnahme zu messen). Die gemessene Leistungsaufnahme könnte in VECTO an der PTO-Schnittstelle vorgegeben werden und so mit einem vordefinierten „Normfahrzeug“⁴⁷ der Zusatzverbrauch mit PTP-Komponente als Kenngröße ermittelt werden.
- ▶ **HVAC-Systeme.** Für aussagekräftige Werte müsste das HVAC voraussichtlich im eingebauten Zustand im Kfz gemessen werden, da die Einbausituation die Effizienz stark beeinflusst (Druckverluste, Wärmeeinträge, Regelung von Umluft etc.). Für PKW-HVAC-Systeme wurde für die EU-Kommission bereits eine Testprozedur erarbeitet. Darauf aufbauend könnte auch für LKW und speziell für Busse ein solches System zur Effizienzmessung entwickelt werden. Da

⁴⁷ Das „Normfahrzeug“ müsste generische Fahrzeug-, Motor- und Getriebedaten als VECTO Eingabe darstellen, da ja im Allgemeinen bei Komponentenzertifizierung nicht definiert ist, in welcher Marke und Type an LKW sie eingebaut werden.

nach aktuellem Wissensstand bei Nutzfahrzeugen im Vergleich zu PKW derzeit eher weniger effiziente Klimaanlage installiert sind, könnte ein Labeling hilfreich sein, insbesondere da die HVAC-Systeme der LKW und Busse in VECTO nur mit generischen Daten abgebildet werden. Dabei werden zwar technologieabhängige Leistungsdaten vorgegeben, die eingebauten Komponenten aber nicht gemessen.

Nachvollziehbare und repräsentative Effizienzklassifizierungen von Komponenten sind Grundlage für mögliche Förderungen bei den Komponenten. Zudem könnten die Label Daten in Zukunft auch in VECTO bei der CO₂-Zertifizierung verwendet werden und die heute generischen Daten ersetzen. Die Einführung von Labels kann auf europäischer Ebene oder nationaler Ebene erfolgen.

Minderungspotenzial: Ein Labeling von Luftwiderstand und Gewicht von Aufbauten, Aufliegern und Anhängern kann den Käufer über die zu erwartenden Verbrauchsunterschiede im Betrieb mit einem LKW transparent informieren. Optimierte Systeme können über 5 % Verbrauchsminderung bringen. Optimierte Klimaanlage haben bei LKW wahrscheinlich weniger als 1 % Minderungspotenzial bezogen auf den Fahrzeuggesamtverbrauch, bei Bussen ist der Anteil von HVAC am Verbrauch jedoch deutlich höher. Hier sind Einsparungen bis zu 20 % möglich. Wie viel davon durch Labeling gehoben werden kann ist unbekannt. Für den Fall, dass die Label-Werte in Zukunft in VECTO die generischen Werte ersetzen, könnten die Komponenten später auch bei CO₂-Grenzwerten mit bewertet werden. Dann könnte vermutlich ein Großteil des Potenzials erschlossen werden, da in dem Bereich eher kostengünstige Maßnahmen zu erwarten sind.

Wirtschaftlichkeit: Die Entwicklung des Testverfahrens, der Bewertungsmethoden und der Abläufe verursacht Kosten. Auch die späteren Tests an Komponenten als Label-Grundlage verursachen Mehrkosten. Wir nehmen an, dass sich diese Kosten zumindest im Aerodynamikbereich später durch Verbrauchsreduktionen amortisieren lassen. Allerdings muss der Hersteller des Anhängers seine Mehrkosten an den Käufer bzw. Betreiber weitergeben können. Studien dazu sind im Moment nicht bekannt.

Akzeptanz bei Zielgruppen: Der Mehraufwand für die Hersteller der Komponenten kann zu Widerständen führen. Für die Käufer wäre die bessere Information dafür hilfreich.

Stakeholder-Rückmeldungen

Für die Stakeholder sind belastbare und herstellerunabhängige Effizienzangaben sehr zentral. Zielführender als die getrennte Zertifizierung ist jedoch die Aufnahme ins Gesamtfahrzeug, da nur hiermit alle Minderungen adressiert werden können. Dies gilt insbesondere für Anhänger, Auflieger und Aufbauten.

4.3.4 Privilegien für alternative Antriebe in Innenstädten

Meist gelten in Innenstädten strengere Regeln für den Verkehr und speziell den Lieferverkehr als auf Außerortsstraßen. Beispiele sind unter anderem lokale Zufahrtsbeschränkungen, Nachtfahrverbote oder Umweltzonen. Anstelle von zusätzlichen Regulierungen ist denkbar, alternative Antriebe von bestehenden Regulierungen auszunehmen oder zusätzliche Freiräume zu ermöglichen. Direkt begründbar sind diese, wenn durch alternative Antriebe eine geringere Luft- oder Lärmbelastung ermöglicht wird; die Einsparung bei den CO₂-Emissionen wäre dabei ein Nebeneffekt. Dennoch sind somit technologieneutrale Regulierungen zu Gunsten von alternativen Antrieben möglich. Flottenbetreiber von mit Erdgas betriebenen SNF in den Niederlanden machen sich beispielsweise zunutze, dass diese geringere Lärmemissionen haben, wodurch z. B. Supermärkte auch in den frühen Morgenstunden beliefert werden dürften.

Aber auch unabhängig von diesem Zusammenhang können alternative Antriebe begünstigt werden. So ermöglicht das seit 2015 gültige Elektromobilitätsgesetz den Kommunen in Deutschland verschiedene

Privilegien für E-Fahrzeuge zu erlassen, z. B. bei Nutzung von Parklätzen, Busfahrspuren oder die Zufahrt zu eingeschränkten oder gesperrten Gebieten. Beim Schwerverkehr kann dies auch Ausnahmen von Nachtfahrverboten in lärmempfindlichen Innenstädten für Elektrofahrzeuge umfassen. Beispiele bieten Norwegen oder Kalifornien im Rahmen des „Zero Emission Vehicle (ZEV) Program“.

Aktuelle Entwicklungen im PKW-Bereich in Deutschland zeigen, dass bereits darüber nachgedacht wird, Dieselfahrzeuge in Städten mit zu hoher Luftbelastung gänzlich zu verbieten bzw. einzuschränken, wie es im Ausland, zum Beispiel in China, teilweise bereits der Fall ist. Dabei könnten entweder alle Dieselfahrzeuge oder nur ausgewählte ältere Dieselfahrzeuge verboten werden oder eine Unterscheidung nach Kennzeichen (gerade und ungerade Nummern) erfolgen.

Von derartigen Regelungen können neben den PKW auch SNF betroffen sein. Indem die Einfahrt von Elektro-Fahrzeugen nicht beschränkt wird, kann der Einsatz von kleinen Elektro-Verteiler-LKW und Elektro-Bussen im Stadtbereich sowie von elektrisch betriebenen Spezialfahrzeugen (z. B. für die Müllabfuhr) gefördert werden. Das Minderungspotential solcher Maßnahmen bezogen auf die CO₂-Emissionen aller SNF ist vergleichsweise gering (siehe Kapitel zu Batterie-Ladeinfrastruktur). Sie können aber einen Vorzeigecharakter schaffen und mittelfristig auch den Technologiewechsel für Fahrzeuge im Regional- und Fernverkehr unterstützen.

4.4 Wirkungsansatz – Freiwillige Maßnahmen

Wie bereits in den Eingangskapiteln angesprochen, gibt es im Bereich der Effizienz von SNF eine Reihe von Informationsdefiziten, die in Maßnahmen adressiert werden können. Zentral ist daher die Einführung der CO₂-Pflichtkennzeichnung von SNF, die jedoch aktuell einige Technologien/Fahrzeugtypen nicht abdecken kann (z. B. Aufbauten, Anhänger, Auflieger aber auch alternative Antriebe oder WHR). Darüber hinaus gehende Effizienzlabel können ebenfalls genutzt werden, um in einer Regulierung den Einsatz von effizienten Fahrzeugen und Fahrzeugkomponenten zu fördern bzw. dienen als Grundlage für die finanzielle Förderung von effizienten LKW (beschrieben in Kapitel 4.2).

4.4.1 Effizienzkriterien bei der öffentlichen Vergabe von Transportdienstleistungen bzw. bei der Beschaffung öffentlicher Fahrzeugflotten

Die öffentliche Hand kann bei der Ausschreibung von Transportdienstleistungen bzw. bei der Beschaffung neuer Fahrzeuge Effizienzkriterien definieren.

Prinzipiell kann sich das Kriterium auf Energieeffizienz oder auf THG-Effizienz beziehen. Sinnvollerweise stehen sowohl bei der Fahrzeug- als auch bei der Transportdienstleistungsbeschaffung die WTW⁴⁸-Treibhausgasemission (gem. EN 16058) als Kriterium im Vordergrund, da nur dies einen relevanten und über alle Technologien vergleichbaren Indikator darstellt. Die Anforderungen an die THG-Effizienz sollten sich am Stand der technischen Machbarkeit und der finanziellen Tragbarkeit orientieren.

⁴⁸ WTW umfasst normalerweise nur die Kraftstoffherstellung und den Betrieb des Fahrzeuges, nicht aber die Herstellung des Fahrzeuges. Werden unterschiedliche Antriebstechnologien verglichen, müsste die Fahrzeugherstellung und Unterhalt mit einbezogen werden. Die Herstellung eines batterieelektrischen Fahrzeugs verursacht rund 50 % mehr Treibhausgasemissionen als die Herstellung eines ICE-Fahrzeugs (je nach Grösse der Batterie noch mehr) und bei BEV muss gegebenenfalls im Laufe des Fahrzeuglebens die Batterie ersetzt werden, was wiederum beträchtliche Emissionen verursacht.

Die Maßnahme kann in verschiedenen Varianten umgesetzt werden, die unterschiedliche Potenziale, Stärken und Schwächen haben können. Denkbar sind grundsätzlich zwei Ausprägungen die jeweils wiederum in mehreren Varianten möglich sind:

1. Effizienz als Zuschlagskriterium
 - a. qualitative Bewertung der Effizienz
 - b. quantitative Bewertung der Effizienz
2. Effizienzkriterium als Muss-Anforderung (Bedingung oder Auflage)
 - a. nicht weiter definierte Forderung der CO₂-Effizienz
 - b. Liste der geforderten nicht-quantitativen Effizienzkriterien
 - c. starre Effizienzvorgabe (z. B. x kg CO₂-eq/tkm)
 - d. flexible Effizienzvorgabe
 - i. Minderemission relativ zu Flottendurchschnitt
 - ii. Top x der Angebote

Effizienz als Zuschlagskriterium

Wird die Effizienz als Zuschlagskriterium eingeführt, muss definiert werden, wie das Kriterium angewandt werden soll (z. B. qualitative Beurteilung auf Notenskala von 0 bis 5 oder quantitative Berechnung der Note analog zu Berechnung der Note für Preis).

Die qualitative Beurteilung bei der **Fahrzeugbeschaffung** kann zum Beispiel auf Basis der verbauten Komponenten geschehen und braucht kein standardisiertes Testverfahren. Allerdings besteht ein gewisses Risiko, dass die Beurteilung zu objektiv falschen Ergebnissen führt⁴⁹. Eine quantitative Bewertung hingegen benötigt belastbare Daten zu WTW-Treibhausgasemissionen, also eine standardisierte Messung oder Simulation der Fahrzeuge in einem für die spezifische Anwendung relevanten Fahrzyklus (z. B. nach EN 16.258). Das Minderungspotenzial in dieser Ausprägung ist sehr schwer abzuschätzen, da es einerseits von den Gewichtungen des Effizienzkriteriums sowie der übrigen Kriterien abhängt und andererseits auch von der Erfüllung aller relevanten Kriterien durch die verschiedenen Anbieter. Bei einer guten Ausgestaltung der Kriterien und deren Gewichte garantiert diese Ausprägung ein effizientes Verfahren, das zur Beschaffung von Fahrzeugen mit optimalem Kosten-Nutzen-Verhältnis führt.

Die qualitative Beurteilung bei der **Vergabe von Transportdienstleistungen** kann zum Beispiel auf Basis der Fahrzeugflotteneffizienz und der durchschnittlichen Auslastung eines Anbieters geschehen und benötigt keine Treibhausgasbilanz des Unternehmens. Allerdings wird so eine Bewertung recht grob ausfallen und schließt subjektive Unterschiede in der Beurteilung nicht aus. Eine quantitative Bewertung hingegen benötigt unternehmensspezifische belastbare Daten zu WTW-Treibhausgasemissionen der Transportdienstleistung (e. g. pro Tonnen * Kilometer, tkm), die mit den entsprechenden Zahlen anderer Unternehmen vergleichbar sind. Solche Daten basieren auf Deklarationen der Anbieter gemäß EN 16.058 oder auf sogenannten „Carbon Footprint“ (CF) Studien, die auf jährlichen Messungen des Treibstoffbedarfs und gegebenenfalls weiterer Daten sowie der erbrachten Transportdienstleistung basieren. In Zukunft sollten solche Studien im Rahmen der Berechnung des Umweltfußabdrucks von Produkten oder Organisationen (PEF/OEF, siehe [EU, 2013]) gemacht werden, da diese genauer als die EN 16.258 oder die ISO Normen (14.040ff/14.064ff) definieren, was und

⁴⁹ z. B. wenn verschiedene Technologien in der Kombination oder in der spezifischen Fahrsituation nicht effektiv sind.

wie gerechnet werden soll und somit eine bessere Vergleichbarkeit der Resultate erreichen. Der große Vorteil solcher Studien ist die gemessene und validierbare Datenbasis. Nachteile sind der Vergangenheitsbezug der Daten sowie die Durchschnittsbildung über ein ganzes Jahr, die keine Aussage zur Effizienz spezifischer Transporte zulässt und gegebenenfalls die Vergleichbarkeit von Unternehmen ausschließen kann. Vergleicht man zum Beispiel einen Dienstleister A, der vorwiegend leichte Wärmedämmmaterialien transportiert, mit einem Mitbewerber B, der vorwiegend Beton transportiert, wird der CF von A pro tkm deutlich über dem von B liegen, selbst wenn A die effizienteren Fahrzeuge betreibt. Grund dafür ist einfach, dass A volumenbeschränkt unterwegs ist und eine relativ geringe Masse pro Fahrzeug transportieren kann. Um die Effizienz eines spezifischen Transports zu bestimmen, könnten Modelle zum Einsatz kommen, also eine standardisierte Simulation der Fahrzeuge in einem für die spezifische Anwendung relevanten Fahrzyklus mit einer spezifisch anpassbaren Beladung. Der Aufwand für solche Rechnungen bei jeder einzelnen Ausschreibung dürfte allerdings prohibitiv sein. Entsprechend könnte man sich überlegen, basierend auf realen Messungen oder Simulationen Ergebnisse zum CF für unterschiedliche Gruppen von Transporten zu generieren und die Effizienz einer spezifischen Transportdienstleistung daran zu messen. Das Minderungspotenzial in dieser Ausprägung ist sehr schwer abzuschätzen, da es einerseits von den Gewichtungen des Effizienzkriteriums sowie der übrigen Kriterien abhängt und andererseits auch von der Erfüllung aller relevanten Kriterien durch die verschiedenen Anbieter. Bei einer guten Ausgestaltung der Kriterien und deren Gewichte garantiert diese Ausprägung ein effizientes Verfahren, das zur Vergabe an den Dienstleister mit optimalem Kosten-Nutzen-Verhältnis führt.

Effizienz als Muss-Anforderung

Wird Effizienz als Muss-Anforderung formuliert, sind – wie die obenstehende, nicht abschließende Liste zeigt – wiederum viele Spielarten denkbar. Im Gegensatz zur oben diskutierten Ausprägung muss mit diesen Varianten kein optimales Kosten-Nutzen-Verhältnis entstehen, da eben keine Gewichtung zwischen Preis und THG-Effizienz vorgenommen wird.

Eine nicht weiter spezifizierte Forderung nach THG-Effizienz (Variante 2a.) erlaubt keinen Ausschluss von Angeboten, da keine konkreten Bestimmungen genannt sind. Entsprechend kann diese Variante nicht als sinnvoll betrachtet werden.

Spezifische nicht-quantitative Effizienzkriterien zu fordern (Variante 2b.) wäre sehr einfach umzusetzen, kann aber nicht garantieren, dass ein spezifischer Transport effizient durchgeführt wird (Vergabe) bzw. wäre nicht technologieneutral (Beschaffung). Aus diesen Gründen sollte diese Variante als nicht effektiv nicht weiterverfolgt werden.

Die Vorgabe einer minimalen THG-Effizienz (Varianten 2c. und 2d.) setzt voraus, dass die Emission der angebotenen Fahrzeuge/Transportdienstleistung im vorgesehenen Betrieb bekannt sind (→ standardisiertes Test-/Messverfahren ist nötig). Dabei sind für Transportdienstleistungen dieselben Überlegungen relevant, die für Effizienz als Zuschlagkriterium angestellt wurden. In einer Untervariante würde auch die entsprechende Information für den Flottendurchschnitt benötigt, die kaum vorhanden oder nur schwer zugänglich sein dürfte. Dieses Problem kann umgangen werden, indem nur die besten Angebote im Rennen bleiben. Das ergibt aber nur Sinn, wenn eine ausreichend große Zahl an Angeboten eingeholt wird⁵⁰.

Die Maßnahme betrifft nur eine beschränkte Zahl von Fahrzeugen. Im Jahr 2014 war die öffentliche Verwaltung Halterin von knapp 2 % der neu zugelassenen Fahrzeuge in Deutschland, davon 68 % mit

⁵⁰ Um nicht Effizienz als einziges Kriterium zur Kaufentscheidung zu haben muss $x > 1$ sein. Gehen wir davon aus, dass man die Top 3 wählt, so müsste die Anzahl Angebote mindestens 6 sein. Bei weniger Angeboten wäre das Risiko gross, dass man ein Fahrzeug wählt, das dem Flottendurchschnitt entspricht oder sogar schlechter als dieser wäre.

Spezialaufbau (Kraftfahrt-Bundesamt 2014). Solange nur die öffentliche Hand Effizienzkriterien anwendet, betrifft die Maßnahme auch nur eine beschränkte Zahl von Transporten. Die Maßnahme hätte aber eine gewisse Vorbild- oder Signalwirkung.

Minderungspotenzial: Prinzipiell kann diese Maßnahme alle verfügbaren Minderungstechnologien betreffen, wird aber je nach Ausgestaltung (Höhe der Minderungs- oder Emissionsvorgabe oder der Gewichtung des Effizienzkriteriums) nicht in allen Fällen das maximale Potenzial (ca. 65 % Reduktion nach UBA (2015)) ausschöpfen. Wird das Effizienzkriterium als Muss-Anforderung formuliert, ist das Minderungspotenzial deutlich höher als wenn Effizienz eines der Zuschlagkriterien ist.

Kurzfristig ist ein technisches Minderungspotenzial bei der Beschaffung auf Fahrzeugebene von maximal 20 % vorhanden. Voraussetzung dafür ist aber, dass der entsprechende Mehrpreis (z. B. für ein Hybridfahrzeug) bezahlt werden kann. In Deutschland werden pro Jahr 4.000 Fahrzeuge neu auf die öffentliche Verwaltung zugelassen. Wir gehen von einem Mix von Stadtbussen und LKW-Verteilerfahrzeuge⁵¹ aus, für die wir im Durchschnitt mit einer THG-Emission von 1,2 kg CO_{2e}/km rechnen. Bei einer Jahresleistung von 50.000 km/a und einem Effizienzgewinn von 20 % (vgl. [UBA, 2015a]) errechnet sich so eine maximale THG-Einsparung von 48.000 Tonnen pro Jahr⁵². Dieses Sparpotenzial ließe sich prinzipiell ab sofort jährlich über 12 bis 15 Jahre realisieren. Danach würden Fahrzeuge ersetzt, die ihrerseits schon emissionsreduziert wären, was das Reduktionspotenzial verringern würde. Wenn diese Maßnahme, den gewünschten Vorbildcharakter entwickelt, darf mit einer größeren indirekten Wirkung gerechnet werden.

Bei der Vergabe von Transportdienstleistungen kann die Maßnahme auch zu einer Verlagerung der Transporte von der Straße auf die Schiene führen, was mit einer deutlich höheren Minderung der Treibhausgasemissionen einhergehen kann. Allerdings ist diese nur in einem sehr beschränkten Rahmen realistisch, da nicht alle Transporte dafür geeignet sind. Kurzfristig ist das Reduktionspotenzial durch Effizienzkriterien bei Transporten relativ gering. Mittelfristig könnte sich daraus aber ein Reduktionsanreiz für Transportanbieter ergeben, der das Potenzial in den Bereich von 10 % (auf Transportebene) bringen könnte

Wirtschaftlichkeit: Die Einführung dieser Maßnahme würde kaum zusätzlichen administrativen Aufwand verursachen. So würden der öffentlichen Hand nur vernachlässigbare Kosten dafür entstehen. Für die Beschaffung von Fahrzeugen müsste allerdings mit Mehrkosten gerechnet werden. Dafür würden die Betriebskosten reduziert. Da alle in UBA 2015 untersuchten Maßnahmen, mit Ausnahme der Elektrifizierung, über die Lebensdauer negative THG-Vermeidungskosten zeigen, sollte diese Maßnahme, bei nicht zu ambitionierter Anwendung, über alles keine Mehrkosten für die Öffentliche Hand verursachen. Die Anbieter von Transportdienstleistungen würden, je nach Ausgestaltung der Kriterien, durch teurere Fahrzeuge und durch administrativen Mehraufwand zum Nachweis der TGH-Effizienz mehr oder weniger stark belastet. Trotzdem sollte diese Maßnahme, bei nicht zu ambitionierter Anwendung, keine oder nur geringe Mehrkosten für die Transportdienstleistungen nach sich ziehen, da die Effizienzmaßnahmen sich gesamtheitlich rechnen.

Akzeptanz bei Zielgruppen: Unter der Voraussetzung, dass eine gute Umsetzung mit ausgewogener Gewichtung erfolgt, ist mit einer guten Akzeptanz der Maßnahme zu rechnen, solange keine zu hohen Effizienzziele gesteckt werden. Reduktionen über 20 % könnten, aufgrund der hohen Mehrkosten, bei den Flottenbetreibern auf Widerstand stoßen. Auch wäre in diesem Fall mit Widerstand von Anbietern

⁵¹ Wir gehen weiter davon aus, dass die Verteilfahrzeuge ähnliche pro km Emissionen und Jahresleistungen haben wie die Spezialfahrzeuge.

⁵² Totale THG-Emissionen von Verkehr in Deutschland: 160 Mio. t CO₂-eq --> Potenzial 0,03 % der Verkehrsemissionen

von ICE-basierten Fahrzeugen zu rechnen, da solche Reduktionen praktisch nur mit einer Elektrifizierung der Fahrzeuge erreichbar sind.

Bei einer Ausgestaltung der Effizienz als Zuschlagskriterium für die „Beschaffung öffentlicher Fahrzeugflotten“ fügt sich die Maßnahme vollständig in die bisherige Vergabep Praxis ein und verursacht keinen Mehraufwand. Zudem kann ein CO₂-Fußabdruck von Transportdienstleistungsunternehmen ebenfalls eine obligatorische Voraussetzung für die „öffentliche Vergabe von Transportdienstleistungen“ sein.

4.4.2 Förderung herstellerunabhängiger Effizienzberater

Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) fördert seit langem die „Energieberatung im Mittelstand“ durch anerkannte Energieexperten. Im Rahmen dieser Beratung könnte und sollte auch die für Transporte bzw. Logistik aufgewendete Energie ein Thema sein. Die Förderung von Effizienzberatern kann dabei helfen Effizienztechnologien bekannter zu machen und Käufer/Nutzer von schweren Nutzfahrzeugen dabei unterstützen, die für sie passenden technischen Lösungen auszuwählen.

Allerdings bestehen im Bereich der SNF Defizite bezüglich objektiver Information zum Energiebedarf, was konkrete Empfehlungen zur Verbesserung des Status quo in einer KMU natürlich erschwert. Um trotzdem eine gute Beratung anbieten zu können, würde ein sehr spezifisches Wissen zu Energie- und THG-Effizienz von SNF benötigt, das den meisten Experten, die auf Heiz- oder Prozessenergie spezialisiert sind, fehlen dürfte. Ein standardisiertes Testverfahren zur Bestimmung des Energiebedarfs und der THG-Emission (beides WTW oder besser unter Berücksichtigung des vollständigen Lebenszyklus) könnte die Beratung stark vereinfachen, da damit auch ohne Expertenwissen zu Effizienzmaßnahmen von SNF klar wäre, welches Fahrzeug welche Verbesserung verspricht. Natürlich wäre trotzdem wünschenswert, dass die Energieexperten, die Firmen beraten, deren Energiebedarf zu einem hohen Anteil aus Transporten stammt, über ein vertieftes Wissen zu Energiefragen im Transportbereich verfügen. Diese Maßnahme ist somit eher als Paket von mehreren Maßnahmen zu sehen:

1. Standardisiertes Testverfahren für Energie- und THG-Effizienz von SNF (WTW oder Lebenszyklus)
2. Weiterbildung der Energieexperten zu Energieeffizienzmaßnahmen bei SNF sowie übergeordneten Strategien (E-Mobilitätsförderung, Kraftstoffstrategie,...)
3. Gegebenenfalls Förderung der Beratung bei größeren Firmen
4. Kampagne zur Erhöhung der Bekanntheit der Möglichkeit der geförderten Energieberatung (auch für Transportdienstleistungen)

Logistikbetriebe in Deutschland sind typischerweise kleinere und mittlere Unternehmen (KMU). Nur 14 % der Betriebe haben mehr als 200 Beschäftigte [DSL, 2016]. Gemäß[Söllner, 2014] sind von den knapp 90.000 Unternehmen im Sektor „Verkehr und Lagerei“ 98,9 % KMU. Die 1,1 % der großen Unternehmen erzielen zwar über 61 % des Umsatzes im Sektor, doch bedeutet das nicht, dass sie auch einen entsprechenden Anteil an den Transportdienstleistungen erbringen, da sie üblicherweise einen beträchtlichen Teil der Transporte durch Subunternehmen durchführen lassen. Entsprechend erreicht die Förderung der Beratung für KMU sicher einen großen Teil der Unternehmen, bei denen Transporte relevant für den Gesamtenergiebedarf sind. Allerdings kann nicht ausgeschlossen werden, dass die wenigen große Firmen ähnlich viel transportieren wie die vielen kleinen zusammen. Entsprechend sollte analysiert werden, ob eine Ausweitung der Förderung auf größere Firmen zielführend wäre.

Minderungspotenzial: Prinzipiell kann diese Maßnahme alle verfügbaren Minderungstechnologien bei Fahrzeugen betreffen, wird aber vor allem Potenzial ausschöpfen, das wirtschaftlich lohnend ist. Wenn es gelingt, die Firmen zu überzeugen, die Wirtschaftlichkeit mit einer Amortisationszeit von 4-5 Jahren (statt der bisher 2-3 Jahren) zu berechnen, würden 15-20 % Reduktion pro Fahrzeug möglich (nach[UBA, 2015a]). Diese Maßnahme kann aber auch zu einer Verbesserung der Fahrzeugauslastung oder zu einer Verlagerung der Transporte von der Straße auf die Schiene führen, was mit einer deutlich höheren Minderung der Treibhausgasemissionen einhergehen kann. Über alles halten wir auf Fahrzeugebene eine zusätzliche⁵³ Reduktion von maximal 10 % für realistisch. Dieses Sparpotenzial gegenüber einem „business as usual“ Szenario ließe sich prinzipiell ab sofort über mindestens 12 bis 15 Jahre realisieren. Danach könnte – vorausgesetzt, dass die Preise für diese Technologie rasch sinken werden – die Maßnahme dazu beitragen, dass vermehrt batterieelektrische Fahrzeuge eingesetzt würden, was das Minderungspotenzial deutlich erhöhen würde.

Wirtschaftlichkeit: Die Einführung dieser Maßnahme würde zusätzlichen administrativen Aufwand sowie zusätzliche Kosten für die öffentliche Hand verursachen. Die Anbieter von Transportdienstleistungen hingegen hätten nur geringe Kosten für die Beratung, könnten aber durch die Umsetzung von Effizienzmaßnahmen in Zukunft kostengünstiger produzieren.

Akzeptanz bei Zielgruppen: Es ist mit einer guten Akzeptanz der Maßnahme zu rechnen, insbesondere, da Verbrauchsreduktionen immer auch mit Kosteneinsparungen für die Betreiber der Fahrzeuge einhergehen.

Anwendungsbeispiel: Spritspar-Contracting

Ähnlich wie das Energiespar-Contracting im stationären Bereich ist ein Spritspar-Contracting bei SNF denkbar. Ein Contractor plant, finanziert und setzt Einsparmaßnahmen um, wobei die Einsparpotenziale in einem Vertrag festgehalten werden. Die dadurch beim Betreiber erzielten Kosteneinsparungen in der Nutzungsphase gehen teilweise zur Refinanzierung bzw. als Rendite der Investition an den Contractor. Damit werden die Anschaffungskosten für Effizienztechnologien für den Flottenbetreiber gesenkt und das Risiko einer geringer ausfallenden Kosteneinsparung zwischen Betreiber und Contractor aufgeteilt [HRW et al., 2013]. Mit Hilfe eines unabhängigen Effizienzberaters können potenzielle Interessenten vorab in Erfahrung bringen, ob/welche Energiesparmaßnahmen sich eignen.

Die Minderungspotenziale sind allerdings eher gering, da nur solche Technologien eingesetzt werden, die sich sehr schnell amortisieren. Speziell die alternativen Antriebe (Hybride, Gasfahrzeuge oder auch Elektro-SNF) haben jedoch hohe Investitionskosten und würden kaum eingesetzt werden.

Zudem weisen SNF extrem variable Nutzungsprofile auf, die sich im Laufe eines Fahrzeuglebens deutlich ändern können. Damit ist es sehr schwer, die CO₂-Minderungen verlässlich zu bestimmen und die Contractinggeber müssten bei garantierten Minderungen ein hohes Risiko eingehen.

Ein Positivbeispiel ist die in einem Stakeholder-Interview erwähnte Zusammenarbeit mit einem Unterauftraggeber, die allerdings nur dadurch zustande kommen konnte, dass der Unterauftragnehmer ein langjähriger und sehr verlässlicher Partner ist, wodurch das Risiko der Maßnahme sehr gering ist.

⁵³ zusätzlich zu den Reduktionen, die aufgrund ihrer Wirtschaftlichkeit in den kommenden Jahren ohnehin realisiert werden dürften.

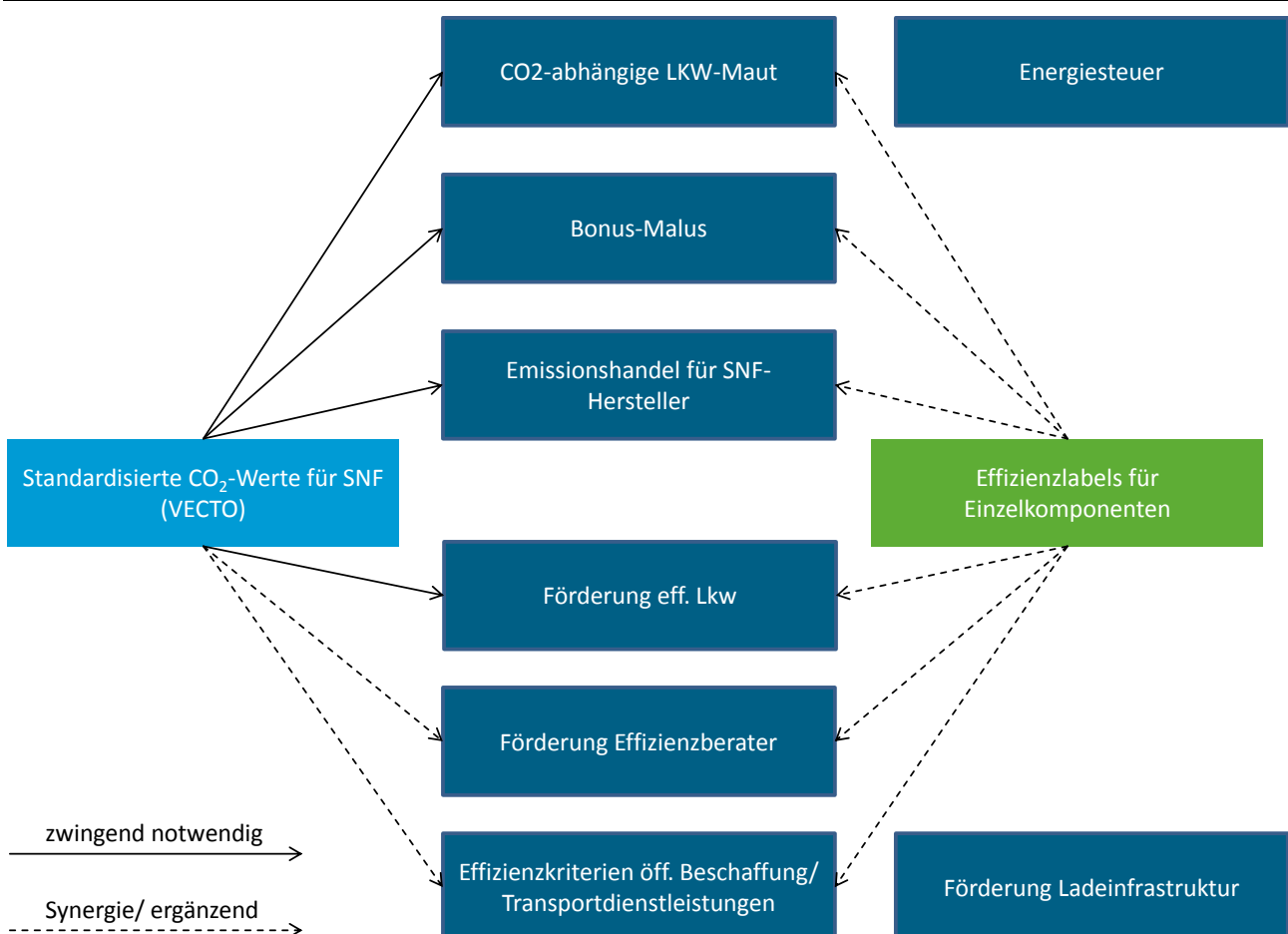
4.5 Synergien und Wechselwirkungen

4.5.1 Gemeinsame Voraussetzung VECTO

Alle Maßnahmen, welche auf Effizienzkriterien für SNF zurückgreifen, sollten im Idealfall die standardisierten CO₂-Werte von VECTO nutzen. Der große Vorteil hierbei ist die Vergleichbarkeit und Technologieneutralität der Kriterien. Nachteil hingegen ist, wie anfangs erwähnt, dass VECTO (noch) nicht alle Technologien abbilden kann. Maßnahmen zur gezielten Förderung alternativer Antriebe, oder die Anpassung der Energiesteuer könnten jedoch auch unabhängig davon umgesetzt werden.

Die Schaffung von Effizienzlabels für bisher nicht abbildbare Einzeltechnologien bietet daher Synergien zu diesen Maßnahmen. Die so erarbeiteten Kennwerte könnten später auch in die Bewertung der gesamten Fahrzeuge mit VECTO einfließen. Zusätzlich wird für die Einbindung alternativer Antriebe eine Erweiterung von VECTO benötigt um die Kraftstoff- bzw. Stromvorketten (bzw. eine komplette Lebenszyklusbetrachtung) abbilden zu können. Dazu sind eine Erweiterung sowie eine regelmäßige Weiterentwicklung von VECTO Grundvoraussetzungen. Vorteilhaft wäre, wenn VECTO möglichst auch schon Hybridfahrzeuge und WHR abbilden könnte, da diese Technologien mögliche Kandidaten bei einer Fahrzeugförderung sind. Zudem muss VECTO regelmäßig gewartet und an technische Entwicklungen angepasst werden. Es besteht die Gefahr, dass es sonst zu Diskrepanzen in der Verbrauchsmin- derung in der Typprüfung und im realen Betrieb kommt. Die Diskrepanz kann sowohl in Überschät- zung des realen Verbrauches in der Typprüfung (Technologien in VECTO nicht abgebildet) als auch in Unterschätzungen (Hersteller nutzen Toleranzen im Verfahren besser aus, wenn Druck durch Grenz- werte steigt) münden.

Abbildung 18: Abhängigkeit der Maßnahmen von VECTO



Quelle: eigene Darstellung, ifeu

4.5.2 Kompatibilität der Maßnahmen zu CO₂-Grenzwerten

Synergien gibt es zwischen dem **Effizienzlabel für Einzeltechnologien** und den CO₂-Grenzwerten für LKW. In Verbindung mit der Fahrzeug-CO₂-Zertifizierung mittels VECTO könnten gelabelte Komponenten auch in ein CO₂-Grenzwertesystem für das Gesamtfahrzeug einbezogen werden. Analog wurde schon bei den Reifen vorgegangen, wo der Labelwert für die Bedatung des Rollwiderstandes des Kfz in VECTO verwendet wird. Die Fahrzeughersteller haben damit weitere Freiheiten, Grenzwerte möglichst kostengünstig mit dem Gesamtfahrzeug bzw. in der Flotte darzustellen. Zudem unterstützen Effizienzlabel bei der Nutzung von Effizienzkriterien für die öffentliche Vergabe von Transportdienstleistungen und der öffentlichen Beschaffung von Fahrzeugen. Sie dienen (zusammen mit der CO₂-Zertifizierung für schwere Nutzfahrzeuge) dazu einem Effizienzberater eine fundierte Beratung hinsichtlich der Fahrzeugeffizienz zu ermöglichen.

Auch ein **Bonus-Malus-System** könnte gut ergänzend zu den CO₂-Grenzwerten umgesetzt werden und mit einem hohen Bonus für alternative Antriebe (Hybrid- und Elektro-SNF) gekoppelt sein. Auch bei der **CO₂-abhängigen Maut** gibt es Synergien mit diesen CO₂-Grenzwerten, da dann die Flotten-CO₂-Emissionen planbarer wären. Allerdings dürfte bei ambitionierten Grenzwerten das verbleibende CO₂-Minderungspotenzial einer Maut sehr gering werden und vorwiegend zum Stimulieren der Flottenerneuerung dienen. Ein geschlossener Emissionshandel für SNF stellt hingegen klar eine alternative Maßnahme zu CO₂-Flottengrenzwerten dar.

Alle CO₂-basierten möglichen Maßnahmen müssten ggf. auf schnellere Abnahmen der Flotten-CO₂-Werte abgestimmt werden. Bei einigermaßen ambitionierten Flottengrenzwerten besteht dann aber vermutlich der Vorteil, dass die Hersteller diese kaum übererfüllen und so die zu erwartenden CO₂-Flottenwerte recht sicher vorhergesagt und Maut und Abgaben darauf (kostenneutral) abgestimmt werden können. Im Falle von zusätzlichen Einnahmen aus der LKW-Maut oder einem Bonus-Malus-System könnten diese in verschiedenen Fördermaßnahmen eingesetzt werden, bei der **Energiesteuer** wären solche zweckgerichteten Ausgaben hingegen rechtlich nicht möglich. Ein Vorteil der Energiesteueranpassung ist wiederum die Einbeziehung aller kraftstoffsparenden Technologien und Fahrzeuge unabhängig von VECTO.

Förderungsmaßnahmen zur **Schaffung einer Batterie-Ladestruktur** und andere Maßnahmen, die speziell auf den verstärkten Einsatz alternativer Antriebe abzielen, sind unabhängig zu sehen. Sie bieten aber vereinzelte Synergien zur **Förderung effizienter Neufahrzeuge** (speziell Elektro- oder Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge).

Tabelle 20 soll einen Überblick geben, welche zusätzlichen Hebel die Maßnahmen haben und welcher Mehrwert sich damit gegenüber einer alleinigen CO₂-Grenzwertgesetzgebung erwarten lässt. Zusätzliche Hebel bieten vor allem die Effizienzlabels, die LKW-Maut und die verschiedenen Förderungen. Vor allem letztere müssen jedoch darauf abgestimmt sein, ob sie in der EU zulässig sind oder zu Wettbewerbsverzerrungen führen und ausreichende Gelder bei Bund/Ländern müssen dafür zur Verfügung stehen. Soweit zielführend und machbar sollte dabei technologieneutralen Lösungen der Vorzug gegeben werden. Die CO₂-Minderung ist weiterhin von der Größe der Zielgruppe, welche von der Maßnahme adressiert wird, abhängig. Bei europaweiten Maßnahmen sind die Potenziale damit höher. Bei rein nationalen Maßnahmen werden nur die in Deutschland zugelassenen LKW adressiert, so dass die Potenziale etwas niedriger liegen dürften. Dabei zeigt sich, dass die Sattelzüge über 50 % der CO₂-Emissionen ausmachen und fast ausschließlich Fahrzeuge mit der Emissionsklasse EURO VI unterwegs sind. Eine Effizienzsteigerung bei den SNF-Neuzulassungen hat daher eine vergleichsweise hohe Wirkung, sofern die Flottenerneuerung wie bisher vergleichsweise schnell stattfindet.

Tabelle 20: Zusätzliche Wirkung der Maßnahmen gegenüber CO₂-Grenzwerten

Maßnahme	Flottenerneuerung	Transportvermeidung	Effizientere Komponenten	Alternative Energieträger	Effiziente Fahrweise
Einbeziehung SNF-Hersteller in das ETS		0	0	0	
Bonus-Malus beim Kauf von LKW			0	0	
Förderung effiziente neue LKW	0		+	+	
CO ₂ -/energiebasierte LKW-Maut	+	0	0	0	+
Anpassung der Energiesteuer	0	+	+	+	+
Förderung Batterie-Ladeinfrastruktur			0	+	
Förderung Werkstat-tenausbildung					
Effizienzlabels für Einzeltechnologien			+	0	
Privilegien für alternative Antriebe		0	+	+	
Effizienzkriterien Vergabe/Anschaffung		0	0	+	0
Förderung Effizienzberater	0	0	0	0	0

+ zusätzliche Wirkung; 0 zusätzliche Wirkung abhängig von Ausgestaltung

5 Quellenverzeichnis

- ACEA (2017): Reducing CO₂ from trucks : progress in practice Third-party assessment. European Automobile Manufacturers Association. April 2017.
- Agora Verkehrswende / Agora Energiewende / Frontier Economics (2018): Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe.
- BMVI (2014): Verkehrsverflechtungsprognose 2030. Markus Schubert et al., Berlin.
www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/verkehrsverflechtungsprognose-2030-schlussbericht-los-3.pdf?__blob=publicationFile (last accessed: 11/05/2015).
- BMVI (2016): Verkehr in Zahlen 2016/2017. Berlin.
- BMW i (2016): Grünbuch Energieeffizienz.
- Bundesregierung (2016): Entwurf eines Zweiten Gesetzes zur Änderung des Energesteuer- und Stromsteuergesetzes.
- BVEK (2016): Erweiterung des EU-ETS um Kraftstoffe des Verkehrssektors - in Deutschland bereits vor 2020. Jürgen Hacker. Bundesverband Emissionshandel und Klimaschutz. Präsentation BVEK-Tagung 10.Juni 2016, Berlin.
- California Environmental Protection Agency (2016): Information for Entities That Take Delivery of Fuel for Fuels Phased into the Cap- and-Trade Program Beginning on January 1, 2015.
https://www.arb.ca.gov/cc/capandtrade/guidance/faq_fuel_purchasers.pdf (Oct. 4, 2016).
- Climate Policy Initiative (n.d.): California Carbon Dashboard. In: 2016. <http://calcarbondash.org/> (Oct. 4, 2016).
- DEHSt (2014): Grundlagen des Emissionshandels.
https://www.dehst.de/DE/Emissionshandel/Grundlagen/grundlagen_node.html (Oct. 4, 2016).
- Delgado, O. / Rodríguez, F. / Muncrief, R. (2017): Fuel Efficiency Technology in European Heavy-Duty Vehicles: Baseline and Potential for the 2020 – 2030 Time Frame. In: *The ICCT White Paper*. No.July.
- Deuber, O. (2002): Einbeziehung des motorisierten Individualverkehrs in ein deutsches CO₂-Emissionshandelssystem.
- dieselnet.com (2016): Emission standards for fuel economy in Japan. <https://dieselnet.com/standards/jp/fe.php> (Jul. 13, 2016).
- DIN (2012): DIN EN 16258 - Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen (Güter- und Personenverkehr). DIN - German Institute for Standardization.
- DSLV (2016): 2014 /2015: Zahlen / Daten / Fakten aus Spedition und Logistik. Deutscher Spedition- und Logistikverband e. V.
http://www.verkehrsrundschau-plus.de/sixcms/media.php/4513/DSLV_Zahlen-Daten-Fakten_2015-Downloadversion.pdf.
- EC (2014): Impact Assessment Strategy for Reducing Heavy-Duty Vehicles Fuel Consumption and CO₂ Emissions.
- EC (2015): Evaluation of Regulations 443/2009 and 510/2011 on CO₂ emissions from light-duty vehicles.
- EC (2017): Technical Annexes for HDV CO₂ Certification. Brussels 2017. <https://circabc.europa.eu/w/browse/c99d7c7e-cb99-421a-bb74-f75447b287ec>.
- EEA (2016): Transport fuel prices and taxes. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/fuel-prices-and-taxes/assessment-5> (Nov. 10, 2016).
- Egbue, O. / Long, S. (2012): Barriers to widespread adoption of electric vehicles: An analysis of consumer attitudes and perceptions. *Energy Policy*, Volume 48, September 2012, Pages 717-729, ISSN 0301-4215.
- EPA/NHTSA (2011): Greenhouse Gas Emission Standards and Fuel Efficiency Standards for Medium- and Heavy-Duty Engines and Vehicles. In: *Federal Register/Vol. 76, No. 179, 15. September 2011*.
- EU (2003): Richtlinie 2003/96/EG zur Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischen Strom. Vol. L 283, p. 51ff.
- EU (2009): Verordnung 443/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen im Rahmen des Gesamtkonzepts der Gemeinschaft zur Verringerung der CO₂-Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen. In: *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften*. Europäische Union. pp. 1–15.

EU (2013): Empfehlung der Kommission vom 9. April 2013 für die Anwendung gemeinsamer Methoden zur Messung und Offenlegung der Umweltleistung von Produkten und Organisationen (2013/179/EU). Amtsblatt der Europäischen Union L124/1 4.5.2013.

EU (2017): Vorschlag für eine RICHTLINIE DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES zur Änderung der Richtlinie 1999/62/EG über die Erhebung von Gebühren für die Benutzung bestimmter Verkehrswege durch schwere Nutzfahrzeuge. EUROPÄISCHE KOMMISSION. Brüssel, den 31.5.2017.

Europäische Kommission (2012): Vorschlag für eine RICHTLINIE DES RATES zur Änderung der Richtlinie 2003/96/EG zur Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom. Vol. XXXIII, No.2, pp. 81–87.

Europäischer Rat (2015): ÜBERMITTLUNGSVERMERK des für die Generalsekretariats des Rates Delegationen Betr.: Tagung des Europäischen Rates (23./24. Oktober 2014) – Schlussfolgerungen.

European Commission (2016a): Implementing Regulation (EU) No 595/2009 as regards the certification of the CO₂ emissions and fuel consumption of heavy-duty vehicles and amending Directive 2007/46/EC of the European Parliament and of the Council - Draft.

European Commission (2016b): EU REFERENCE SCENARIO 2016 ENERGY, TRANSPORT AND GHG EMISSIONS TRENDS TO 2050. <https://ec.europa.eu/energy/en/data-analysis/energy-modelling>.

European Commission (2016c): Verbrauchsteuern: Kommissionsvorschlag zur Energiebesteuerung. <http://ec.europa.eu/taxation_customs/business/excise-duties-alcohol-tobacco-energy/excise-duties-energy/excise-duties-energy-tax-proposal_de>.

Eurotransport (2014): Lkw-Verbrauchswerte von 1966 bis 2014 - Immer Abwärts.

Eurotransport.de (2017): Mautharmonisierung 2017 - De-Minimis-Programm | BAG fördert Umbau zum Elektro-Lkw. <<https://www.eurotransport.de/news/mautharmonisierung-2017-de-minimis-programm-bag-foerdert-umbau-zum-elektro-lkw-9173587.html>> (Oct. 23, 2017).

FIS (2015): Midstream-Emissionshandelssystem. <<http://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/333598/>> (Nov. 9, 2016).

FÖS (2015): Steuervergünstigung für Dieselmotoren. Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft, Green Budget Germany. 11 | 2015.

Französische Botschaft (2016): Klimaschutz: Das französische Bonus-Malus-System. <<http://www.ambafrance-de.org/Klimaschutz-Das-franzosische-Bonus-Malus-system-beim-Neuwagenkauf>> (Oct. 13, 2016).

Handelsblatt (2017): Dobrindt plant Förderung für klimaschonende Lkw.

HRW / ifeu / prognos (2013): Marktanalyse und Marktbewertung sowie Erstellung eines Konzeptes zur Marktbeobachtung für ausgewählte Dienstleistungen im Bereich Energieeffizienz.

Huo, H. / He, K. / Wang, M. / Yao, Z. (2011): Vehicle technologies, fuel-economy policies, and fuel-consumption rates of Chinese vehicles. Februar 2011, PR China.

ICCT (n.d.): Literature Review: Real-World Fuel consumption of heavy duty Vehicles in the United States, China and the European Union. In: 2015. The International Council on Clean Transportation. Washington D.C, USA, 2015.

ICCT (2011a): U.S. heavy-duty vehicle standards. In: *Policy Update Number 14, September 26, 2011*. USA.

ICCT (2011b): U.S. heavy-duty vehicle standards. Policy Update Number 14, September 26, 2011, USA.

ICCT (2013): From laboratory to road - A comparison of official and "real world" fuel consumption and CO₂ values for cars in Europe and the United States.

ICCT (2014): Road transport in the EU Emissions Trading System : An engineering perspective.

ICCT (2015): Real-World Fuel consumption of heavy duty Vehicles in the United States, China and the European Union. Washington DC, USA.

ifeu (2015): Entwicklung der Energiesteuereinnahmen im Kraftstoffsektor. Heidelberg.

- ifeu (2016a): Aktualisierung „Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030“ (TREMODO) für die Emissionsberichterstattung 2016 (Berichtsperiode 1990-2014). Im Auftrag des Umweltbundesamtes. In Zusammenarbeit mit dem Öko-Institut, Heidelberg.
- ifeu (2016b): Aktualisierung „Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030“ (TREMODO) für die Emissionsberichterstattung 2016 (Berichtsperiode 1990-2014). Im Auftrag des Umweltbundesamtes. In Zusammenarbeit mit dem Öko-Institut.
- ifeu (2016c): NKI - Kurzanalyse investiver Fördermaßnahmen für Klimaschutz bei Nutzfahrzeugen Inhalt.
- ifeu (2017): Klimaschutz im Verkehr: Neuer Handlungsbedarf nach dem Pariser Klimaschutzabkommen. Teilbericht des Projekts „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs 2050“. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Forschungskennzahl 3712 45 100. UBA Texte 45/2017.
- ifeu / ZEW / Lufthansa / Die Bahn (2003): Flexible Instrumente der Klimapolitik im Verkehrsbereich - Weiterentwicklung und Bewertung von konkreten Ansätzen zur Integration des Verkehrssektors in ein CO₂-Emissionshandelssystem.
- IKEA / Nestlé / DB Schenker / PHILIPS / other companies and NGOs (2016): Letter on fuel efficiency standards for trucks. Stakeholder Letter to President of the European Commission Mr. Jean Claude Juncker. Brussels, 26 May 2016.
- JEC (2014): WELL-TO-TANK Appendix 2 - Version 4a Summary of energy and GHG balance of individual pathways WELL-TO-WHEELS ANALYSIS OF FUTURE AUTOMOTIVE FUELS AND POWERTRAINS IN THE EUROPEAN CONTEXT.
- JRC (2014): WELL-TO-TANK Appendix 1 - Version 4a Conversion factors and fuel properties. Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context.
- Kodaka, A. (2008): Japan's Top Runner Program: The Race for the Top.
- Kommunal Kredit- Public consulting (2016): Informationsblatt Mobilitätsmanagement für Betriebe, Bauträger und Flottenbetreiber. <https://www.umweltfoerderung.at/fileadmin/user_upload/media/umweltfoerderung/Dokumente_Betriebe/Fahrzeuge__Mobilitaet__Verkehr/KA_MOBIL_Infoblatt_Klima_aktiv_mobil_Betriebe.pdf>.
- Norris, J. / Escher, G. (2017): Heavy Duty Vehicles Technology Potential and Cost Study. In: *International Council on Clean Transportation*. No.5.
- Öko-Institut (2015): Instrumentenmix im Verkehrssektor : Welche Rolle kann der EU-ETS für den Straßenverkehr spielen ?
- Öko-Institut / Deutsches Dialoginstitut / VDE (2015): Wirtschaftlichkeit von Elektromobilität in gewerblichen Anwendungen.
- Öko-Institut / GGSC / FH-ISI (2014): Ausweitung des Emissionshandels auf Kleinemittenten im Gebäude- und Verkehrssektor. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Dezember 2013.
- Puls, T. (2013): CO₂ -Regulierung für Pkws: Fragen und Antworten zu den europäischen Grenzwerten für Fahrzeughersteller.
- Rexeis, M. (2014): Development and validation of a methodology for monitoring and certification of greenhouse gas emissions from heavy duty vehicles through vehicle simulation.
- Rexeis, M. / Luz, R. / Hausberger, S. / et al. (2012): Reduction and Testing of Greenhouse Gas Emissions from Heavy Duty Vehicles - LOT 2; Development and testing of a certification procedure for CO₂ emissions and fuel consumption of HDV.
- Rezvani, Z. / Jansson, J. / Bodin, J. (2012): Advances in consumer electric vehicle adoption research: A review and research agenda. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 34, January 2015, Pages 122-136, ISSN 1361-8161.
- Sierzchula, W. / Bakker, S. / Maat, K. / Wee, B. van (2014): The influence of financial incentives and other socio-economic factors on electric vehicle adoption. *Energy Policy*, Volume 68, May 2014, Pages 183-194, ISSN 0301-4215.
- Söllner, R. (2014): Die wirtschaftliche Bedeutung kleiner und mittlerer Unternehmen in Deutschland. Statistisches Bundesamt, Wirtschaft und Statistik, Januar 2014.
- Sovacool, B. K. / Hirsh, R. F. (2009): Beyond batteries: An examination of the benefits and barriers to plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) and a vehicle-to-grid (V2G) transition. *Energy Policy*, Volume 37, Issue 3, March 2009, Pages 1095-1103, ISSN 0301-4215.
- TML (2015): GHG reduction measures for the Road Freight Transport sector up to 2020 | An integrated approach to reducing CO₂ emissions from Heavy Goods Vehicles in Europe, updated with input from key stakeholders. Transport % Mobility Leuven. Commissioned by ACEA. Brussels, 29 July 2015.

TNO (2006): Review and analysis of the reduction potential and costs of technological and other measures to reduce CO₂ - emissions from passenger cars.

TNO (2012): Supporting Analysis regarding Test Procedure Flexibilities and Technology Deployment for Review of the Light Duty Vehicle CO₂ Regulations.

TransportPolicy.net (2015a): ICCT und DieselNet: USA- Heavy-duty: Fuel Consumption.

<http://transportpolicy.net/index.php?title=US:_Heavy-duty:_Fuel_Consumption_and_GHG> (Sep. 3, 2015).

TransportPolicy.net (2015b): China: Heavy-duty: Fuel Consumption. <http://transportpolicy.net/index.php?title=China:_Heavy-duty:_Fuel_Consumption> (Sep. 3, 2015).

TransportPolicy.net (2015c): USA: Heavy-duty: Fuel Consumption. <http://transportpolicy.net/index.php?title=US:_Heavy-duty:_Fuel_Consumption_and_GHG> (Sep. 3, 2015).

UBA (n.d.): Der Europäische Emissionshandel. <<https://www.umweltbundesamt.de/daten/klimawandel/der-europaeische-emissionshandel>>.

UBA (2013): Konzept zur zukünftigen Beurteilung der Effizienz von Kraftfahrzeugen. In: *UBA Texte*. ifeu; Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dezember 2013, Heidelberg. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/konzept-zur-zukuenftigen-beurteilung-der-effizienz>.

UBA (2015a): Zukünftige Maßnahmen zur Kraftstoffeinsparung und Treibhausgasminde rung bei schweren Nutzfahrzeugen. In: *UBA Texte*. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu) und Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, Technische Universität Graz. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Forschungskennzahl 3711 96 105. Dessau-Roßlau, April 2015. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/zukuenftige-massnahmen-zur-kraftstoffeinsparung>.

UBA (2015b): Alte Diesel müssen schrittweise raus aus der Innenstadt. Umweltbundesamts. Presseinfo Nr. 48 vom 17.12.2015. <https://www.umweltbundesamt.de/presse/presseinformationen/alte-diesel-muessen-schrittweise-raus-aus-der>.

UBA (2016): Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050. In: *UBA Texte*. ifeu, INFRAS, LBST; Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Forschungskennzahl 3712 45 100, Mai 2016. No.56.

UBA (2018): UBA Emissionsdaten für 2016. <<https://www.umweltbundesamt.de/galerie/uba-emissionsdaten-fuer-2016>> (Jan. 9, 2018).

Weidema, B. P. / Bauer, C. / Hischier, R. / Mutel, C. / Nemecek, T. / Reinhard, J. / Vadenbo, C. O. / Wernet, G. (2013): The ecoinvent database: Overview and methodology, Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. Ecoinvent Center, Zürich. www.ecoinvent.org.

Zheng, T. / Jin, Y. / Wang, Z. / Wang, M. (2011): Development of Fuel Consumption Test Method Standards for Heavy-Duty Commercial Vehicles in China. SAE Technical Paper 2011-01-2292, 2011, doi:10.4271/2011-01-2292, PR China.

6 Anhang

6.1 LKW-Testzyklen in VECTO und Fahrzeugverifizierung

Bei den Testzyklen ist die Wunschgeschwindigkeit des Fahrers über der Strecke vorgegeben. VECTO simuliert die mit der Kfz-Konfiguration möglichen Beschleunigungen und Maximalgeschwindigkeiten über der Strecke aus der Fahrzeuglängsdynamik. Die Motorvolllastkurve limitiert dabei die maximal mögliche Leistung, die auch noch bezüglich der Dynamikeinflüsse korrigiert wird. Da die maximal verfügbare Leistung von der Drehzahl abhängt, nutzt VECTO ein Schaltmodell, das je nach Getriebeart (Automatikgetriebe, automatisiertes Handschaltgetriebe oder Schaltgetriebe) unterschiedlich die Gänge wechselt. Der Vorteil dieser Zyklusart ist, dass die Kfz unabhängig von ihrer Motornennleistung, ihrer Fahrwiderstände und der Beladung realistische Motorbelastungen in der Simulation erfahren. Werden fixe Zyklen vorgegeben, so passt der Geschwindigkeitsverlauf im Allgemeinen nur für eine spezielle Konfiguration, für andere ist der Zyklus zu langsam oder zu schnell. Damit würden sich auch zu viel oder gar keine Volllastanteile bei diesen Kfz ergeben.

Abbildung 6-1 Long Haul Cycle

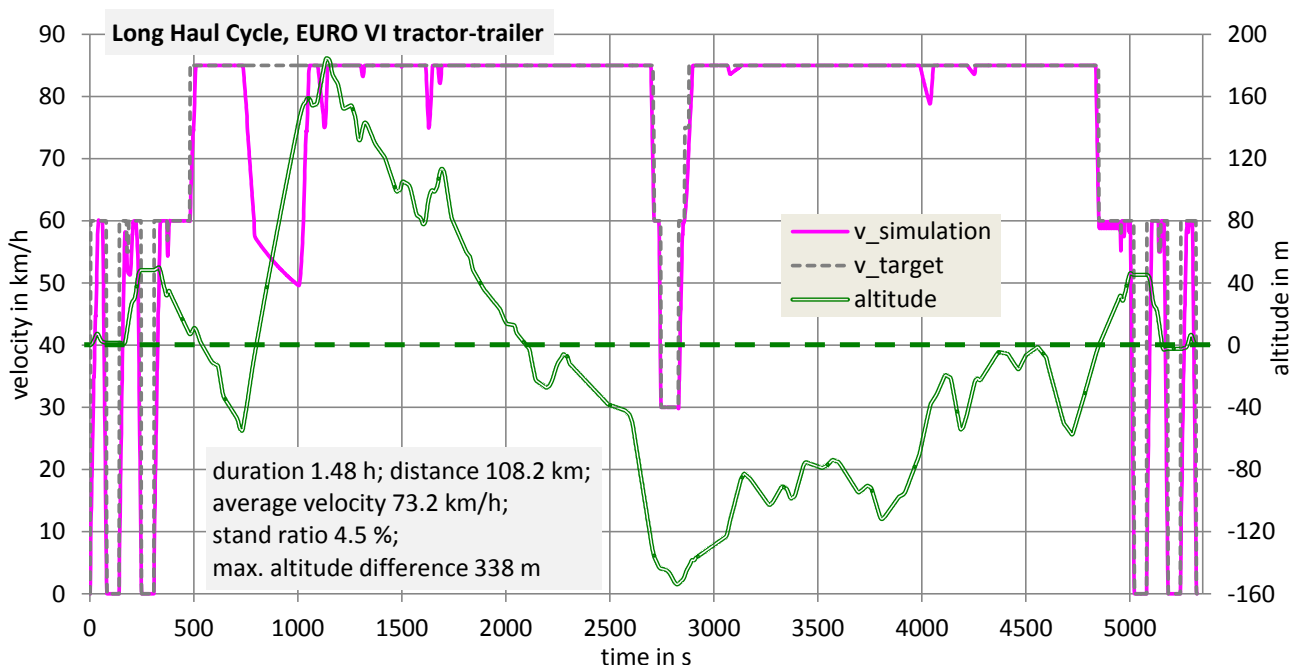


Abbildung 6-2 Regional Delivery Cycle

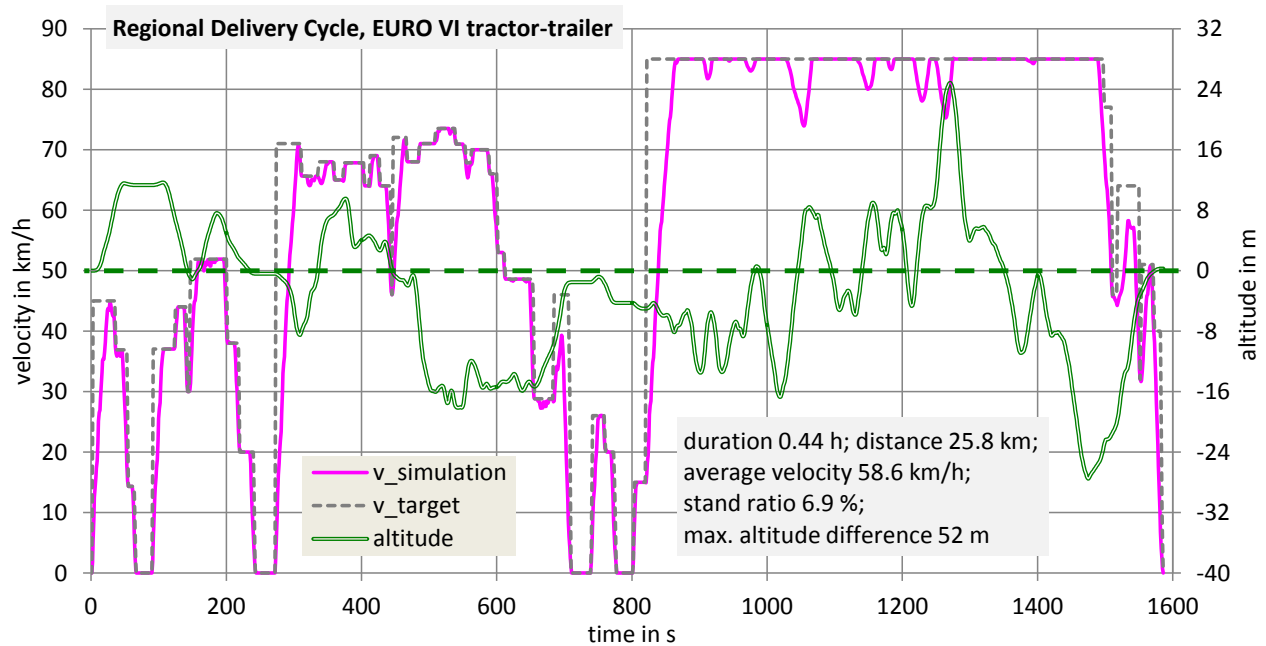
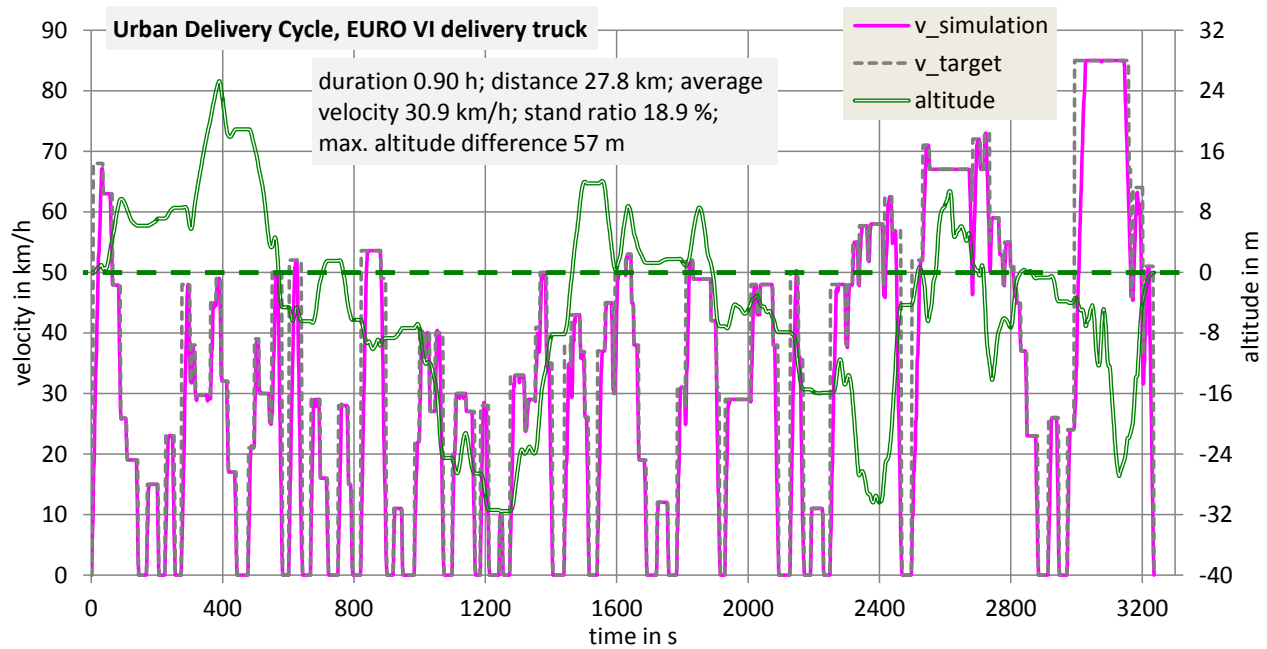


Abbildung 6-3 Urban Delivery Cycle



- **Fahrzeugverifizierung⁵⁴:** Da unabhängige Nachmessungen an Motor, Achse und Getriebe jeweils Ausbau aus dem Kfz und Inbetriebnahme am Komponentenprüfstand erfordern würden und damit sehr aufwändig und ohne OEM kaum durchführbar wären, wurde eine Methode entwickelt, die diese Komponenten in einem Test gemeinsam erfasst. Dazu werden der Kraft-

⁵⁴ Der Test war ursprünglich als Konstantfahrt konzipiert, weshalb er oft „SiCo“ (Simple Constant speed test) genannt wird. Dieser Name wird sich wohl noch ändern.

stoffverbrauch sowie Moment und Drehzahl an den angetriebenen Rädern in einem Testzyklus on-board gemessen. Gemessener Verlauf von Moment und Drehzahl werden dann in VECTO für die Simulation vorgegeben und der Verbrauch dazu berechnet. Wenn gemessene und berechnete Verbrauchswerte übereinstimmen, dann sind die Effizienz-Kennfelder von Motor, Achse und Getriebe korrekt. Weitgehend fix ist, dass der Test auf der Straße im realen Betrieb des SNF stattfindet, offen sind u. a. noch die zulässigen Toleranzen und eine genaue Definition der zulässigen Fahrzustände. Die Konsequenz einer Toleranzüberschreitung in der Nachmessung wäre eine verpflichtende Nachmessung der Daten von Motor, Getriebe und Achse entsprechend der definierten Komponententestverfahren. Wenn dabei die CoP-Toleranzen der einzelnen Komponenten überschritten werden, käme es zu Maßnahmen der Typprüfbehörden. Neben der SNF-Nachmessung umfasst die Fahrzeugverifizierung auch die Überprüfung aller VECTO-Eingabedaten, ob denn immer die korrekten Komponenten und Technologiespezifikationen verwendet wurden. Diese Stufe ist wesentlich preiswerter als die Messung und könnte somit bei mehr Fahrzeugen erfolgen. Das komplette Testverfahren liegt als Entwurf zu einem „Technical Annex“ zur Gesetzgebung vor. Zu den erreichbaren Genauigkeiten sind noch Messungen und Auswertungen im Gange, die bis Ende 2017 zum Abschluss des Prozesses genutzt werden sollen.

- Filehandling: Eingangsdaten und Ergebnisfiles von VECTO sollen ein Hashing erhalten, das Manipulationen ausschließt und die Nachverfolgbarkeit der Daten sichert. Ein Vorschlag, wie dies umgesetzt werden kann, wurde bereits von TU Graz für JRC und DG CLIMA erarbeitet, muss aber noch umgesetzt werden.

6.2 LKW-Grenzwerte: Übersicht USA + China

Im Vergleich zu den Vorschriften bei PKW, die auf eine langjährige Vergangenheit angefangen in den 1970er und 80er Jahren zurückblicken, sind die Diskussionen um gesetzliche CO₂- bzw. Energieeffizienz-Standards bei SNF noch relativ jung. Weltweit existieren bisher nur in Japan, den USA, Kanada⁵⁵ und China diesbezügliche Standards. Aufgrund der Anteile am weltweiten Treibhausgasausstoß fokussieren die nachfolgenden Kapitel auf die Grenzwertregulierungen in China respektive den USA.

6.2.1 China

Das Programm zur Verbesserung der Kraftstoffverbrauchseffizienz von SNF in China wurde 2008 gestartet. Vorerst umfassten die Arbeiten die Entwicklung einer Testprozedur für die Regulierung der Verbräuche von SNF [ICCT, n.d.]. Im Auftrag des Ministeriums für Industrie und Informationstechnologie (MIIT) der Volksrepublik China wurde das Forschungszentrum CATARC (China Automotive Technology and Research Centre) damit betraut, den methodischen Rahmen für die Umsetzung von Reduktionszielen festzulegen.

6.2.1.1 Grenzwertregulung

Die Grenzwerte werden für den Kraftstoffverbrauch in Liter/100 km festgelegt. Dabei ist ausschließlich der direkte Kraftstoffverbrauch (TTW) maßgebend, die Treibhausgasemissionen sowie die Bereitstellung des Kraftstoffs sind nicht Bestandteil der Regulierung. Die Grenzwerte müssen von allen in China neu zugelassenen SNF unterschritten werden, die in den Gültigkeitsbereich des Standards fallen. Der Gültigkeitsbereich wird über die Umsetzungsphasen sukzessive erweitert:

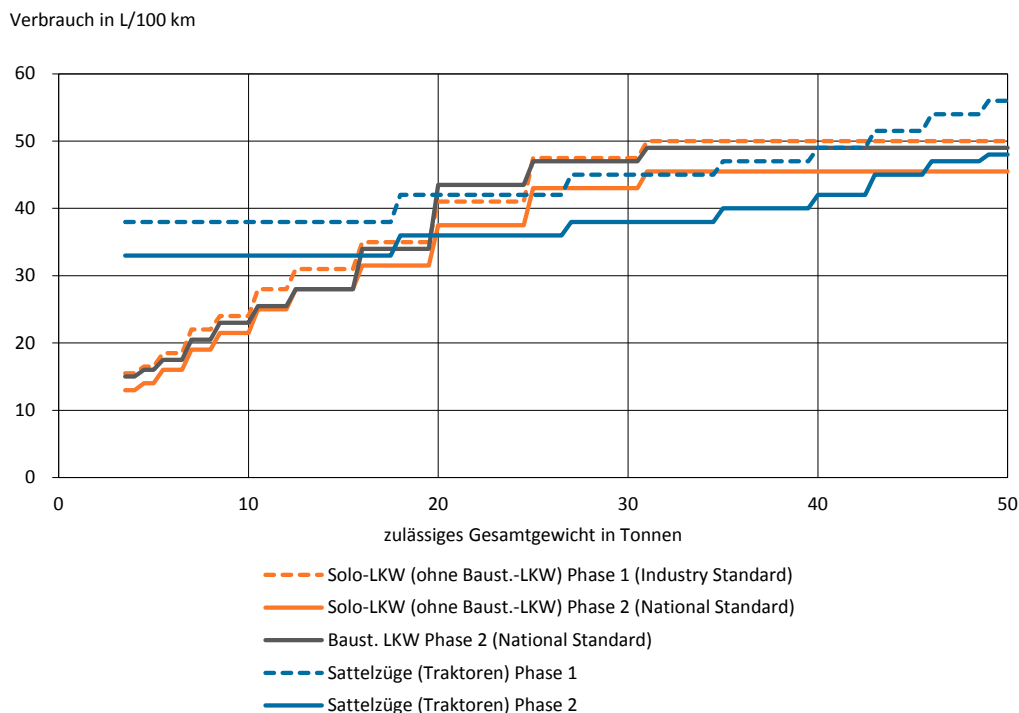
- Die erste Phase ist bereits in Kraft und umfasst den so genannten "Industry Standard". In den Gültigkeitsbereich des Industry Standard fallen drei Fahrzeugtypen, nämlich Solo-LKW, Sattelzugma-

⁵⁵ Kanadas Standard ist weitgehend gleich aufgebaut wie derjenige in den USA.

schinen und Reisebusse. Baustellen-LKW ("dump trucks"), Busse des öffentlichen Verkehrs und weitere Spezialfahrzeuge bleiben vorerst ausgenommen. Seit 1. Juli 2012 gelten die Grenzwerte für neue Typengenehmigungen und seit Juli 2014 für alle neu zugelassenen SNF ab 3,5 t zGG in China (ICCT 2015). Die Höhe der Grenzwerte ist in Abbildung 6-4 ersichtlich. Für einen 26-t-Solo-LKW beträgt der Grenzwert beispielsweise 47,5 l/100 km, für eine 40-t-Sattelzugmaschine 47 l/100 km.

- Seit Februar 2014 ist die zweite Phase beschlossen, der so genannte "National Standard". Auf der Basis von eingeforderten Verbrauchsdaten für neu zugelassene Fahrzeuge im Rahmen des Industry Standard wurden einerseits Verschärfungen der Verbrauchsgrenzwerte um rund 10-14 % festgelegt (Abbildung 6-4) und andererseits nebst den bereits bestehenden Fahrzeugtypen auch die ÖPNV-Busse und die Baustellen-LKW im Standard eingeschlossen. Damit deckt der National Standard über 90 % der neu zugelassenen SNF in China ab. Der National Standard gilt verbindlich seit 1. Juli 2014 für neue Typengenehmigungen und seit 1. Juli 2015 alle Neuzulassungen.
- Über eine dritte Phase wird gegenwärtig diskutiert, mit einer Einführung wird bis ca. 2020 gerechnet.

Abbildung 6-4: Grenzwerte schwerer Nutzfahrzeuge in China – Phasen 1 und 2 (Industry Standard und National Standard)



Quelle:[TransportPolicy.net, 2015b], [Huo et al., 2011]

Die Grenzwerte des Industry Standard wurden auf der Basis von während 2010-2011 gemessenen und simulierten Kraftstoffverbrauchsdaten festgelegt. Die Höhe der Werte wurde bewusst konservativ festgelegt, so dass sie von den Herstellern verhältnismäßig einfach erreicht werden können. Zum Vergleich: In ICCT 2015 werden aktuelle, spezifische Treibstoffverbräuche von 40-t-Sattelzügen (EEV, EURO V, EURO VI) für Europa aus verschiedenen Untersuchungen zusammengestellt; je nach Untersuchung werden Werte zwischen 31-38 l/100 km angegeben. Diese Werte liegen deutlich unter den für China festgelegten Grenzwerten.

6.2.1.2 Testverfahren

Die Testprozedur umfasst zunächst eine Unterscheidung in "Basismodelle" und "Varianten" innerhalb einer Fahrzeugfamilie. Eine Fahrzeugfamilie umfasst alle Fahrzeuge, die sich hinsichtlich folgender Eigenschaften nicht unterscheiden:

- ▶ Fahrzeugtyp (Sattelzugmaschine, Baustellen-LKW, Solo-LKW, ÖPNV-Bus, Reisebus)
- ▶ Kraftstofftyp
- ▶ Leistung für den Betrieb der motorgetriebenen Hilfsaggregate
- ▶ Fahrgestell
- ▶ Karosserieform von Bussen (Doppeldecker, Gelenk-, Niederflurbus etc.)
- ▶ Art der Führerkabine
- ▶ Frontfläche
- ▶ Typ des Antriebsstrangs und Position der Antriebsachse
- ▶ Schaltung und Anzahl Gänge
- ▶ Gesamtgewicht (-kategorie)
- ▶ Anzahl Achsen.

Innerhalb einer Fahrzeugfamilie gilt das Modell mit dem größten Gesamtgewicht, der höchsten Motorenennleistung oder dem höchsten zertifizierten Kraftstoffverbrauch, der größten Frontfläche, dem kleinsten Reifenrollradius und dem größten Übersetzungsverhältnis der Gangschaltung als Basismodell. Alle anderen Modelle werden als "Varianten" bezeichnet. Kurz, das Basismodell sollte das hinsichtlich der Einflussfaktoren auf den Kraftstoffverbrauch ungünstigste Modell darstellen.

Die Testprozedur, die Ende 2011 verabschiedet wurde (ICCT 2015), sieht vor, dass der Kraftstoffverbrauch für die Zulassung der Basismodelle auf dem Fahrzeugprüfstand kontrolliert wird. Für die Varianten kann dagegen wahlweise ein Simulationsmodell (siehe Info-Box) oder ebenfalls der Prüfstand für die Tests eingesetzt werden.

Infobox: Simulationsmodell für die Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs von SNF in China

Für die Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs als Basis für die Zulassung von Varianten der Basismodelle schwerer Nutzfahrzeuge in China wird ein Simulationsmodell eingesetzt [Zheng et al., 2011]. Das Modell berechnet Motorendrehzahl und Drehmoment für vorgegebene Fahrzyklen unter Berücksichtigung fahrzeugmodellabhängiger Einflussgrößen wie Fahr- und Rollwiderstand, Schaltvorgang, Fahrzeugmasse, etc. Über vorgegebene Motorenkennfelder (Drehzahl, Drehmoment) kann der Treibstoffverbrauch interpoliert werden.

Das Simulationsmodell besteht aus den Submodulen für Motorenleistung (Kennfelder), Fahrzeugkarosserie (Fahrgestell, Anhänger, Zuladung), Reifenwiderstand, Fahrerverhalten und Umgebungseinflüsse (Fahrbahn, Wetter). Die für die Simulation notwendigen Motorenkennfelder werden aus Prüfstandsmessungen hergeleitet. Ein Gangschaltmodul simuliert das Schaltverhalten des Fahrers.

Für die Simulation werden folgende Eingangsdaten benötigt: Fahrzeugtyp, Leergewicht, zGG, maximale Zuladung, maximale Zuglast, Achsanzahl, Reifentyp. Sofern fahrzeugmodellspezifische Fahrwiderstandsdaten zu Ausrollversuchen vorliegen, werden diese berücksichtigt, ansonsten werden die Roll- und Luftwiderstände mit Hilfe von empirischen Funktionen berechnet. Als Resultat wird der Kraftstoffverbrauch und weitere Simulationsresultate (Momentangeschwindigkeit, Drehzahl, Drehmoment, Schaltstatus) ausgegeben.

Die Tests basieren auf einem Testzyklus (der auf dem "World Harmonized Test Vehicle Cycle" beruht) mit abgedämpften Beschleunigungs-/Bremsvorgängen, um der im Durchschnitt tieferen spezifischen Motorenleistungen in der chinesischen Nutzfahrzeugflotte Rechnung zu tragen. Dieser als C-WTVC bezeichnete Testzyklus besteht aus drei Sub-Zyklen (urban, ländlich, Autobahn).

Für die Ermittlung des für die Zulassung maßgebenden Kraftstoffverbrauchs werden die Verbräuche aus den Sub-Zyklen gewichtet. Die Gewichtung unterscheidet sich nach Fahrzeugtypen und basiert auf empirischen Fahrleistungsdaten für China (Tabelle 21).

Tabelle 21: Gewichtung der C-WTVC-Subzyklen für die Ermittlung des Treibstoffverbrauchs schwerer Nutzfahrzeuge in China (in %) Quelle: Zheng et al. 2011

Fahrzeugtyp	Gewichtsklasse (zGG)	urban	ländlich	Autobahn
Sattelzugmaschine	9-25 t	0	40	60
	> 25 t	0	10	90
Baustellen-LKW	> 3,5 t	0	100	0
Solo-LKW	3,5-5,5 t	40	40	20
	5,5-12,5 t	10	60	30
	12,5-24,5 t	10	40	50
	> 24,5 t	10	30	60
ÖPNV-Bus	> 3,5 t	100	0	0
Reisebus	3,5-5,5 t	50	25	25
	5,5-12,5 t	20	30	50
	> 12,5 t	10	20	70

6.2.2 USA

2011 wurde in den Vereinigten Staaten von Amerika die Entwicklung eines Programms zur Reduktion von Treibhausgasemissionen und zur Verbesserung der Kraftstoffeffizienz von mittleren und schweren Nutzfahrzeugen abgeschlossen (d. h. für Güterfahrzeuge mit einem zGG ab 8500 lbs bzw. rund 3,9 Tonnen.; ICCT 2015). Darauf aufbauend entwickelte die Amerikanische Umweltbehörde (EPA) einen Standard, der den Treibhausgasausstoß von Nutzfahrzeugen reguliert, und parallel dazu wurde durch die Amerikanische Transportbehörde (National Highway Traffic Safety Administration NHTSA) ein entsprechender Standard zur Kraftstoffeffizienz vorbereitet. Aufgrund unterschiedlicher gesetzgeberischer Rahmenbedingungen hinsichtlich der einzuhaltenden Übergangsfristen, trat die Treibhausgasregulierung der EPA für Fahrzeuge ab Baujahr 2014 in Kraft, während die Vorschriften zur Kraftstoffeffizienz für Fahrzeuge der Baujahre 2014 und 2015 noch freiwillig sind und erst für Fahrzeuge ab Baujahr 2017 verbindlich sein werden.

6.2.2.1 Grenzwertregelung

Die aktuell implementierte Gesetzgebung reguliert den Kraftstoffverbrauch und die Treibhausgasemissionen von mittleren und schweren Nutzfahrzeugen ab einem zGG⁵⁶ von 8500 lbs (Pfund⁵⁷), was rund 3,9 Tonnen entspricht. Dabei werden folgende Kategorien unterschieden [ICCT, 2011b]:

- ▶ Sattelzugmaschinen ("tractor trucks", Class 7 und 8), die typischerweise im Fernverkehr eingesetzt werden. Sie machen rund 60 % des Treibstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen des Güterverkehrs in den USA aus. Innerhalb dieser Kategorie sind Grenzwerte für drei Klassen (11,8-15 Tonnen zGG, > 15 Tonnen zGG mit/ohne Schlafkabine) und drei Dachhöhen (niedrig, mittel und hoch) festgelegt; insgesamt werden so neun Unterkategorien unterschieden.
- ▶ Pick-ups und Lieferwagen ("pick-ups" und "vans", Class 2B und 3; 3,9-6,5 Tonnen zGG), schwere, gewerblich genutzte Lieferwagen, welche für rund 20 % des Treibstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen des Güterverkehrs in den USA verantwortlich sind.
- ▶ Schwere und mittelschwere gewerbliche Nutzfahrzeuge ("vocational trucks", Classes 2B bis 8) bilden eine Sammelkategorie für alle restlichen Fahrzeuge, die nicht in die oben genannten Kategorien fallen. In dieser Kategorie finden sich beispielsweise die LKW zwischen 8,8 - 11,8 Tonnen zGG, die im städtischen Verteilverkehr eingesetzt werden. Der Rest dieser Kategorie ist geprägt

⁵⁶ Gross Vehicle Weight Rating (GVWR) inklusive Kraftstoff, Personen und Fracht.

⁵⁷ 1 metrische Tonne = 2,2046 Pfund (lbs).

von zahlreichen, teilweise sehr unterschiedlichen Konfigurationen (Aufbauten, Fahrzwecke, etc.), inklusive Busse, wobei für die Zulassung als Input ins Simulationsmodell lediglich die Reifenspezifikationen eingehen (also ohne weitere Designmerkmale wie Aufbauten, etc.).

- Motoren für schwere Nutzfahrzeuge ("heavy duty engines"): Parallel zu den Testprozeduren für Luftschadstoffe, wie sie in den USA in Kraft sind, werden die Motoren auch auf Treibhausgasemissionen und Verbrauch getestet. Die Motoren werden klassiert nach den zGG-Klassen der Fahrzeuge, in denen sie typischerweise eingesetzt werden, d. h. Motoren für Sattelzugmaschinen und für schwere und mittelschwere gewerbliche Nutzfahrzeuge.

Bezugsgröße für die Grenzwerte der fahrzeugbezogenen Grenzwerte ist die Tonnen-Meile⁵⁸. Für die Tests sind die anzunehmenden Zuladungen bzw. Testgewichte festgelegt (siehe Kapitel 6.2.2.2). Die Grenzwerte für die Treibhausgasemissionen sind in g CO₂/Tonnen-Meile (nur direkte Emissionen, d. h. tank-to-wheel) angegeben, diejenigen für den Kraftstoffverbrauch in Gallonen⁵⁹/Tonnen-Meile. Separate Grenzwerte regeln den Methan- und Lachgas-Ausstoß (für Fahrzeugtests betrifft dies nur die gewerblichen, mittleren Nutzfahrzeuge ("pick-ups" und "vans").

Für Motorentests sind die Grenzwerte als g CO₂ (tank-to-wheel) pro "brake horse power"⁶⁰ und Stunde (bhp-hr) bzw. als Gallonen/bhp-hr angegeben. Außerdem bestehen Grenzwerte für Methan- und Lachgasemissionen von Motoren der Sattelzugmaschinen sowie der schweren und mittelschweren gewerblichen Nutzfahrzeuge.

Im Folgenden werden die Grenzwertregelungen für Fahrzeugkategorien und Motoren zusammengefasst:

Grenzwerte für Sattelzugmaschinen und Motoren

Die Fahrzeug-Grenzwerte der ersten Regulierungsphase gelten für neue Fahrzeuge ab dem Baujahr 2014 und werden bis zum Baujahr 2017 verschärft. Die Werte wurden aus den Durchschnittswerten pro Fahrzeugklasse des Baujahres 2010 hergeleitet und beinhalten Verschärfungen von 7-20 % gegenüber 2010 bis 2014 und 9-23 % bis 2017.

Pick-ups und Lieferwagen

Im Gegensatz zu den anderen beiden Kategorien werden die Pick-ups und Lieferwagen auf Fahrzeugprüfständen getestet, in enger Anlehnung an die entsprechenden Prozeduren zu den Luftschadstofftests. Die Messungen beruhen auf dem transienten Light-duty FTP und dem Highway Fuel Economy Test Cycle (HWFET). Der FTP-Zyklus wird mit 55 % und der HWFET mit 45 % gewichtet.

Ebenfalls in Anlehnung an die Regelungen bei den leichten Motorfahrzeugen (und ähnlich wie bei den anderen beiden schweren Nutzfahrzeugkategorien) muss ein Fahrzeughersteller die Grenzwerte über seine gesamte Flotte einhalten. Maßgebend sind dabei die Produktionszahlen eines Baujahres. Unter dem Grenzwert liegende Fahrzeuge können als Gutschriften ("Credits") angerechnet werden, darüberliegende ergeben dementsprechende "Debits". Die Credits/Debits werden auf die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs ermittelt (200.000 Meilen). Credits/Debits können über alle in der Kategorie Pick-ups und Lieferwagen enthaltenen Fahrzeuge gegeneinander verrechnet werden.

Abbildung 6-5 zeigt illustrativ die Grenzwertentwicklung für die Kategorie der Sattelzugmaschinen, die bezüglich Treibstoffverbrauch und Treibhausgasemissionen im Fokus der Grenzwertgesetzgebung der USA stehen. Für eine Zugmaschine des Baujahres 2014 der Class 7 (11,8-15 Tonnen zGG) mit Hoch-

⁵⁸ d. h. short-ton mile. 1 short ton = 2000 lbs = 0,9072 metrische Tonnen; 1 Meile = 1,609 Kilometer; somit entspricht 1 short-ton mile = 1,146 tkm.

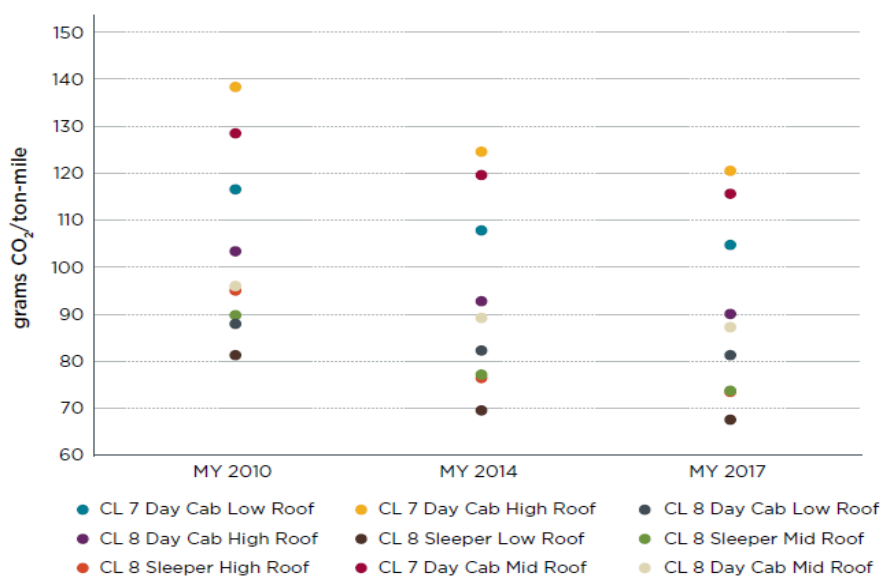
⁵⁹ 1 Gallone = 3,784 Liter

⁶⁰ Motorenleistung ohne Nebenaggregate; 1 bhp = 1,014 PS (DIN) = 0,7457 kW

dach/ohne Schlafkabine sinken die Grenzwerte von 125 g CO₂/Tonnen-Meile (entspricht 85 g CO₂/tkm) auf 120 g CO₂/Tonnen-Meile (82g CO₂/tkm bis Baujahr 2017 (siehe Abbildung 6-5). Zwischen den CO₂- und den Verbrauchsgrenzwerten wird gemäß US-Standard ein fixer Umrechnungsfaktor von 2,689 kg CO₂/Liter Diesel unterstellt.

Bei der Entwicklung der Absenkraten wurden die zurzeit erhältlichen, gängigen technischen Optimierungspotenziale berücksichtigt, wie Aerodynamik-Design, Leichtlaufreifen, Leichtbau, etc.

Abbildung 6-5: Emissionsgrenzwerte für Sattelzugmaschinen (tractor) USA



Quelle: ICCT 2011, CL 7: 11,8 - 15 Tonnen zGG, CL 8: > 15 Tonnen zGG; "day cab" = ohne Schlafkabine, "Sleeper" = Schlafkabine; low/mid/high roof = Dachhöhe, 1 mile = 1,609 km.

Tabelle 22: Grenzwerte für Sattelzugmaschinen, umgerechnet in g CO₂/tkm bzw. Liter/1000 tkm nach Kategorien und Baujahren (2014, 2017)

Kategorie	CO ₂ -Emissionen		Kraftstoffverbrauch	
	2014	2017	2014	2017
Class 7 - ohne Schlafkabine - Dach niedrig	73	71	27,2	26,5
Class 7 - ohne Schlafkabine - Dach mittel	82	71	30,3	29,3
Class 7 - ohne Schlafkabine - Dach hoch	85	82	31,6	30,6
Class 8 - ohne Schlafkabine - Dach niedrig	55	55	20,7	20,2
Class 8 - ohne Schlafkabine - Dach mittel	60	59	22,6	21,8
Class 8 - ohne Schlafkabine - Dach hoch	63	61	23,3	22,6
Class 8 - mit Schlafkabine - Dach niedrig	47	45	17,4	16,9
Class 8 - mit Schlafkabine - Dach mittel	52	50	19,2	18,7
Class 8 - mit Schlafkabine - Dach hoch	51	49	18,9	18,4

Quelle: [TransportPolicy.net, 2015c]EPA/NHTSA (2011); Class 7: 11,8-15 Tonnen zGG, Class 8: > 15 Tonnen zGG.

Motoren in Sattelzugmaschinen werden unterschieden zwischen "medium-heavy engines", die in Class-6 und -7-Fahrzeugen eingesetzt werden, und "heavy-heavy engines" für Class-8-Fahrzeuge. Die Werte der Grenzwerte für diese Unterkategorien sind in Tabelle 23 zusammengestellt. Daneben be-

stehen separate Grenzwerte für in Sattelzugmaschinen eingesetzte Motoren für Methan und Lachgas: 0.134 g/kWh (gleicher Grenzwert für CH₄ und N₂O; TransportPolicy.net 2015b). Analog zu den Fahrzeuggrenzwerten wurden auch bei den Motorengrenzwerten für die Festlegung der Absenkraten gegenüber 2010 die technologischen Verbesserungspotenziale der Motoren berücksichtigt, wie Verringerung der Motorreibung, Verbesserung der Nachbehandlungs- und Verbrennungsprozesse, EGR-Optimierungen sowie Turbocompounding.

Tabelle 23: Grenzwerte für Dieselmotoren in Sattelzugmaschinen in g CO₂/kWh bzw. Liter/100 kWh nach Kategorien und Baujahren

Kategorie	CO ₂ -Emissionen		Kraftstoffverbrauch	
	Baujahr 2014	Baujahr 2017	Baujahr 2014	Baujahr 2017
Medium-heavy (Class 6/7)	673	653	25,0	24,3
Heavy-heavy (Class 8)	637	617	23,7	22,9

Quelle: [EPA/NHTSA, 2011; TransportPolicy.net, 2015c]

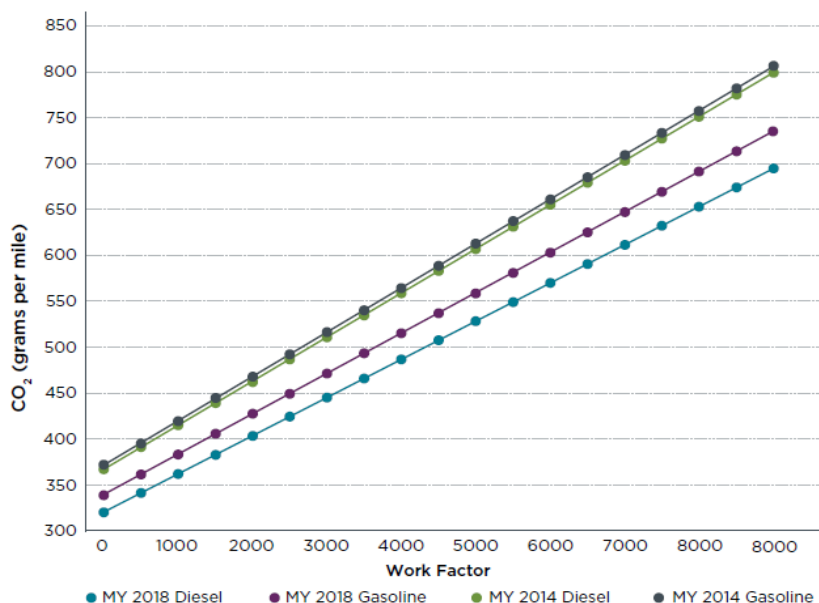
Grenzwerte für Pick-ups und Lieferwagen

Für diese Kategorie sind ausschließlich Fahrzeug-Grenzwerte festgelegt, die Motoren dieser Kategorie werden nicht separat geregelt. Die Grenzwerte nehmen Bezug auf einen "work factor", der eine Funktion aus Ladekapazität und Anhängelast bildet⁶¹. Die linearen Grenzwertfunktionen für Pick-ups und Lieferwagen sind in Abbildung 6-6 dargestellt und unterscheiden zwischen Fahrzeugen der Baujahre 2014 bzw. 2018 sowie zwischen Benzin- und Dieselfahrzeugen. Die entsprechenden Kraftstoff-Grenzwerte können – wie bei den Sattelzugmaschinen – mittels festen Umrechnungsfaktoren von 2,348 g CO₂/Liter Benzin und 2,689 g CO₂/Liter Diesel aus den CO₂-Grenzwerten ermittelt werden. Die Grenzwerte für Lachgas und Methan liegen bei 0,031 g/km.

Die den Grenzwertfunktionen verschiedener Baujahre zu Grunde liegenden Absenkraten basieren auch bei den Pick-ups und Lieferwagen auf Abschätzungen von verschiedenen technologischen Effizienzmaßnahmen, wie z. B. reibungsoptimierte Schmierstoffe, 8-Gang (statt 6-Gang)-Getriebe, Motorenverbesserungen, aerodynamische Maßnahmen, Leichtlaufreifen, Verbesserungen der Abgasnachbehandlung etc.

⁶¹ Work factor = (0,75 x Ladekapazität + xwd)+0,25 x Anhängelast; xwd = 500 für Allradfahrzeuge, sonst xwd = 0; Ladekapazität = zGG - Leergewicht.

Abbildung 6-6: Emissionsgrenzwerte für Sattelzugmaschinen (tractors) USA in Abhängigkeit des „work factor“



Quelle: ICCT 2011; MY = model year (Baujahr); 1 mile = 1,609 km

Grenzwerte für schwere und mittelschwere gewerbliche Nutzfahrzeuge

Für diese Kategorie sind wie für die Sattelzugmaschinen sowohl für Fahrzeuge als auch für Motoren CO₂- und Kraftstoffverbrauchsgrenzwerte festgelegt. Innerhalb dieser Kategorie werden drei Unterkategorien unterschieden: leichte (Class 2B bis 5), mittlere (Class 6 und 7) und schwere (Class 8) gewerbliche Nutzfahrzeuge ("vocational trucks"). Tabelle 24 fasst die Fahrzeug-Grenzwerte in dieser Kategorie zusammen:

Tabelle 24: Grenzwerte für schwere und mittelschwere gewerbliche Nutzfahrzeuge, umgerechnet in g CO₂/tkm bzw. Liter/1000 tkm nach Kategorien und Baujahren

Kategorie	CO ₂ -Emissionen		Kraftstoffverbrauch	
	2014	2017	2014	2017
leichte-schwere Nutzfahrzeuge (Class 2B-5)	266	256	98,8	95,2
mittlere-schwere Nutzfahrzeuge (Class 6 und 7)	160	154	59,6	57,3
schwere-schwere Nutzfahrzeuge (Class 8)	155	152	57,6	56,5

Quelle: [EPA/NHTSA, 2011; TransportPolicy.net, 2015c]; Class 2B-5: 3,9-8,8 Tonnen zGG, Class 6 und 7: 8,8-15 Tonnen zGG, Class 8: > 15 Tonnen zGG.

Die in schweren und mittelschweren Fahrzeugen eingesetzten Motoren werden klassiert nach "light-heavy engines", die in Fahrzeugen der Class 2B-5 eingesetzt werden, "medium-heavy-engines" (Class 6/7) und "heavy-heavy engines" (Class 8). Außerdem gelten ab Baujahr 2016 Grenzwerte für Benzin-Motoren. Die entsprechenden Grenzwerte zeigt Tabelle 25, für Lachgas und Methan gelten dieselben Grenzwerte wie für die Motoren der Sattelzugmaschinen (0,134 g/kWh für beide Treibhausgase).

Tabelle 25: Grenzwerte für Motoren in schweren und mittelschweren gewerblichen Fahrzeugen in g CO₂/kWh bzw. Liter/100 kWh nach Kategorien und Baujahren

Kategorie	CO ₂ -Emissionen		Kraftstoffverbrauch	
	Baujahr 2014	Baujahr 2017	Baujahr 2014	Baujahr 2017
Light-heavy (Class 2B-5)	805	772	30	29
Medium-heavy (Class 6/7)	805	772	30	29
Heavy-heavy (Class 8)	760	744	28	28
Benzin-Motoren (BJ 2016)	-	841	-	36

Quelle: [EPA/NHTSA, 2011; TransportPolicy.net, 2015c]

6.2.2.2 Testverfahren

Sattelzugmaschinen und schwere/mittelschwere gewerbliche Nutzfahrzeuge

Die Emissions- und Kraftstoffverbräuche von neuen Fahrzeugmodellen werden mit Hilfe eines von der EPA und NHTSA entwickelten Treibhausgasemissions-Simulationsmodells GEM ("Greenhouse Gas Emissions Model", siehe Info-Box) ermittelt – Prüfstandsmessungen sind nicht vorgesehen. Die Fahrzeug-Simulationen umfassen drei Fahrzyklen: ein transienter Zyklus des California Air Resources Board (ARB), sowie zwei Zyklen mit konstanter Geschwindigkeit (bei 65 bzw. 55 Meilen pro Stunde; "cruise cycles"). Die Emissions- bzw. Verbrauchswerte aus diesen Zyklenmodellierungen werden in Abhängigkeit der Fahrzeugkategorie relativ zueinander gewichtet (siehe Tabelle 26).

Tabelle 26: Gewichtung der Testzyklen für Sattelzugmaschinen

Kategorie	Ohne Schlafkabine	Mit Schlafkabine	Schwere und mittelschwere gewerbliche Nutzfahrzeuge
Transienter Zyklus	19 %	5 %	42 %
55 Meilen/h-Zyklus	17 %	9 %	21 %
65 Meilen/h-Zyklus	64 %	86 %	37 %

Quelle: ICCT 2015

Für die Tests sind folgende Zuladungen je Sattelzugmaschinenkategorie spezifiziert, welche aus statistischen Erfassungen der US Federal Highway Agency abgeleitet wurden:

- ▶ Sattelzugmaschinen Class 7: 11, 3 Tonnen
- ▶ Sattelzugmaschinen Class 8: 17,2 Tonnen

Für schwere gewerbliche Nutzfahrzeuge sind folgende Testgewichte vorgegeben (Leer- und Ladungsgewicht; abgeleitet aus Erhebungen der US Federal Highway Agency):

- ▶ Leichte-schwere gewerbliche Nutzfahrzeuge (Class 2B-5): 7, 3 Tonnen
- ▶ Mittlere-schwere gewerbliche Nutzfahrzeuge (Class 6 und 7): 11,4 Tonnen
- ▶ Schwere-schwere gewerbliche Nutzfahrzeuge (Class 8): 19,1 Tonnen

Für neue Motorenmodelle werden die Emissions- und Kraftstoffverbräuche auf Motorenprüfständen ermittelt, wobei dieselben Vorschriften zur Anwendung kommen, wie sie in der Luftschadstoff-Richtlinie der EPA festgehalten sind. Innerhalb der Motorenkategorien werden die Motorenmodelle

anhand von emissionsrelevanten Kriterien⁶² zu Motorenfamilien zusammengefasst. Pro Familie muss der Hersteller mindestens ein Motorenmodell auf dem Prüfstand testen lassen. Für die "medium-" und "heavy-heavy"-Motoren von Sattelzugmaschinen ist dabei der stationäre SET-Testzyklus relevant, der aus 13 stationären Belastungspunkten besteht. Für die schweren gewerblichen Nutzfahrzeuge ist der transiente FTP-Zyklus vorgegeben, der städtische Verkehrsverhältnisse besser abbildet.

Für die Umsetzung der Grenzwerteinhaltung ist eine Reihe von flexiblen Mechanismen vorgesehen:

- ▶ "Averaging, Banking and Trading" (ABT): Für den Nachweis der Grenzwerteinhaltung können die Hersteller sowohl Fahrzeuge und Motoren zulassen, die unter den Grenzwerten liegen (so genannte Credits) als auch solche, die über dem Grenzwert liegen (Debits). Insgesamt müssen die Grenzwerte aber im gewichteten Mittel über die produzierten Fahrzeuge-/Motorenunterkategorien eingehalten werden. Dieses so genannte "ABT program" gilt jeweils für Fahrzeuge und Motoren innerhalb derselben Unterkategorie (siehe oben). Um die Einhaltung der Grenzwerte nachzuweisen, müssen die Hersteller die vorgesehenen Produktionszahlen eines Modellbaujahres angeben. Außerdem fließt in die Berechnung der Credits/Debits die Lebensdauer der Fahrzeuge (vorgegeben nach Fahrzeugkategorien⁶³) ein.
- ▶ Credits können zwischen den Herstellern gehandelt werden, allerdings auch wieder nur innerhalb der jeweiligen Unterkategorie.
- ▶ "Early Credits": Daneben können die Hersteller Fahrzeuge/Motoren, welche künftige Grenzwerte vorzeitig einhalten, als "Early Credits" mit einer Gewichtung von 1,5 anrechnen lassen, wiederum nur in derselben Unterkategorie.
- ▶ "Advanced Technology Credits": Mit demselben Gewicht werden fortschrittliche Technologien bewertet: Mittels der Produktion von Rankine-Kreiszyklus-Motoren und Hybrid-, Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeugen erzeugte Credits können zudem über sämtliche Fahrzeug- und Motorenkategorien verteilt werden. Für die Berechnung der Credits von Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeugen werden ausschließlich die tank-to-wheel Emissionen (=0 für diese Antriebstechnologien) berücksichtigt.
- ▶ "Innovative Technology Credits": Technologien, die Treibhausgasemissionen bzw. den Kraftstoffverbrauch senken, die aber nicht mit GEM simuliert werden können, können gleichwohl als Gutschriften eingesetzt werden. Diese Absenkungspotenziale müssen aber mit spezifischen Tests (Prüfstände und On-Road) nachgewiesen werden. Diese Art von Credits können nur in derselben Motoren/Fahrzeug-Unterkategorie verrechnet werden.
- ▶ Treibhausgas-Substitution für Motoren: Liegen die Emissionen eines Motors über den Grenzwerten (0,1 g/bhp-h Methan bzw. Lachgas), so können diese überschüssigen Emissionen mittels reduzierten CO₂-Emissionen (unter Berücksichtigung der GWP-Faktoren für 100 Jahre) kompensiert werden. Die Kompensation von grenzwertüberschreitenden CO₂-Emissionen mit reduzierten Methan- und Lachgasemissionen ist dagegen nicht zulässig.

Infobox: GEM (Greenhouse Gas Emissions Model) – Simulationsmodell für die Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen von SNF in den USA

GEM ist eine auf MATLAB/Simulink basierende Software, mit der die Treibhausgasemissionen und der Kraftstoffverbrauch von schweren Fahrzeugen modelliert werden können. GEM besteht aus sechs Submodulen: Umgebungsbedingungen-, Fahrer-, Elektrosysteme-, Motorenverbrauchs-, Gangschaltungs- und einem Fahrzeugmodul. Auf der Basis eines vorgegebenen Fahrzyklus und von fahrzeugspezifischen Inputs simuliert GEM den Kraftstoffverbrauch in 1-Sekunden-Auflösung.

⁶² z. B.: Anzahl Zylinder, Hubraum, Ansaugtechnologie, Max. Drehmoment, Max. Drehzahl, etc.

⁶³ 185.000 Meilen (Class 7), 435.000 Meilen (Class 8), 110.000 Meilen (Class 2B-5)

Als Eingangsparameter sind vordefinierte und herstellerspezifische Angaben notwendig. Die herstellerunabhängigen Vorgabewerte umfassen für Sattelzugmaschinen und schwere/mittelschwere gewerbliche Nutzfahrzeuge ("vocational trucks") folgende Parameter:

Parameter	Sattelzugmaschinen	Schwere und mittelschwere gewerbliche Nutzfahrzeuge
Frontfläche	X	X
Sattelfahrzeug-Anhänger Leergewicht ("curb weight")	X	
Fahrzeuggesamtgewicht		X
Zuladung	X	X
Getriebe/Getriebeeffizienz	X	X
Achsübersetzung	X	X
Motoren-/Getriebe-/Radträgheit	X	X
Leistungsaufnahme der Hilfsaggregate	X	X
Achsstand	X	X
Radradius	X	X
Rollwiderstandskoeffizient des Anhängers	X	
Verbrauchskennfeld des Motors	X	X
Luftwiderstandskoeffizient		X

Die Vorgabewerte sind differenziert nach den jeweiligen Unterkategorien (Sattelzugmaschinen: Class 7, 8, drei Dachhöhen, mit/ohne Schlafkabine; "vocational trucks": Class 2B-5, 6 und 7, 8) vorgegeben.

Daneben muss der Fahrzeughersteller (OEM) für Sattelzugmaschinen den Luftwiderstandsbeiwert (Cd) und den Rollwiderstand (Antriebs- und Steuerräder) ins Modell eingeben. Für die schweren und mittelschweren gewerblichen Nutzfahrzeug ("vocational trucks") spezifiziert der Hersteller lediglich den Rollwiderstand. Die Luftwiderstandskoeffizienten müssen mittels Ausrollversuchen, Windkanalmessungen oder Simulationen (computational fluid dynamics simulation; CFD) ermittelt werden. Ausrollversuche stellen dabei die Referenzmethode dar, die Abweichungen anderer Verfahren gegenüber der Referenzmethode müssen für ein Referenzfahrzeug nachgewiesen werden können. Für die Ermittlung der Rollwiderstände ist die entsprechende ISO-Norm maßgebend (ISO 28580).

Daneben können die Hersteller technische Optimierungen geltend machen: Gewichtsreduktionen durch spezifische Komponenten (Leichtträger, Türen, Dach, Boden etc.), erweiterte Leerlaufreduktionstechnologie (nur Class 8 mit Schlafkabine) und automatische Geschwindigkeitsbeschränkung.

Aus diesen Angaben werden in GEM der Kraftstoffverbrauch (in Gallonen/1000 Tonnen-Meilen) und der Treibhausgasemissionen (in g CO₂/Tonnen-Meile) berechnet.

Gegenwärtig ist Version 2.0 von GEM im Einsatz. Eine wichtige Einschränkung von GEM ist, dass Verbesserungen im Zusammenspiel zwischen den Antriebskomponenten (Motor, Schaltung, etc.) nicht vollständig abgebildet werden können. Hybrid-, Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeuge können ebenfalls nicht simuliert werden, so dass für Hybrid-Fahrzeuge spezielle Testprozeduren festgelegt sind.

Weil mit dem GEM-Simulationsmodell Hybridfahrzeuge nicht abgebildet werden können, sind für diese Antriebstechnologie eigene Testverfahren festgelegt worden. Vorgesehen sind sowohl Messungen auf dem Fahrzeugprüfstand als auch Motorenmessungen. Bei Prüfstandsmessungen müssen sowohl ein Hybrid- als auch ein vergleichbares Referenzfahrzeug getestet werden. Nebst einem transienten Testzyklus (wie bei den übrigen Fahrzeugkategorien) sind zwei stationäre Zyklen (55/65 mph) abzu-

fahren. Außerdem müssen Fahrzeuge mit Nebenabtrieb (PTO)⁶⁴ einen spezifischen PTO-Zyklus berücksichtigen. Credits werden aus der relativen Differenz der CO₂-Emissionen des Hybridfahrzeugs zum Referenzfahrzeug bzw. zum Grenzwert abgeleitet.

Pick-ups und Lieferwagen

Im Gegensatz zu den anderen beiden Kategorien werden die Pick-ups und Lieferwagen auf Fahrzeugprüfständen getestet, in enger Anlehnung an die entsprechenden Prozeduren zu den Luftschadstofftests. Die Messungen beruhen auf dem transienten Light-duty FTP und dem Highway Fuel Economy Test Cycle (HWFET). Der FTP-Zyklus wird mit 55 % und der HWFET mit 45 % gewichtet.

Ebenfalls in Anlehnung an die Regelungen bei den leichten Motorfahrzeugen (und ähnlich wie bei den anderen beiden schweren Nutzfahrzeugkategorien), muss ein Fahrzeughersteller die Grenzwerte über seine gesamte Flotte einhalten. Maßgebend sind dabei die Produktionszahlen eines Baujahres. Unter dem Grenzwert liegende Fahrzeuge können als Gutschriften ("Credits") angerechnet werden, darüber liegende ergeben dementsprechende "Debits". Die Credits/Debits werden auf die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs ermittelt (200.000 Meilen). Credits/Debits können über alle in der Kategorie Pick-ups und Lieferwagen enthaltenen Fahrzeuge gegeneinander verrechnet werden.

Ausblick

In einer zweiten Phase der CO₂- und Treibstoffverbrauchsregulierung sollen wichtige Lücken geschlossen werden, die in der aktuellen Regulierung bestehen. Zum einen betrifft dies die Berücksichtigung von Schaltvorgängen in der Motoren-Prüfprozedur schwerer Nutzfahrzeuge, die in der ersten Phase aus Gründen mangelnder Grundlagedaten und der Angst vor möglichen, ungewollten Marktverzerrungen weggelassen wurden. Auch sollen in einer nächsten Phase die Anhänger von Zugfahrzeugen einbezogen werden, die in der aktuellen Phase ebenfalls ausgeklammert wurden.

⁶⁴ Mit einem Nebenabtrieb können z. B. Müllabfuhrfahrzeuge im Leerlauf zusätzliche Aggregate über das Hauptgetriebe antreiben.

6.2.3 Long-List politischer Maßnahmen

Tabelle 27: Long-List politischer Maßnahmen

Titel Maßnahme	Typ	Ausführend	Zielgruppe	Beispiele bisheriger Umsetzung
Entwicklung eines standardisierten CO ₂ -Testverfahrens	Information	EU-Kommission	Hersteller	Pkw-Grenzwertgesetzgebung, Lkw-Motor-Abgasprüfung...
CO ₂ -Pflichtkennzeichnung (Effizienzlabel) für neue SNF	Information, Regulation	EU-Kommission; Gutachter, Entwickler	Hersteller; Fahrzeugbetreiber	Pkw (Verbrauchskennzeichnung); Gebäudekennzeichnung
Selbstverpflichtung der SNF-Hersteller bzw. (freiwillige) Zielvereinbarungen für Hersteller energieeffizienter LKW	Regulation	EU-Kommission	Hersteller	Pkw: Selbstverpflichtung vor Einführung der CO ₂ -Grenzwerte; Ziel "Leitmarkt Elektromobilität"; EnergieSchweiz: Energieeffiziente Haushaltsgeräte (Angebot von effizienten Geräten und Deklaration)
Gesetzliche CO ₂ -Regulierung für Neufahrzeuge	Regulation	EU-Kommission	Hersteller	Pkw: EU-Grenzwerte; SNF: China, USA, Japan, Kanada
Anrechenbarkeit von Ökoinnovationen	Regulation	EU-Kommission	Hersteller, Entwickler	Pkw: Senkung des Flottenverbrauchs um bis zu 7 g CO ₂
Freiwillige oder verpflichtende CO ₂ -Zertifizierung bzw. Effizienzlabel für Einzeltechnologien	Information	EU-Kommission; Gutachter, Entwickler	Hersteller; Fahrzeugbetreiber	Verkehr (Reifen), Haushalt (Elektrogeräte)
verpflichtende Effizienzklassen von Einzeltechnologien	Regulation	EU-Kommission	Hersteller, Entwickler, Fahrzeugbetreiber	Verkehr: EU-Regelungen für Reifen, Haushalte: Verbot konventioneller Glühbirnen in der EU, Heizkessel
Anpassung gesetzlicher Rahmenbedingungen, um Sparmaßnahmen zu ermöglichen	Regulation	EU-Kommission	Fahrzeugbetreiber	bereits tlw. erfolgt, z.B. zu Fahrzeugabmessungen für Aerodynamikanbauten
Effizienzkriterien bei der Beschaffung öffentlicher Fahrzeugflotten	Regulation	Bund, Länder, Kommunen	Fahrzeugbetreiber	Pkw-Effizienzvorgaben in Beschaffungsrichtlinien der öffentlichen Hand, Qualitätskriterien in ÖPNV-Ausschreibungen Indirekt: Straßennutzungsgebühren haben zu Verringerung von Leerfahrten geführt
Effizienzkriterien bei Ausschreibung von Transportdienstleistungen	Regulation	Industrie	Fahrzeugbetreiber	eine ursprüngliche Zielstellung bei Greenfreight Europe
Lokale Fahrverbote für ineffiziente Fahrzeuge	Regulation	Bund, Länder, Kommunen	Fahrzeugbetreiber	Deutschland: Umweltzonen, Tirol (Lufthygiene): Fahrverbot für Transit-LKW mit Güterarten, die auch mit der Bahn transportiert werden können
Verpflichtender Einsatz von Informationstechnologien zur Teilnahme an Förderprogrammen	Förderung	Bund, Länder	Hersteller; Fahrzeugbetreiber	Gebäude: MAP-Programm fordert Hydraulikabgleich, damit Biomassekessel gefördert werden; Ver. Gewerbe: BESAR - reduzierte EEG-Umlage für Unternehmen erfordert als Grundlage ein Energiemanagement
Überprüfung der Kabotagebeschränkungen	Regulation	EU-Kommission	Fahrzeugbetreiber	
Kontrolle zur Durchführung von "umweltbewusstem Fahren" im Rahmen der Fahrschule	Regulation	EU-Kommission	Fahrzeugbetreiber	Anforderungen an umweltbewusstes Fahren in Führerscheinrichtlinie 2012 im Güterverkehr
Förderprogramme zur Neuananschaffung energieeffizienter Lkw	Förderung	Bund, Länder	Hersteller; Fahrzeugbetreiber	Verkehr: Kommunale Förderprogramme (auch Beschaffungsrichtlinien), Hybridbusförderung, Partikelfilterförderung; Gebäude: Gebäude-Heizung, Straßenbeleuchtung, Marktanreizprogramm zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt, CO ₂ -Gebäudesanierungsprogramm des Bundes; BAG: DeMinimis Förderprogramm (Sicherheit + Umweltförderbeiträge). Haushalte: kostenlose Bereitstellung/ Installation von einfachen Energieeinsparartikeln sowie bei Erfüllung bestimmter Voraussetzungen einen Zuschuss zur Beschaffung eines hoch energieeffizienten Kühlgerätes durch Stromspar-Check PLUS; Ver. Gewerbe: KfW-Energieeffizienzprogramm
Förderprogramm zur Nachrüstung von Lkw-Effizienztechnologien	Förderung	Bund, Länder	Hersteller; Fahrzeugbetreiber	Verkehr: Kommunale Förderprogramme (auch Beschaffungsrichtlinien), Hybridbusförderung, Partikelfilterförderung; Gebäude: Gebäude-Heizung, Straßenbeleuchtung, Marktanreizprogramm zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt, CO ₂ -Gebäudesanierungsprogramm des Bundes; BAG: DeMinimis Förderprogramm (Sicherheit + Umweltförderbeiträge)
Förderung F&E	Förderung	Bund, Länder	Hersteller; Entwickler	Super-Truck-Programme in USA Förderung BAFA von Querschnittstechnologien Förderung Aufnahmen von kartographischen Grundlagen für die LKW-Navigationssysteme im Rheinland (Projekt "Effiziente und stadtverträgliche Lkw-Navigation – Metropolregion Rheinland")
Energiespar-Contracting	Förderung	Bund (gesetzl.)	Fahrzeugbetreiber	Energie-Contracting im Gebäudeheizungsbereich

		Regelung)?, private Anbieter		Berliner Energieagentur: Contracting im Güterverkehr im Rahmen des Tellus-Projekts (CIVITAS)
Marktanreize zum Einsatz effizienterer Lkw (z.B. höhere Entgelte für Speditionen mit energieeffizienten Lkw, höhere ÖPNV-Zuschüsse...)	Förderung	Alle Auftraggeber von Transportdienstleistungen	Fahrzeugbetreiber	
Förderung der Werkstätten-Ausbildung im Umgang mit Effizienztechnologien	Förderung	Hersteller	Werkstätten; Fahrzeugbetreiber	Gebäude: Ausbildung Sanierungsberater
Förderung von Frachtbörsen-zur Erhöhung der Auslastung	Förderung	EU, Bund	Fahrzeugbetreiber	Start-up-Unternehmen auf privater Initiative in Frankreich, IT-Lösungen)
Staffelung Lkw-Maut entsprechend CO ₂ -Emission/Energieverbrauch	Kosten	Bund	Hersteller; Fahrzeugbetreiber	Lkw: Maut nach Abgasnorm, Schweiz: LSVA nach Abgasnorm
Ausgestaltung KFZ-Steuersystem nach Effizienzkriterien	Kosten	Bund, Länder	Fahrzeugbetreiber	Kfz-Steuer bei Pkw
Berücksichtigung der CO ₂ -Intensität von Kraftstoffen bei der Energiesteuer	Kosten	Bund	Hersteller; Fahrzeugbetreiber	Energiesteuerermäßigung für Erdgas und Autogas bis 2018
Kfz-Zulassungssteuer/-gebühr (z.B. Bonus-Malus-Regelung) in Abhängigkeit der spezifischen CO ₂ -Emission	Kosten	Bund	Fahrzeugbetreiber	Bonus-Malus-System für Pkw-Neuzulassungen in Frankreich. Weiteres Beispiel Skandinavien.
Emissionshandel Mid-Stream beim Fahrzeughersteller	Kosten	EU-Kommission	Hersteller	
Emissionshandel Up-Stream oder Down-Stream	Kosten	EU-Kommission	Fahrzeugbetreiber	ETS für stationären Bereich in Europa, in Kalifornien inkl. Verkehr (upstream bei Kraftstoffwirtschaft)
Nutzfahrzeug-Effizienzberater (organisiert oder zumindest mit Vernetzung und Erfahrungsaustausch in Energieeffizienznetzwerken)	Information	Bund, Länder, Kommunen	Hersteller; Fahrzeugbetreiber	Gebäude: Energieberater der Verbraucherzentralen; Stromspar-Check PLUS; Sanierungsberater, Energieberatung Mittelstand, Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz, Zielgruppenspezifische Effizienzkampagnen der Deutschen Energie-Agentur „Initiative Energieeffizienz“, „Zukunft Haus“, „Die Hauswende“ IEKK-BaWü: Energieeffizienznetzwerk M11
Beratung zu umwelt-/effizienzorientiertem Fuhrparkmanagement	Information	Länder, Kommunen	Fahrzeugbetreiber	Mobilitätsmanagement und Fuhrparkmanagement bei Pkw
(Förderung von) Zertifizierungen der Energieeffizienz von Speditionenunternehmen (z.B. ISO 50001)	Regulation	Bund, Länder als Förderer	Fahrzeugbetreiber	Aufbau von Energiemanagementsystemen oder Umweltmanagementsystemen in zahlreichen Unternehmen (ISO, EMAS). Bisher häufig ohne Transporte
(Förderung von) Energieaudits für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) im Speditionsgewerbe	Regulation	Bund, Länder als Förderer	Fahrzeugbetreiber	Gesetz über Energiedienstleistungen und andere Energiesparmaßnahmen (EDL-G): Energie-Audit für nicht-KMU-Unternehmen.
CO ₂ -Monitoring-Anreize oder -Verpflichtung für Flottenbetreiber; EU-Initiative zum CO ₂ -Fußabdruck	Regulation	EU-Kommission, Bund	Fahrzeugbetreiber, Transportkunden	In Frankreich sind CO ₂ -Emissionen seit 1. Oktober 2013 auf dem Frachtbrief auszuweisen; CO ₂ -Monitoring im Energie- oder Umweltmanagementsystemen von Nicht-Transport-Unternehmen
Lokal lernende Netzwerke "Energieeffiziente Spedition"	Information	Länder, Kommunen	Fahrzeugbetreiber	Energieeffizienztische im GHD- oder Industriesektor
Spritspartrainings mit Zusatzfokus auf ICT/ITS-Einsatz im Rahmen verpflichtender Berufskraftfahrerfortbildungen	Regulation	EU-Kommission, Bund	Fahrzeugbetreiber	Berufskraftfahrer-Qualifikations-Gesetz (BKrFQG) zur Umsetzung der EU-Richtlinie 2003/59/EG
Verleihung von Preisen ausgewählter Technologiebereiche (z.B. für Telematiklösungen)	Information	Bund	Hersteller, Fahrzeugbetreiber	Deutscher Telematik-Preis, Telematik-Award
Durchführung von Messen, Road-Shows und Wettbewerben zu Energieeffizienz bei SNF	Information	Hersteller	Fahrzeugbetreiber	Pkw: VCD Autoumweltliste; Messen im Bau- und Heizungsgewerbe
Ausbau Tankstellennetz für CNG, LNG und Strom	Förderung	EU-Kommission, Bund, Länder	Hersteller; Fahrzeugbetreiber; Energieversorger	Verkehr: Tankstellen für Einzelflotten (Verteiler, Entsorgung, Busse, öffentliche Flotten)
intelligente Verkehrssystemlösungen (IVS)	Regulation	Bund, Länder, Kommunen	Fahrzeugbetreiber	Pkw-Effizienzvorgaben in Beschaffungsrichtlinien der öffentlichen Hand, Qualitätskriterien in ÖPNV-Ausschreibungen Indirekt: Straßennutzungsgebühren haben zu Verringerung von Leerfahrten geführt

6.3 Leitfragen für Stakeholder

In diesem Kapitel wird der Fragenkatalog für die Stakeholder-Gespräche dokumentiert. In den etwa 20-minütigen offenen Telefoninterviews konnten jedoch nicht immer alle Fragen gestellt werden.

Allgemeine Fragen:

- ▶ Fragen zum Unternehmen z. B. werden Fahrzeuge geleast/gekauft? Wie groß ist das Unternehmen/der Fuhrpark? Wie alt ist die Fahrzeugflotte?
- ▶ Welche Bedeutung hat der Energieverbrauch von Fahrzeugen grundsätzlich für Ihre Unternehmensentscheidungen?
- ▶ Wie gut fühlen Sie sich in der Lage auf kraftstoffsparende Technologien (Verfügbarkeit, Information/Bewertung) zu setzen? Wie entscheiden Sie welche Mehrkosten in der Anschaffung gerechtfertigt sind und wie schnell müssen sich diese amortisieren? Gibt es weitere zentrale Hemmnisse zum Einsatz kraftstoffsparender Technologien?
- ▶ Welche Rolle spielen bestehende Maßnahmen (z. B. LKW-Maut nach Schadstoffklassen für Auslastung bzw. vorgezogene Neuanschaffung, Effizienzlabel für Reifen) bzw. die Kraftstoffpreise für Sie?
- ▶ Welche Förderhöhen sehen sie als sinnvoll an um sparsamere Fahrzeuge einzuführen?

LKW-Betreiber

- ▶ Welche Folgen hätten die ausgewählten Maßnahmen für ihren Betrieb? (z. B. Kostenerhöhung, Senkung, zusätzlicher Aufwand für Information, Dokumentation...).
- ▶ Würden die genannten Maßnahmen Ihr Kauf-/Mietverhalten hin zu kraftstoffsparenden Fahrzeugen bzw. Aufliegern verändern?
- ▶ Würde ein Effizienzlabel o. ä. zu Aufliegern und Aufbauten Ihre Kauf-/Mietentscheidung beeinflussen?
- ▶ Wie hoch ist die Nachfrage bei Ihren Kunden nach Effizienzangaben zu den von Ihnen ausgeführten Transportdienstleistungen?

LKW-Käufer/-Vermieter

- ▶ Welche Auswirkungen hätten die genannten Maßnahmen auf das Nachfrageverhalten Ihrer Kunden? z. B. Forderung effizienterer Fahrzeuge
- ▶ (In welchem Umfang) Könnten Sie zusätzliche Anschaffungskosten für besonders sparsame Fahrzeuge (Zugfahrzeug, Anhänger/Auflieger) über höhere Leasingraten weitergeben?

Speditionen/Verbände

- ▶ Versuchen Sie, Einfluss auf die Kraftstoffeffizienz bei von Ihnen beauftragten Frachtführern zu nehmen? Wenn ja: Sehen Sie auf Basis der genannten Maßnahmen neue Möglichkeiten zur Beeinflussung der Kraftstoffeffizienz bei Ihren Frachtführern?
- ▶ Welche der genannten Maßnahmen sehen Sie (unabhängig von eigener Einflussnahme) als wirksam an, um bei Frachtführern den Einsatz effizienterer Fahrzeuge zu fördern?
- ▶ Wie hoch ist die Nachfrage bei ihren Kunden nach Effizienzangaben zu den von ihnen ausgeführten Transportdienstleistungen?

Abschlussfragen

- ▶ Welche Maßnahmen sollten unbedingt umgesetzt werden und welche auf keinen Fall?
- ▶ Welche Maßnahmen fehlen Ihnen noch?
- ▶ Haben Sie Anmerkungen zur Ausgestaltung der Maßnahmen? z. B. Höhe der Bonuszahlungen, Grenzwerte,...