

Einfluss von Alterung und Schadstoffklassen auf die Realemissionen

07.08.2024



Autoren: Dr. Konstantin Weller, Prof. Stefan Hausberger

Einfluss von Alterung und Schadstoffklassen auf die Realemissionen

Datum 07.08.2024

Bericht Nr.: I-24/24/Wel EM Inst-24/11/670

Auftraggeber: Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Mobilitätsplanung

Zitat

Dieser Bericht darf nur vollinhaltlich, ohne Weglassen und
Hinzufügen, veröffentlicht werden.

Sollte er auszugsweise abgedruckt oder vervielfältigt werden,
so ist vorher die schriftliche Genehmigung der Verfasser einzuholen.

Institut für Thermodynamik und nachhaltige Antriebssysteme

Vorstand: Univ.-Prof. Dr. Helmut Eichlseder

Inffeldgasse 19, A-8010 Graz, Austria

Tel.: +43 (316) 873-30001

Fax: +43 (316) 873-30002

institut@ivt.tugraz.at

<http://ivt.tugraz.at>



ISO 9001 zertifiziert

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis	4
1 Hintergrund zur Untersuchung.....	5
2 Emissionsstufe Euro VI – Subkategorien	6
2.1 Einführungsdaten.....	6
2.2 Emissionsgrenzwerte.....	8
2.3 Randbedingungen ISC-Tests Subkategorien Euro VI.....	9
2.3.1 Schwellwert für durchschnittliche Leistung der MAWs.....	9
2.3.2 Fahrzeugbeladung.....	10
2.3.3 Streckenkriterien	10
2.3.4 Kaltstart.....	10
2.3.5 Partikelmessung On-Board.....	11
2.4 Emissionsfaktoren Euro VI.....	11
2.4.1 Emissionsfaktoren Euro VI – Neufahrzeuge	11
2.4.2 Alterungsfaktoren Euro VI.....	12
2.4.3 Emissionsfaktoren Euro VI – aktuelle Flotte.....	13
3 Zusammenfassung	14
4 Literatur	15

Abkürzungsverzeichnis

CF-Faktor	.....	Konformitätsfaktor
EU	.....	Europäische Union
FIN	.....	Fahrzeug-Identifikations-Nummer
g	.....	Gramm
HBEFA	.....	Handbuch Emissionsfaktoren für den Straßenverkehr
ISC	.....	In-Service Conformity
km	.....	Kilometer
kWh	.....	Kilowattstunden
LKW	.....	Lastkraftwagen
MAW	.....	Moving Average Window
NOx	.....	Stickoxide
PEMS	.....	Portable Emission Measurement System
PN	.....	Partikelanzahl
SCR	.....	Selektive-katalytische Reduktion
SNF	.....	Schwere Nutzfahrzeuge
WHSC	.....	World Harmonized Stationary Cycle
WHTC	.....	World Harmonized Transient Cycle

1 Hintergrund zur Untersuchung

Die Umweltbelastung hinsichtlich Luftqualität ist im Inntal in Tirol durch das starke Verkehrsaufkommen auf der Inntalautobahn A12 als hoch einzustufen. Da Lastkraftwagen (LKW), speziell ältere Fahrzeuge, einen merklichen Teil dazu beitragen, hat das Land Tirol ein sektorales Fahrverbot für LKW, die vor dem 01.09.2018, dem Einführungsdatum von Euro VI D, zugelassen wurden, eingeführt, um die Umweltbelastung zu reduzieren (vgl. § 4 Abs. 1 lit. e Sektorales Fahrverbot-Verordnung). Damit soll erreicht werden, dass nur noch Fahrzeuge mit neueren Emissionsstufen (insb. Euro VI D und E) auf der Inntalautobahn fahrberechtigt sind, da diese, wie in verschiedenen Studien gezeigt, einen geringeren umweltschädlichen Schadstoffausstoß haben als Fahrzeuge älter als Euro VI und Fahrzeuge mit der Emissionsstufe Euro VI A, B und C [1]. Dies ist im Kapitel 2.4.1 dieser Studie genauer beschrieben.

Diese Stichtagsregelung ist grundsätzlich auch wirksam. Es werden alle Fahrzeuge älter Euro VI und mit Emissionsstufe Euro A und B ausgeschlossen. Da jedoch im Zeitraum von 01.09.2018 bis zum 31.08.2019 nur Fahrzeuge mit neuer Typisierung verpflichtend unter der Emissionsstufe Euro IV D zugelassen werden mussten, bereits bestehende Typen aber auch noch unter Euro VI C zugelassen werden konnten, sind Fahrzeuge der Emissionsstufe Euro VI C mit dieser Stichtagsregelung nicht gänzlich ausgeschlossen. Die Einführungsdaten der einzelnen Euro IV Stufen sind in Kapitel 2.1 beschrieben. Fahrzeuge älter als Euro VI und Fahrzeuge mit Emissionsstufe Euro VI A, B und C haben nicht nur im Neuzustand ein höheres Emissionsniveau als Fahrzeuge der Emissionsstufe Euro VI D und E, sondern sind durch die frühere Zulassung im Flottendurchschnitt zum Einführungsdatum der Stichtagsregelung, dem 01.01.2020, auch älter, haben also bereits eine höhere Laufleistung erreicht. Dies ist durch die frühere Typgenehmigung, dem Zeitpunkt ab dem Fahrzeuge dieser Emissionsstufe erstmalig zugelassen werden können, und dem letztmöglichen Zulassungsdatum, welches weitere Zulassungen von Fahrzeugen mit dieser Emissionsstufe verhindert, bedingt. Die zugehörigen Daten sind in Kapitel 2.1 dargestellt. Höhere Laufleistungen führen zu alterungsbedingten Emissionserhöhungen, was sowohl bei Fahrzeugen der Emissionsstufe Euro VI A, B und C als auch bei Fahrzeugen der Emissionsstufe Euro VI D und E der Fall ist (siehe Kapitel 2.4.2). Durch die Stichtagsregelung werden also unabhängig von der Emissionsstufe Fahrzeuge mit erhöhten Emissionen aufgrund ihres Alters und, damit bedingt, ihrer Laufleistung ausgeschlossen.

In dieser Studie werden die Unterschiede in Typprüf- und In-Service Testverfahren der einzelnen Euro VI Stufen beschrieben. Danach wird dargelegt, dass eine Stichtagsregelung hinsichtlich des Ausschlusses von LKW älter als Euro VI und von Fahrzeugen mit den Emissionsstufen Euro VI A, B und C eine signifikante Minderung von NO_x bewirkt. Dies ist, wie vorangehend bereits beschrieben, auf zwei Ursachen zurückzuführen: Zum einen weisen Fahrzeuge mit der Emissionsstufe Euro VI D und E im Vergleich zu Fahrzeugen mit älteren Emissionsstufen ein geringeres Basisemissionsniveau auf und zum anderen sind Fahrzeuge mit höherer Laufleistung und dadurch bedingt höheren Emissionen ausgeschlossen.

2 Emissionsstufe Euro VI – Subkategorien

In der Folge werden die Details zur Emissionsstufe Euro VI hinsichtlich der verschiedenen Subkategorien erläutert.

2.1 Einführungsdaten

Die Schadstoffemissionen von schweren Nutzfahrzeugen (SNF) der Emissionsstufe Euro VI sind durch die Verordnung (EG) Nr. 595/2009 und die Verordnung (EU) Nr. 582/2011 geregelt. Die Verordnung (EG) 595/2009 beinhaltet die Euro VI Grenzwerte und das Zertifizierungsverfahren am Motorprüfstand. Die Verordnung (EU) 582/2011 beschreibt die Überprüfung von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen in sogenannten In-Service Conformity (ISC) Tests. Dazu werden Fahrzeuge im Realbetrieb unter gewissen Randbedingungen hinsichtlich Route, Umgebungsbedingungen oder Beladung getestet.

Die in der Verordnung (EU) 582/2011 vorgegebenen Randbedingungen wurden in den letzten Jahren durch verschiedene „amendments“ (Änderungen) kontinuierlich angepasst, wobei die Grenzwerte stets konstant blieben. Änderungen betrafen im Wesentlichen die Test- und Auswerteverfahren, die mit jeder Stufe verschärft wurden (siehe Kap. 2.3). Mit jeder Änderung wurde eine neue Subkategorie der Emissionsstufe Euro VI eingeführt. Die ersten Euro VI Fahrzeuge mussten die Stufe Euro VI A erfüllen und die derzeit erstzugelassenen SNF bereits Emissionsstufe Euro VI E. Wichtig ist dabei, dass die Einführung einer neuen Subkategorie der Emissionsstufe Euro VI erst nur für neue Typen zwingend ist und erst nach einer einjährigen Übergangszeit für alle erstzugelassenen Fahrzeuge gültig wird.

Prinzipiell muss jedes neue Fahrzeug erstzugelassen werden. Eine neue Typisierung ist hingegen nur notwendig, wenn im Vergleich zu den Vorgängertypen Änderungen am Fahrzeug durchgeführt wurden, die z.B. die Verkehrs- oder Betriebssicherheit betreffen. Wenn eine neue Typisierung in diesem Übergangsjahr gemacht wird, dann müssen alle Erstzulassungen mit der neuen Typisierung die neue Subkategorie der Emissionsstufe Euro VI erfüllen. D.h. erst ab dem Implementierungsdatum für alle neuzugelassenen Fahrzeuge muss dann auch jedes erstzugelassene Fahrzeug die eingeführte Subkategorie der Emissionsstufe Euro VI erfüllen.

Folgend sind die Einführungsdaten der einzelnen Euro VI Subkategorien dargestellt.
[1]

Tabelle 1: Einführungsdaten Subkategorien Emissionsstufe Euro VI

Subkategorie Emissionsstufe	Implementierungsdatum für neue Typen	Implementierungsdatum für alle Neuzulassungen	Letztes Registrierungsdatum	Verordnung (EU)
Euro VI A	31.12.2012	31.12.2013	31.08.2015	582/2011
Euro VI B	01.09.2014	01.09.2015	30.12.2016	64/2012
Euro VI C	31.12.2015	31.12.2016	31.08.2019	2016/1718
Euro VI D	01.09.2018	01.09.2019	31.12.2021	2018/932
Euro VI E	01.01.2021	01.01.2022		2019/1939

Folgen der Stichtagsregelung

Entsprechend Tabelle 1 waren neue Nutzfahrzeuge mit Euro VI C Typisierung bis 31.08.2019 zulassungsfähig. Neue Typisierungen waren bis 31.08.2018 möglich.

Nach 31.08.2019 hatte der Hersteller / Importeur die Möglichkeit - falls das Fahrzeug vor diesem Datum gebaut wurde und schon in EU-Territorium war - eine Ausnahmegenehmigung der zuständigen Typprüfbehörde für 12 Monate als „Lagerfahrzeug“ zu beantragen.

Bei stufengenehmigten Fahrzeugen konnte für 18 Monate eine solche Ausnahmegenehmigung erteilt werden. Die Typprüfbehörde erteilt in diesen Fällen Fahrzeug-Identifizierungs-Nummer (FIN) bezogene Ausnahmegenehmigungen.

Es ist also davon auszugehen, dass auch nach dem Stichtag 31.08.2018 noch Euro VI C Nutzfahrzeuge zum Verkehr in der EU zugelassen wurden, da dies für alle bereits typisierten Fahrzeuge noch möglich war. Zu den genauen Anteilen der Erstzulassungen von Euro VI C und Euro VI D Fahrzeugen in der Übergangszeit von 01.09.2018 bis 31.08.2019 liegen aber keine Zahlen vor. Aus den jährlichen Bestandstatistiken der offiziellen österreichischen Luftschadstoffinventur [6] kann deren Anteil aber gut abgeschätzt werden, wenn man annimmt, dass jedes Monat 1/12 der Jahreszulassung erfolgt. Die Neuzulassungen sind jeweils die Differenz aus Restbestand aus dem Vorjahr und dem Gesamtbestand im aktuellen Jahr, berechnet aus den Daten in Abbildung 1.

Damit ergeben sich ca. 17,5% des Bestandes an EURO VI ABC, welche als EURO VI C nach Stichtag 31.08.2018 zugelassen wurden.

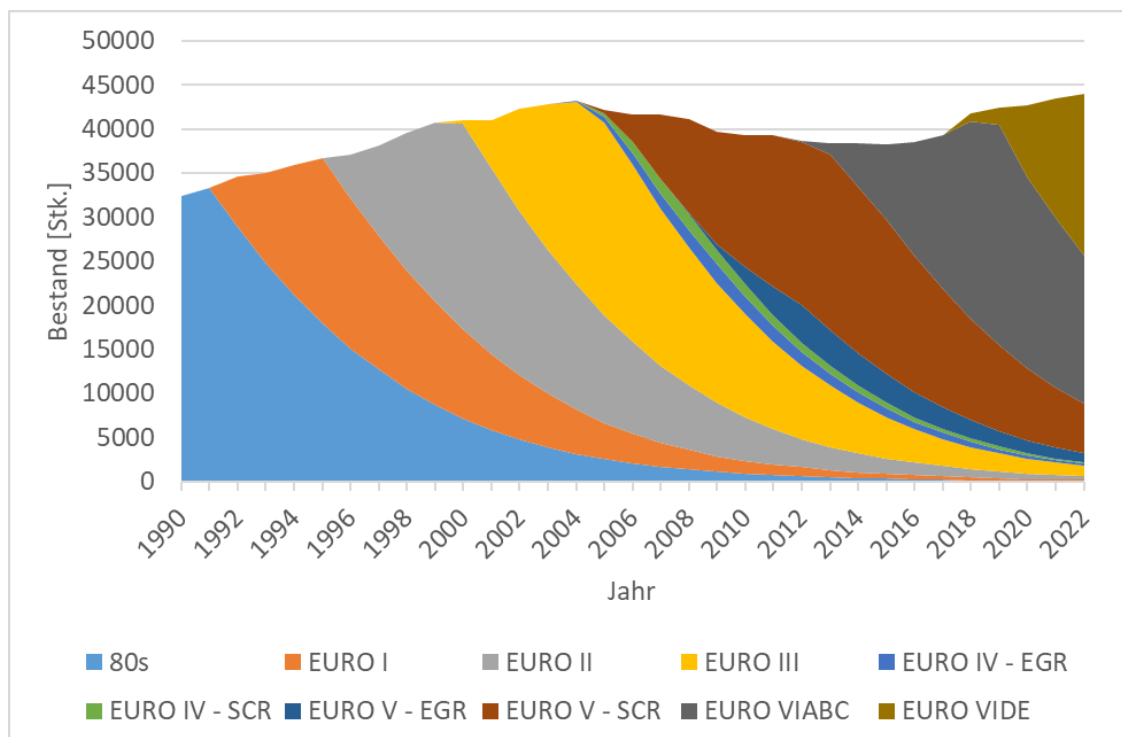


Abbildung 1: Bestand Langstrecken-LKW in Österreich aus den Daten der österreichischen Luftschadstoffinventur [6]

Ein Stichtag später als der 31.08.2018 wäre zum Zeitpunkt der Erlassung der Richtlinien aus fachlicher Sicht nicht rechtfertigbar gewesen. Durch einen Stichtag am 31.08.2019 würden zwar alle Euro VI C Nutzfahrzeuge ausgeschlossen, aber auch relevante Mengen an Euro VI D Nutzfahrzeugen. Zudem wären bei einem späteren

Stichtag als dem 31.08.2018 durch das in Kraft treten am 01.01.2020 Fahrzeuge ausgeschlossen, die unter Umständen noch nicht einmal ein Jahr alt wären. Neufahrzeuge mit Emissionsstufe Euro VI C und D weisen erkennbar niedrigere Emissionen als der Emissionsstufe entsprechende Fahrzeuge mit höherer Laufleistung auf, da die Abgasnachbehandlung noch nicht gealtert ist und somit noch optimal funktioniert (siehe Kapitel 2.4.2). Zudem ist anzumerken, dass das Emissionsniveau von Neufahrzeugen mit Emissionsstufe Euro VI C im Bereich von gealterten Fahrzeugen mit Emissionsstufe Euro VI D liegt (siehe Kapitel 2.4.1).

2.2 Emissionsgrenzwerte

Die Emissionsgrenzwerte für Euro VI SNF sind in der Verordnung (EG) 595/2009 festgeschrieben und in folgender Tabelle dargestellt:

Tabelle 2: Euro VI Grenzwerte Motorprüfstand

Testzyklus	CO	THC	NOx	NH ₃	PM	PN
	mg/kWh	mg/kWh	mg/kWh	Ppm	mg/kWh	#/kWh
WHSC	1 500	130	400	10	10	8x10 ¹¹
WHTC	4 000	160	460	10	10	6x10 ¹¹

Um die Schadstoffemissionen von schweren Nutzfahrzeugen gegenüber den Euro VI Grenzwerten zu prüfen, werden sowohl Tests am Motorprüfstand als auch im realen Straßenverkehr durchgeführt. Bei älteren Emissionsstufen als Euro VI wurden ausschließlich Tests am Motorprüfstand durchgeführt.

Neben den Schadstoffkonzentrationen und dem Abgasmassenstrom, aus denen die Emissionsmassen berechnet werden, wird auch noch die verrichtete Arbeit aufgezeichnet. Damit kann die Emissionsmasse auf die geleistete Arbeit in Gramm je Kilowattstunde (g/kWh) bezogen und mit den Grenzwerten verglichen werden. Diese Methode ermöglicht durch die Normierung anhand der geleisteten Arbeit die Verwendung einheitlicher Tests und Grenzwerte unabhängig von Hubraum und Nennleistung des Motors, welche durch die große Bandbreite an verschiedenen LKW stark variieren können. Die Motorspezifikationen zwischen zum Beispiel Sattelzugmaschinen mit einer höchstzulässigen Gesamtmasse von 40 Tonnen und Verteiler-LKW mit einer höchstzulässigen Gesamtmasse von 7,5 Tonnen sind sehr unterschiedlich.

Bei der Euro VI Typprüfung am Motorprüfstand werden zwei Testzyklen durchfahren. Beim World Harmonized Stationary Cycle (WHSC) werden 14 Stationärpunkte gleichmäßig verteilt über das gesamte Motorkennfeld angefahren und der World Harmonized Transient Cycle (WHTC) stellt einen transienten Zyklus dar. Bei diesem transienten Test, dem WHTC, wird der Testzyklus, der aus einem Stadt-, einem Überland- und einem Autobahnteil besteht und 1 800 Sekunden dauert, zweimal durchlaufen. Der erste Durchlauf (Phase 1) wird kaltgestartet. Nach einer zehnmütigen Motorstillstandsphase wird der Zyklus nochmal durchfahren (Phase 2). Bei der Ermittlung des finalen Testergebnisses, welches dann mit den Grenzwerten verglichen wird, wird die Kaltstartphase mit 14 % und die Warmphase mit 86 % gewichtet. Durch diese Testprozedur mit stationären und transienten Testzyklen werden alle für schwere Nutzfahrzeuge relevanten Betriebsbereiche getestet.

Zudem werden die Emissionen noch im Realfahrbetrieb im Straßenverkehr mittels On-Board Tests in sogenannten ISC-Tests geprüft. Solche ISC Tests beinhalten ebenso einen Stadt-, einen Überland- und einen Autobahnteil und können mehr als drei Stunden andauern. Da die Fahrten im Realbetrieb transiente Betriebsbedingungen repräsentieren, gelten für diese auch die WHTC-Grenzwerte. Da die portablen Emissionsmessgeräte (PEMS) aber nicht die gleiche Messgenauigkeit wie unter Laborbedingungen, also am Motorprüfstand, gewährleisten können, werden die Limits für die ISC-Grenzwerte¹ noch mit einem Konformitätsfaktor (CF-Faktor) multipliziert. Die für ISC-Tests gültigen Grenzwerte sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 3: Euro VI Grenzwerte ISC-Tests [1]

	CO	THC	NOx	PN ²
CF-Faktor	1,50	1,50	1,50	1,63
ISC-Grenzwert [mg/kWh, #/kWh]	6 000	240	690	9,78x10 ¹¹

2.3 Randbedingungen ISC-Tests Subkategorien Euro VI

In diesem Abschnitt werden die für das Realemissionsverhalten von SNF relevanten Änderungen zwischen den verschiedenen Subkategorien der Emissionsstufe Euro VI dargestellt.

2.3.1 Schwellwert für durchschnittliche Leistung der MAWs

Bei der Einführung von Euro VI D wurde unter anderem der Schwellwert für die Gültigkeit der sogenannten „Moving Average Windows“ (MAW)³ hinsichtlich durchschnittlicher Motorleistung von 20 %⁴ auf 10 % herabgesetzt [3]. Studien zeigen, dass eine durchschnittliche Motorleistung von 20 % in einem MAW im Normalfall genügend Abgasenthalpie mit sich bringt, damit der SCR-Katalysator sein Betriebstemperaturfenster erreicht und die NOx-Emissionen Euroeffektiv reduziert werden können. Bei einer durchschnittlichen Leistung von 10 % reicht die Abgasenthalpie und -temperatur im Normalfall dafür nicht mehr aus und ein effektiver Betrieb des SCR-Katalysators kann nur durch zusätzliche Heizmaßnahmen sichergestellt werden. Zudem muss ab Euro VI D mindestens ein gültiges MAW komplett in Bereich Stadtfahrt liegen. [1][4]

Um ein positives Abschneiden bei ISC-Tests ab Emissionsstufe Euro VI D zu gewährleisten, verfügen diese Fahrzeuge deshalb über zusätzliche Heizmaßnahmen und reduzieren die NOx-Emissionen bei niederlastigen Bedingungen, hauptsächlich Stadtfahrt, Stau, längere Leerlaufphasen etc., effektiver als vorangegangene Euro VI Stufen. Das verbesserte Gesamtsystem zur Abgasnachbehandlung führt aber auch zu geringeren Emissionen bei höherer Last, wie z.B. bei Autobahnfahrten. Mit der Einführung von Euro VI D sanken die NOx-Emissionen im Realbetrieb im Vergleich zu Euro

¹ Die ISC-Grenzwerte sind für alle Subkategorien von Euro VI konstant.

² Der PN-Grenzwert bei ISC-Tests ist erst ab Euro VI E gültig.

³ Zu jeder Sekunde wird ein neues MAW gestartet. Ein MAW endet, wenn die fahrzeugspezifische Arbeit des WHTC, dem gesetzlichen Zertifizierungszyklus am Motorprüfstand für Euro VI, geleistet wurde. Für jedes Fenster werden dann die Emissionen in g/kWh berechnet. Für einen gültigen Test müssen mindestens 50 % der MAWs gültig sein. Dazu muss unter anderem eine von der Euro VI Subkategorie vorgegebene Durchschnittsleistung in einem MAW überschritten werden.

⁴ Der Schwellwert wird in 1 % Schritten herabgesetzt, falls nicht wie erforderlich 50 % der MAWs gültig sind, bis die 50 % Grenze überschritten wird. In keinem Fall darf er aber 15 % unterschreiten, ansonsten ist der Test ungültig. [3]

VI A, B und C somit merklich. Im Handbuch Emissionsfaktoren für den Straßenverkehr (HBEFA)⁵, welches das Realemissionsverhalten darstellt, werden Euro VI SNF deshalb in zwei Gruppen unterteilt: Euro VI ABC und Euro VI DE. [1]

2.3.2 Fahrzeugbeladung

Mit der Implementierung von Euro VI C änderte sich die vorgegebene Beladung bei ISC-Tests vom Bereich 50 bis 60 % zum Bereich 10 bis 100 %. Diese größere Spanne an möglichen Beladungen kann die durchschnittliche Motorlast während eines ISC-Tests beeinflussen und ermöglicht somit eine größere Varianz an gültigen Betriebssituationen. [3]

Da sich der Leistungsschwellwert für gültige MAWs im Vergleich zu Euro VI A und B aber nicht geändert hat, ändern sich die Randbedingungen für die Gültigkeit von Niederlastfahrsituationen, welche hinsichtlich NOx bei Euro VI SNF am kritischsten zu erachten sind, mit Euro VI C nicht. Die Auswirkungen auf das Realemissionsverhalten durch diese Maßnahme sind somit als gering zu bewerten. Dass Euro VI A, B und C im HBEFA in einer Gruppe zusammengefasst werden, bestätigt das. [1]

Ab Euro VI D wirken dann aber die niedrigeren Schwellwerte für gültige MAWs zusammen mit einer zulässigen geringeren (und höheren) Beladung, so dass die Abgasnachbehandlung insgesamt in weiteren Betriebsbereichen optimal arbeiten muss.

2.3.3 Streckenkriterien

Mit Euro VI D wurden die Routenkriterien für gültige ISC-Testfahrten für Fahrzeuge der gesetzlichen Fahrzeugkategorie N3 hinsichtlich der Anteile von Stadt, Überland und Autobahn angepasst. Folgend werden diese Änderungen dargestellt. [3]

Tabelle 4: Streckenkriterien ISC-Tests Euro VI für die Fahrzeugkategorie N3

Emissionsstufe	Stadtanteil	Überlandanteil	Autobahnanteil
Euro VI A, B und C	20 %	25 %	55 %
Euro VI D und E	30 %	25 %	45 %

Diese Maßnahme führt zu einer höheren Gewichtung des NOx-kritischen niederlastigen Stadtteils. In Kombination mit der Absenkung des Schwellwerts für die Gültigkeit der MAWs bei Euro VI D wird die Gewichtung des emissionskritischeren Stadtteils höher. Diese Maßnahme verstärkt somit die Wirkung von Euro VI D insbesondere in Bezug auf die NOx-Emissionen.

2.3.4 Kaltstart

Ab Euro VI E werden auch die Kaltstartemissionen in die Auswertung der ISC-Tests miteinbezogen. Dabei wird der Kaltstartteil gleich wie bei der Auswertung des WHTC⁶ mit 14 % und die Warmemissionen mit 86 % gewichtet. Die Berechnung der MAWs für den Kaltstartteil startet ab einer Kühlwassertemperatur von 30°C oder spätestens nach

⁵ Das HBEFA ist eine Datenbank, die Europäische Durchschnittswerte für das Realemissionsverhalten von allen relevanten Emissionsstufen und Fahrzeugkategorien, vom Motorrad bis zum 90 Tonnen-LKW, in allen möglichen Fahrsituationen beinhaltet [5].

⁶ Der WHTC ist der gesetzlich vorgeschriebene Zertifizierungszyklus für Euro VI Fahrzeuge am Motorprüfstand. Dieser wird zweimal durchfahren. Der erste Teil wird dabei kaltgestartet und mit 14 % gewichtet und der folgende warme Teil mit 86 %.

10 Minuten Testdauer. Der Warmteil beginnt dann ab einer Kühlwassertemperatur von 70°C. [2]

Die Einbeziehung des Kaltstarts bringt verbesserte Heizmaßnahmen mit sich und somit ein schnelleres Aufwärmen der Abgasnachbehandlung. Dies hat somit wieder hauptsächlich auf die Realemissionen in niederlastigen Fahrsituationen Einfluss, aber durch das verbesserte Gesamtsystem zur Abgasnachbehandlung verringern sich die Realemissionen auch in allen anderen Fahrsituationen. In den laufenden Arbeiten für das HBEFA 5.1 wird untersucht, ob sich dadurch das Realemissionsverhalten merklich ändert und ob die Gruppe Euro VI DE in Euro VI D und Euro VI E aufgeteilt werden muss.

2.3.5 Partikelmessung On-Board

Mit der Einführung von Euro VI E wurde die Partikelmessung für ISC-Tests verpflichtend. Bei den vorigen Euro VI Subkategorien war nur die Messung der gasförmigen Komponenten vorgeschrieben. [2]

Diese Maßnahme sollte zu verbesserten Partikelfiltersystemen führen. Zudem kann eine verbesserte Regelung der AdBlue-Dosierung erwartet werden, um Ammoniakpartikel zu verhindern. Die Auswirkungen auf das Realemissionsverhalten und eine mögliche Aufteilung von Euro VI DE in Euro VI D und Euro VI E werden derzeit in den Arbeiten zum HBEFA 5.1 untersucht.

2.4 Emissionsfaktoren Euro VI

Dieses Kapitel stellt die Realemissionen in Form von Emissionsfaktoren laut HBEFA, also die Emissionen im Realbetrieb des durchschnittlichen Europäischen Straßenverkehrs, dar. Als erstes werden Neufahrzeuge betrachtet und dann wird noch die Auswirkung der laufeleistungsabhängigen Alterung auf die Emissionen gezeigt.

Im HBEFA wird die Emissionsstufe Euro VI in zwei Gruppen unterteilt: Euro VI ABC und Euro VI DE. Diese Unterteilung wurde aufgrund der geänderten Testbedingungen für ISC, nämlich der Herabsetzung des Schwellwerts für die Leistung von gültigen MAWs zusammen mit der dann relevant werdenden niedrigeren zulässigen Beladung und höheren Stadtfahranteilen eingeführt. Diese Änderungen sind in Kapitel 2.3 genauer beschrieben. Im Folgenden werden die Emissionsfaktoren für die aufgrund der gefahrenen Kilometerleistung repräsentativste Fahrzeugkategorie, Fernverkehrsfahrzeuge mit einer höchstzulässigen Gesamtmasse von 40 Tonnen (TT/AT 34-40t), für diese beiden Gruppen dargestellt. Die betrachtete Fahrsituation stellt eine typische österreichische Autobahnfahrt dar. Die Emissionsfaktoren werden jeweils in g/km, also bezogen auf die Fahrstrecke, und in g/kWh, also bezogen auf die geleistete Motorarbeit, dargestellt. Die Einheit g/kWh erlaubt einen indikativen Vergleich zum ISC-Grenzwert⁷.

2.4.1 Emissionsfaktoren Euro VI – Neufahrzeuge

Dieser Teil enthält die Emissionsfaktoren für Neufahrzeuge. Neufahrzeuge sind im HBEFA mit einer Laufleistung von bis zu 50 000 km definiert.

In der folgenden Graphik sind die NO_x-Emissionen dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Emissionen der Euro VI DE Fahrzeuge um 43 % niedriger als die der Euro VI ABC Fahrzeuge sind. Beim indikativen Vergleich mit dem Grenzwert für ISC-

⁷ Da die durchschnittliche Fahrsituation Autobahn die ISC-Kriterien nicht erfüllt, können die Emissionsfaktoren nicht direkt mit den Grenzwerten verglichen werden. Ein indikativer Vergleich ist aber möglich.

Tests (0,69 g/kWh), welche aus Stadt-, Überland- und Autobahnteil bestehen (siehe Kapitel 2.2), liegen beide Fahrzeugkategorien aber darunter. Durch die hohe Relevanz der Umweltbelastung durch NOx ist dieser Unterschied als relevant einzustufen.

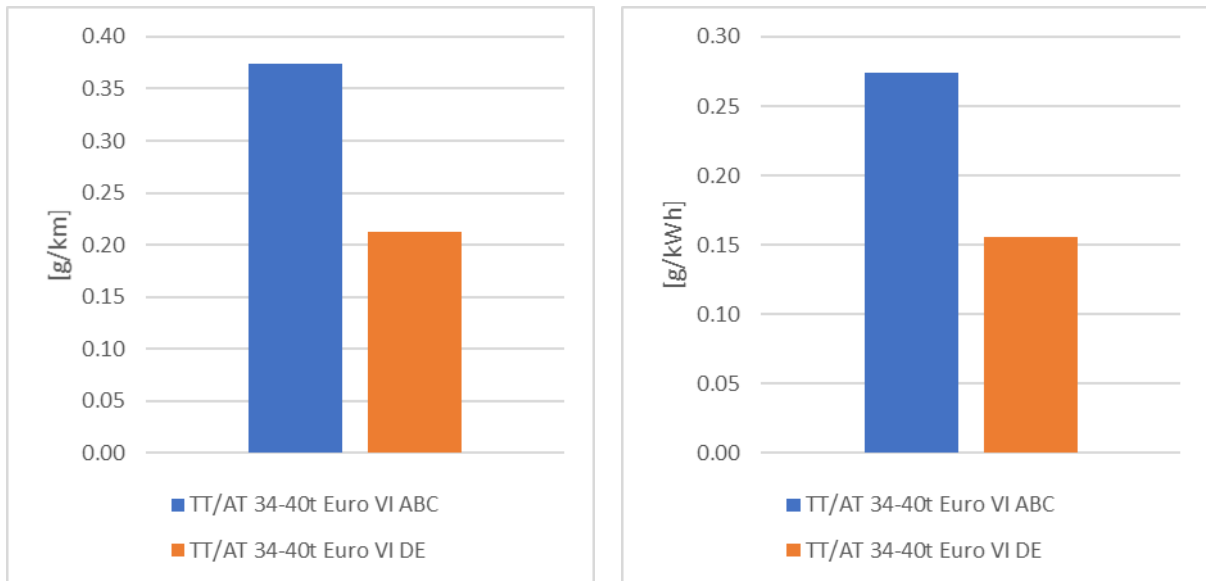


Abbildung 2: Mittlere NOx-Emissionen Neufahrzeuge der Nutzfahrzeug Gruppe 5 (Sattel- und Lastzüge bis 40 t maximal zulässigem Gesamtgewicht)

2.4.2 Alterungsfaktoren Euro VI

Mechanische, chemische und thermische Alterungseffekte reduzieren die Konvertierungsraten der Katalysatoren im Abgasnachbehandlungssystem und erhöhen somit den Schadstoffausstoß. Mit steigendem Alter und erhöhter Fahrleistung verstärken sich diese Effekte. Im Folgenden sind die Alterungsfaktoren aus dem HBEFA für NOx für die beiden unterschiedlichen Emissionsstufen für die Verkehrssituation Autobahn dargestellt. Um die tatsächlichen Emissionsfaktoren bei einer bestimmten Laufleistung zu erhalten, werden die Emissionsfaktoren der Neufahrzeuge dann mit diesen multipliziert.

Für die Kategorie Euro VI DE waren bei Erstellung der aktuellen Version des HBEFA (Version 4.2) im Jahr 2021 noch keine Messdaten zu Fahrzeugen mit erhöhter Laufleistung vorhanden, da die Fahrzeuge aufgrund des zum Zeitpunkt der Messdatensammlung erst etwa zwei Jahre zurückliegenden Einführungsdatums noch nicht in der Flotte waren und somit nicht gemessen werden konnten. Die Alterungsfaktoren sind für diese Gruppe deshalb gleich wie bei Euro VI ABC angenommen. Diese zeigen, dass sich die Emissionsfaktoren von Neufahrzeugen für NOx aufgrund der laufeisungsabhängigen Reduktion der Effektivität der Katalysatoren im Bereich der normalen Laufleistung von Fernverkehrsfahrzeugen in Europa mehr als verdoppeln [1]. Aktuell laufende Forschungsarbeiten für die folgende Version des HBEFA zeigen sogar, dass die Alterungsfaktoren und somit die laufeisungsabhängige Emissionserhöhungen für die Kategorie Euro VI DE im Vergleich zu Euro VI ABC auf keinen Fall geringer, eher höher sein werden.

Tabelle 5: Alterungsfaktoren Euro VI für Fernverkehrsfahrzeuge

Laufleistung [km]	Alterungsfaktor NOx	
	Euro VI ABC	Euro VI DE
0	1,00	1,00
200 000	1,37	1,37
400 000	1,74	1,74
600 000	2,11	2,11
800 000	2,48	2,48

Um diese Laufleistungszahlen zu veranschaulichen wird ein Fahrzeug mit einem Alter von zwei Jahren herangezogen. Laut HBEFA hat ein Fernverkehrsfahrzeug im Alter von 2 Jahren eine Laufleistung von knapp 210 000 km [5]. Diese Laufleistung hat im Flottendurchschnitt eine Emissionserhöhung bei NOx von etwa 40 % zur Folge. Dies zeigt den signifikanten Einfluss des Fahrzeugalters auf das Emissionsverhalten. Zudem wird damit dargelegt, dass eine Stichtagsregelung sinnvoll ist, weil dadurch prinzipiell ältere Fahrzeuge mit laufleistungsbedingt erhöhten Emissionen unabhängig von der Emissionsstufe ausgeschlossen werden.

2.4.3 Emissionsfaktoren Euro VI – aktuelle Flotte

In der aktuellen Flotte (2024) haben Fernverkehrsfahrzeuge der Emissionsstufe Euro VI ABC in Österreich im Durchschnitt eine Laufleistung von 656 000 km und Fahrzeuge der Emissionsstufe Euro VI DE 265 000 km. Die Laufleistung von Euro VI DE Fahrzeugen ist geringer, weil diese aufgrund der späteren Einführung dieser Emissionsstufe noch jünger sind und somit noch nicht so viel gefahren wurden.

Fahrzeuge der Emissionsstufe Euro VI DE haben in der aktuellen Flotte um 61 % geringere NOx-Emissionen als Fahrzeuge der Emissionsstufe Euro VI ABC. Die Euro VI DE Emissionen liegen deutlich unter dem ISC-Grenzwert (0,69 g/kWh), die von Euro VI ABC nur noch knapp. Die Euro VI ABC Flotte kann somit als merklich umweltschädlicher als die Euro VI DE Flotte eingestuft werden.

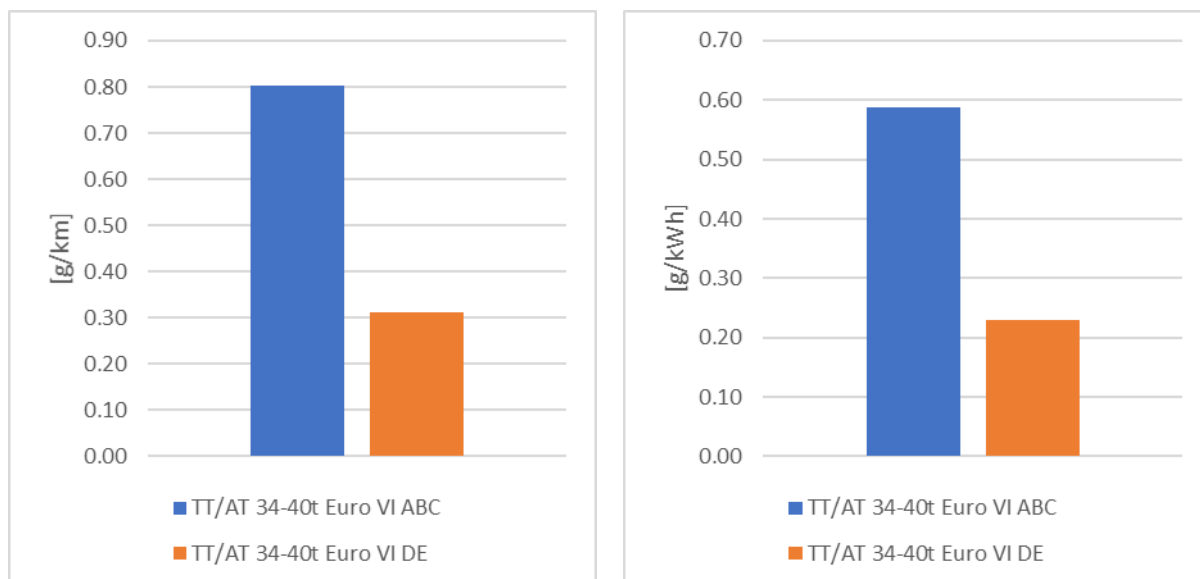


Abbildung 3: NOx-Emissionen aktuelle Flotte inklusive Alterungseffekte

3 Zusammenfassung

Die Stichtagsregelung für ein sektorales Fahrverbot mit 31.08.2018 schließt Fahrzeuge älter als Euro VI und solche mit Emissionsstufe Euro VI A und B zur Gänze aus. Fahrzeuge mit Emissionsstufe Euro VI C werden größtenteils ausgeschlossen. D.h. die Flotte besteht damit hauptsächlich aus Fahrzeugen der Emissionsstufe Euro VI D und E. Da die NO_x-Emissionen von Euro VI D und E Nutzfahrzeugen um ca. 60% niedriger als die der Abgasklassen Euro VI A, B und C sind, wird der Schadstoffausstoß von LKW durch die Stichtagsregelung effektiv reduziert.

Zudem werden durch die Stichtagsregelung Fahrzeuge mit höherem Alter und somit höherer Laufleistung ausgeschlossen. Chemische, thermische und mechanische Alterungseffekte reduzieren die Konvertierungsraten der Katalysatoren im Abgasnachbehandlungssystem und erhöhen somit den Schadstoffausstoß. Nach 200 000 km Fahrleistung erhöhen sich die NO_x-Emissionen um 37 % und nach 600 000 km sind diese bereits mehr als doppelt so hoch wie bei einem Neufahrzeug im Fernverkehr. Diese laufleistungsbedingten Alterungseffekte treten unabhängig von der Euro VI Stufe auf. Unter Einbeziehung der durchschnittlichen jährlichen Fahrleistung von Lkw in Österreich beträgt die NO_x-Erhöhung bei einem zwei Jahre alten Fahrzeug im Fernverkehr somit etwa 40 %. Die Stichtagsregelung trägt somit auch in diesem Punkt zu einer Verringerung der Schadstoffemissionen von LKW bei.

Nach Stichtag 31.08.2018 sind allerdings sicher noch Euro VI C Nutzfahrzeuge neu zugelassen worden, da dieser Stichtag nur für neue Typen gilt. Eine exakte Statistik zu den Zulassungszahlen nach Monaten liegt nicht vor. Aus den jährlichen Bestandstatistiken der offiziellen österreichischen Luftschadstoffinventur [6] ergeben sich aber ca. 17,5% des Bestandes an EURO VI ABC, welche als EURO VI C nach Stichtag 31.08.2018 zugelassen wurden.

Nach dem 31.08.2019 konnten Euro VI C nur mit Ausnahmegenehmigungen neu zugelassen werden. Würde man den Stichtag in § 4 Abs. 1 lit. e Sektorales Fahrverbot-Verordnung mit diesem Datum festsetzen, wäre bereits eine relevante Menge Euro VI D vom Sektorales Fahrverbot betroffen, was saubere Fahrzeuge ausschließen würde, wenn mit deren niedrigerem NO_x-Emissionsniveau argumentiert wird.

4 Literatur

- [1] B. Notter, B. Cox, S. Hausberger, K. Weller, et al.: HBEFA 4.2, Documentation of updates, Bern/Graz/Heidelberg/Lyon/Göteborg, 2022
- [2] COMMISSION REGULATION (EU) 2019/1939
- [3] COMMISSION REGULATION (EU) 2016/1718
- [4] K. Weller, et al.: Emission behaviour of recent EURO VI HDVs from chassis dyno and PEMS Tests, Graz University of Technology, TAP conference 2021, Graz
- [5] www.hbefa.net
- [6] M. Schwingshackl, M. Rexeis: Straßenverkehrsemissionen und Emissionen sonstiger mobiler Quellen Österreichs für die Jahre 1990 bis 2022 (OLI2023), Erstellt im Auftrag der Umweltbundesamt GmbH.; TU Graz, 2023