

Minderung der Stickstoffoxid-Emissionen durch Softwareupdates an Diesel-Pkw

Empfehlungen zur Nutzung von Minderungsfaktoren für Stickstoffoxid-Emissionen von Pkw mit Dieselmotor der Abgasnormen Euro 5 und Euro 6 in Folge von Softwareupdates

Zusammenfassung

Softwareupdates können die Stickoxid-Emissionen von Diesel-Pkw wirksam reduzieren. Für die Berücksichtigung von weiteren Softwareupdates bei der Bestimmung von Emissionen des Straßenverkehrs – über Diesel-Pkw mit dem Motortyp EA 189 hinaus – wird durch das Umweltbundesamt (UBA) die Verwendung einer Minderung von 42 Prozent für Diesel-Pkw Euro 5 und 49 Prozent für Diesel-Pkw Euro 6a/b empfohlen. Diese Vorgehensweise gilt nur für die aktuelle Version 4.1 des Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA), in zukünftigen HBEFA-Versionen werden die Wirkungen der weiteren Softwareupdates integriert sein.

Die ausgewiesenen Minderungen für betroffene Fahrzeuge mit Software-Update genügen den Anforderungen an die Verwendung im HBEFA. Sie wurden für den betriebswarmen Motor sowohl über den in Deutschland durchschnittlich auftretenden Temperaturverlauf als auch die durchschnittlich auftretenden Verkehrssituationen gemittelt bestimmt.

Grundlage waren die Emissionsfaktoren aus dem vom Umweltbundesamt beauftragten Projekt „Ermittlung von Emissionsfaktoren für Diesel-Pkw mit Softwareupdate (EFA-SU)“. Dafür wurden Messungen des Kraftfahrt-Bundesamtes, der Deutschen Umwelthilfe e.V. und der Technischen Universität Dresden, letztere im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführt, an insgesamt 33 Diesel-Pkw ausgewertet.

Es wird empfohlen, die genannten Minderungen nur für 1,6 Mio. betroffene Diesel-Pkw – davon rund 0,6 Mio. für Euro 5 und 1,0 Mio. für Euro 6 – der zugeordneten Cluster zu verwenden. Deren Bestandsentwicklung und die Umsetzung der Softwareupdates an den betroffenen Fahrzeugen sind zu berücksichtigen. Entsprechende Empfehlung zur Umsetzung der Softwareupdates an den 1,6 Mio. Diesel Pkw werden im Folgenden formuliert.

1 Einleitung

Die Stickstoffoxid-Emissionen (NO_x-Emissionen) von Pkw mit Dieselmotor konnten durch die durchgeführten Softwareupdates teilweise deutlich verringert werden. Softwareupdates erfolgten bei verschiedenen Fahrzeugherstellern sowohl nach verpflichtenden Rückrufen als auch durch freiwillige Servicemaßnahmen (KBA 2020). Verpflichtende Rückrufe betreffen vorrangig Fahrzeuge des VW Konzerns mit dem Motortyp EA 189, aber auch Fahrzeuge weiterer Hersteller wie beispielsweise Mercedes.

Für eine Berücksichtigung der Wirkung der Softwareupdates für die nationale und internationale Emissionsberichterstattung oder die Erstellung von Luftreinhalteplänen ist es notwendig, diese Minderungen der NO_x-Emissionen zu quantifizieren. Daraus ergeben sich Anforderungen an die Qualität der notwendigen Emissionsfaktoren (UBA 2017). Grundlage entsprechender Berechnungen ist in Deutschland im Allgemeinen das Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA). Die aktuelle HBEFA-Version 4.1 liefert für Diesel-Pkw mit dem Motor EA 189 Emissionsfaktoren vor und nach Softwareupdates. Für weitere Softwareupdates an anderen Motoren bzw. Fahrzeuge anderer Hersteller war eine Integration aufgrund fehlender Emissionsdaten und unzureichenden Informationen zu den Minderungen und zur Anzahl betroffener Fahrzeuge zum Zeitpunkt der Veröffentlichung von HBEFA 4.1 nicht möglich.

In einem vom Umweltbundesamt (UBA) beauftragten Projektes wurde neu vorliegende Messdaten ausgewertet und eine für die Datenlage angepasste Methodik zur Bestimmung der Emissionsfaktoren entwickelt, so dass Emissionsfaktoren getrennt für Diesel-Pkw der Abgasnormen Euro 5 und Euro 6 bestimmt werden konnten (Dippold und Hausberger 2021). Grundlage waren Daten des Kraftfahrt-Bundesamtes (KBA), der Deutschen Umwelthilfe e. V. (DUH) und der Technische Universität Dresden (TU Dresden)¹ zur Minderung der NO_x-Emissionen durch Softwareupdates für 33 Fahrzeuge. Die Daten wurden entweder durch Messungen im realen Betrieb mit portabler Messtechnik (engl. *Portable Emission Measurement System* / PEMS) bei unterschiedlicher Umgebungstemperatur oder auf dem Rollenprüfstand im WLTC-Fahrzyklus bestimmt. Die mit der Methodik bestimmten Emissionsfaktoren liegen für den in Deutschland maßgeblich relevanten Temperaturbereich und aufgeschlüsselt für die verschiedenen Verkehrssituationen (innerorts, außerorts und Autobahn) vor. Eine Integration der Emissionsfaktoren für Diesel-Pkw mit Softwareupdates bei betriebswarmem Motor in die nächste Version des HBEFA ist geplant.

2 Minderung der Stickstoffoxid-Emissionen

Im vom UBA beauftragten Projekt „Ermittlung von Emissionsfaktoren für Diesel-Pkw mit Softwareupdate (EFA-SU)“ wurden NO_x-Emissionsfaktoren für Diesel-Pkw jeweils für die Abgasnormen Euro 5 und 6a/b vor und nach Softwareupdate für den betriebswarmen Zustand erstellt (Dippold und Hausberger 2021).

In Abbildung 1 und Abbildung 2 sind die durchschnittlichen NO_x-Emissionen in Milligramm pro gefahrenem Kilometer der von Updates betroffenen Diesel-Pkw als Funktion der Umgebungstemperatur jeweils vor und nach Softwareupdate dargestellt. Dabei zeigt Abbildung 1 die Ergebnisse für Euro 5- und Abbildung 2 die für Euro 6a/b-Diesel-Pkw. Ergänzend enthalten die Abbildungen den Verlauf der NO_x-Emissionen für die Schicht aller Fahrzeuge dieser Abgasnormen entsprechend des Verkehrssituationsmix nach HBEFA 4.1² zum Vergleich.

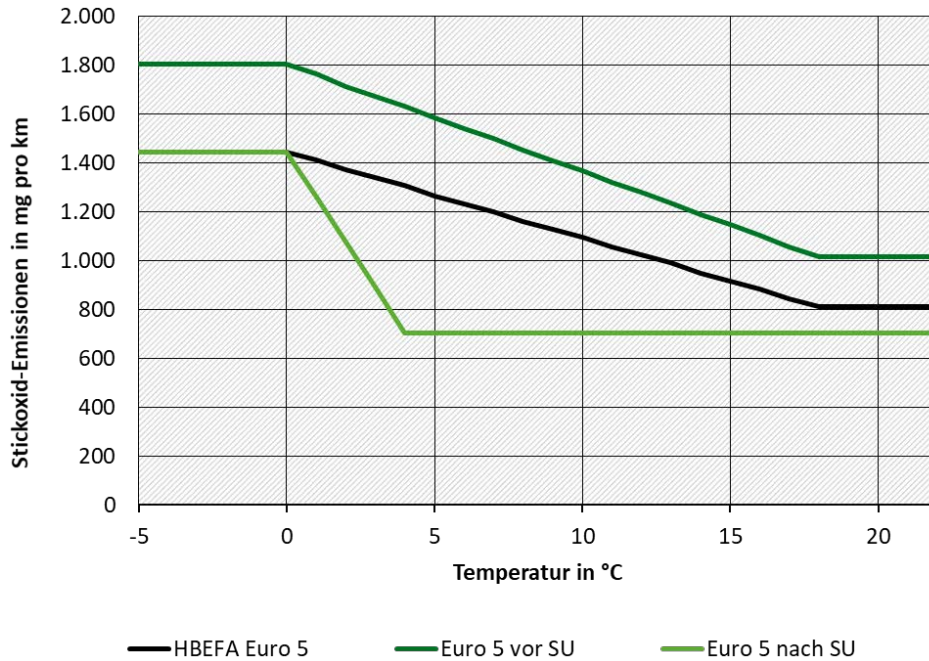
¹ Messungen der TU Dresden im Auftrag des Umweltbundesamtes im Rahmen des UBA-Messprogramms, Projektnr. 99180.

² Für Euro 5 werden Fahrzeuge mit dem Motor EA 189 in diesem Mittelwert nicht mehr berücksichtigt.

Die Fahrzeuge mit Softwareupdate sind in der dieser Schicht aller Fahrzeuge jedoch auch enthalten.³

Abbildung 1: Stickstoffoxid-Emissionen von Diesel-Pkw der Abgasnormen Euro 5 für Pkw

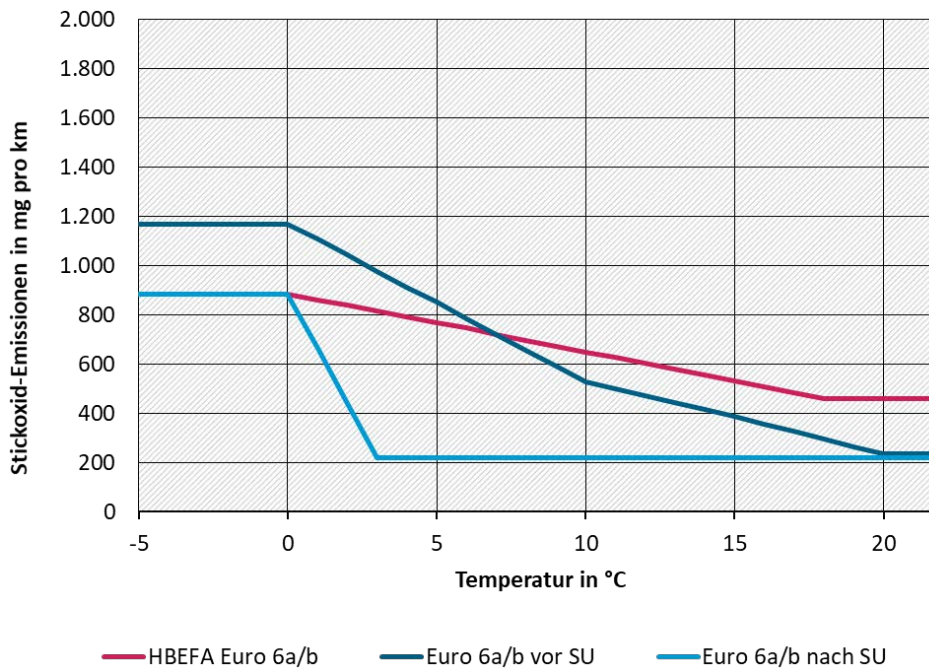
Durchschnittliche Verkehrssituationen in Deutschland entsprechend HBEFA 4.1



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von (Dippold und Hausberger 2021), UBA 2021

Abbildung 2: Stickstoffoxid-Emissionen von Diesel-Pkw der Abgasnormen Euro 6a/b

Durchschnittliche Verkehrssituationen in Deutschland entsprechend HBEFA 4.1



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von (Dippold und Hausberger 2021), UBA 2021

³ Die Korrektur des Emissionsfaktors der Fahrzeuge ohne Softwareupdate wird erst mit der Integration in HBEFA berücksichtigt werden können.

Die NO_x-Emissionen von den von Softwareupdates betroffenen Euro 5-Diesel-Pkw sind vor den Softwareupdates leicht höher als die durchschnittlichen Emissionen der gesamten Euro 5-Diesel-Pkw ohne EA 189 aus HBEFA 4.1. Dabei zeigen die Emissionen mit steigender Umgebungstemperatur einen ähnlichen Verlauf. Nach den Softwareupdates liegen die NO_x-Emissionen deutlich niedriger und zeigen oberhalb von 5 °C keine Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur (auf Basis der WLTC-Daten). Für niedrigere Temperaturen wird angenommen, dass die Emissionen sich dem Niveau der Durchschnittsflotte annähern und sich unter 0 °C gleichen, nicht jedoch auf das Niveau vor Softwareupdate (Dippold und Hausberger 2021).

Von den Softwareupdates betroffene Euro 6a/b-Diesel-Pkw stoßen sowohl vor als auch nach dem Softwareupdate bei Umgebungstemperaturen über 7 °C durchschnittlich weniger NO_x aus als die gesamten Euro 6a/b-Diesel-Pkw. Zwischen 0 und 7 °C wiesen die Pkw vor dem Softwareupdate signifikant höhere NO_x-Emissionen auf als der Euro 6a/b-Durchschnitts-Diesel-Pkw aus HBEFA 4.1. Nach den Softwareupdates zeigen die Emissionen im Bereich oberhalb von 3 °C keine Temperaturabhängigkeit (auf Basis der WLTC-Daten). Wie für Euro 5 wird für niedrigere Temperaturen unter 5 °C angenommen, dass die Emissionen sich dem Niveau der Durchschnittsflotte annähern und unter 0 °C gleich sind.

Zur Ermittlung der über die Umgebungstemperatur gemittelte NO_x-Minderung durch die Softwareupdates wird berücksichtigt, bei welchen Temperaturen welcher Anteil der Fahrleistung erbracht wird (Keller et al. 2017). 90 Prozent der Fahrleistung wird in Deutschland bei durchschnittlichen Temperaturen zwischen 0 °C und 20 °C erbracht. Unter 5 °C sind es 27 Prozent.

Für von weiteren Softwareupdates betroffenen Diesel-Pkw (Motoren außer Motortyp EA 189 sowie andere Hersteller) ergeben sich dadurch folgende NO_x-Emissionsminderungen für die in Deutschland durchschnittlichen Verkehrssituationen und den Durchschnittstemperaturverlauf (Dippold und Hausberger 2021):

- ▶ Diesel-Pkw Euro 5: Minderungen um 42 Prozent und
- ▶ Diesel-Pkw Euro 6a/b: Minderungen um 49 Prozent.

Die prozentualen Minderungen durch die Softwareupdates sind für Euro 6-Diesel-Pkw daher größer als für die weiteren Softwareupdates bei Euro 5. Die mit dieser Methode bestimmten NO_x-Minderungen für den durchschnittlichen Temperaturverlauf liegen damit in einer ähnlichen Höhe wie die vom KBA ausgewiesenen Minderungen als Durchschnittswerte der PEMS-Messungen (KBA 2020).

Bewertung der Belastbarkeit der NO_x-Minderungen

Die NO_x-Minderung für Euro 5 basiert auf PEMS-Messungen von neun Diesel-Pkw aus sieben Clustern. Die Minderungen werden auf sieben weitere Cluster mit einer geringeren Anzahl von Fahrzeugen übertragen. Für acht der neun Fahrzeuge liegen zusätzlich auch WLTC-Messungen zur Bestimmung der Temperaturabhängigkeit der NO_x-Emissionen vor. Die auf Basis der betroffenen Fahrzeuge in den Clustern gewichtete mittlere Messtemperatur der PEMS-Messungen liegt mit rund 20 °C am oberen Ende des Temperaturbereiches, indem die Fahrleistung erbracht wird. Die Messungen selbst decken jedoch einen deutlich breiteren Temperaturbereich ab. Durch die Lage der mittleren Temperatur bei rund 20 °C ist die bestimmte Minderung empfindlicher auf Ungenauigkeiten der Temperaturabhängigkeit der NO_x-Emissionen. Ein unterschätzter Anstieg der Emissionen mit abnehmender Temperatur könnte beispielweise dazu führen, dass bei niedrigen Temperaturen die Emissionen deutlich unterschätzt und die Minderungen deutlich überschätzt werden. Die Anzahl der Fahrzeuge

unterscheidet sich von Cluster zu Cluster stark. Dennoch wird die NO_x-Minderung nicht auffällig von wenigen Clustern dominiert. Es ist nicht so, dass die Cluster mit besonders vielen Fahrzeugen auffällig niedrigere oder höhere Minderungen aufweisen. Die Datengrundlage ist für den gewählten Ansatz abschließend ausreichend groß, um die Minderungen belastbar bestimmen zu können.

Die Minderung für Euro 6 basiert auf PEMS-Messungen von 24 Diesel-Pkw aus 20 Clustern und damit auf deutlich mehr Fahrzeugen. Die Minderungen werden auf elf weitere Cluster mit einer geringeren Anzahl von Fahrzeugen übertragen. Für sieben Fahrzeuge liegen zusätzlich auch WLTC-Messungen vor. Die auf Basis der betroffenen Fahrzeuge in den Clustern gewichtete mittlere Messtemperatur der PEMS-Messungen liegt mit rund 9 °C in der Mitte des Temperaturbereiches, indem die Fahrleistung erbracht wird. Dadurch kann die für den Temperaturverlauf bestimmte NO_x-Minderung belastbarer als bei der Euro-5-Minderung bestimmt werden. Die Anzahl der Fahrzeuge unterscheidet sich von Cluster zu Cluster ebenfalls stark. Dennoch wird die Minderung auch für Euro 6 nicht auffällig von wenigen Clustern dominiert. Die Datengrundlage ist für den gewählten Ansatz abschließend ausreichend groß, um für Euro 6-Diesel-Pkw die Minderungen durch die weiteren Softwareupdates bestimmen zu können.

Empfehlung

Es wird empfohlen, die Minderung von 42 Prozent (Euro 5) und 49 Prozent (Euro 6a/b) für die von den weiteren Softwareupdates betroffenen Diesel-Pkw anzuwenden, bis die hier ermittelten NO_x-Emissionsfaktoren für Softwareupdates in eine kommende HBEFA-Version integriert werden. Es wird nicht empfohlen, für einzelne Temperaturen aus den obenstehenden Abbildungen NO_x-Minderungen zu bestimmen und diese zu verwenden. Stattdessen wird ausschließlich empfohlen, nur den über den durchschnittlichen jährlichen Temperaturverlauf gemittelten prozentualen NO_x-Minderungswert zu verwenden. Auch wird bis zu einer Integration der Softwareupdates in das nächsten HBEFA-Version von einer Verwendung der in (Dippold und Hausberger 2021) separat ausgewiesenen NO_x-Minderungen für Fahrten innerorts, außerorts oder auf Autobahnen abgeraten.

3 Anzahl der Fahrzeuge mit Softwareupdate

Von den Softwareupdates mit den im vorherigen Abschnitt bestimmten NO_x-Minderungen für Euro 5- und Euro 6a/b-Diesel-Pkw sind nach Umsetzung der Maßnahme in Summe rund 1,6 Mio. Fahrzeuge betroffen, davon entfallen ca. 0,6 Mio. auf Diesel-Pkw der Abgasnorm Euro 5 und 1,0 Mio. auf Euro 6.⁴ Die Abdeckung der Fahrzeuge der verwendeten Cluster, für die Messungen vorliegen, beträgt für Euro 5 und Euro 6 jeweils rund 75 Prozent. Die NO_x-Minderungen werden daher für 0,4 Mio. Fahrzeuge (rund 25 Prozent) der 1,6 Mio. Diesel-Pkw übertragen.

Für verpflichtende Rückrufe erfolgt die Abarbeitung der Softwareupdates allgemein deutlich schneller als für freiwillige Softwareupdates. Für die Anwendung der ausgewiesenen prozentualen Werte für die NO_x-Minderungen ist es notwendig, für die verschiedenen Kalenderjahre jeweils die Anzahl von Fahrzeugen mit durchgeführten Softwareupdates getrennt für Euro 5 und Euro 6 zu kennen. Basierend auf Informationen zur bereits durchgeführten Umsetzung bzw. auf Annahmen zur weiteren Umsetzung der Softwareupdates, sind in Tabelle 1 die mittleren jährlichen Daten zur Fahrzeuganzahl dargestellt.

⁴ Am 1. Januar 2021 gab es rund 4,9 Mio. Euro 5-Diesel-Pkw und rund 4,3 Mio. Euro 6a/b/c-Diesel-Pkw im Bestand in Deutschland (KBA 2021).

Tabelle 1: Mittlere jährlich Anzahl von Euro 5- und Euro 6a/b-Diesel-Pkw mit Softwareupdates für die ausgewiesenen Minderungen, in Tausend

Eine Abnahme des Bestandes der Diesel-Pkw im zeitlichen Verlauf ist nicht berücksichtigt;
*Szenario-Schätzung

Jahr	Euro 5	Euro 6a/b
2019	130	354
2020	257	657
2021*	471	837
2022*	544	863
Betroffene Fahrzeuge	632	955

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von Daten des KBA, UBA 2021

Für das langfristige Potential wird von einer umfänglichen Umsetzung der Softwareupdates ausgegangen, sodass durchschnittlich 85 Prozent der Fahrzeuge in den Clustern von freiwilligen Servicemaßnahmen und 95 Prozent der Fahrzeuge in Clustern von verpflichtenden Rückrufen letztendlich ein Softwareupdate erhalten.⁵ Für 2021 wird angenommen, dass die Hälfte des langfristigen Potentials im Jahr 2021 wirksam wird und Ende des Jahres 2021 die Softwareupdates als vollständig umgesetzt angesehen werden, ohne das alle Fahrzeuge ein Softwareupdate erhalten.⁶ Im Jahr 2022 wird daher das volle Potential wirksam.

Empfehlung

Es wird empfohlen, nur für die in Tabelle 1 genannte Anzahl an Fahrzeuge unter zusätzlicher Berücksichtigung der (zukünftigen) Bestandsentwicklung der entsprechenden Schicht eine Minderung durch Softwareupdates zu berücksichtigen, bis eine Integration der ermittelten Emissionsfaktoren für weitere Fahrzeuge mit Softwareupdate in der nächsten HBEFA-Version erfolgt ist. Es wird nicht empfohlen, die gleiche Minderung für weitere Fahrzeuge aus anderen Clustern zu übernehmen, die nicht Teil der untersuchten Cluster waren. Grund ist, dass diese Softwareupdates in einem anderen Verfahren umgesetzt werden und die Minderungen dann auf zu viele unbekannte Cluster bzw. Fahrzeuge übertragen werden müssen. Von den Fahrzeugherstellern wurden deutlich mehr als 3,8 Mio. Softwareupdates angekündigt, die sich aus der Summe der 2,2 Mio. Fahrzeuge mit dem Motor EA 189 und den 1,6 Mio. Fahrzeugen, für die hier Minderungen bestimmt wurden, ergeben.

Quellenverzeichnis

Dippold und Hausberger (2021): Ermittlung von Emissionsfaktoren für Diesel-Pkw mit Softwareupdate (EFA-SU). Dippold, M. und Hausberger, S. Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik mbH, Graz im Auftrag des Umweltbundesamtes. Texte | 87/2021. Dessau-Roßlau.

KBA – Kraftfahrt-Bundesamt (Hrsg.) (2020): Wirksamkeit von Software-Updates zur Reduzierung von Stickoxiden bei Dieselmotoren. Download unter: https://www.kba.de/DE/Marktueberwachung/Abgasthematik/bericht_Wirksamkeit_SW_Updates.pdf? blob=publicationFile&v=4

⁵ Diese Annahme erscheint mit Informationen zur Abarbeitung von Clustern mit längerer Abarbeitungszeit plausibel.

⁶ Das vorher genannte Potential wird erreicht aber nicht überschritten.

KBA – Kraftfahrt-Bundesamt (Hrsg.) (2021): Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Bundesländern, Fahrzeugklassen und ausgewählten Merkmalen (FZ 27). 1. Januar 2021. Download unter:
https://www.kba.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ/2021/fz27_202101.xlsx?__blob=publicationFile&v=3

Keller, M. et al. (2017): HBEFA Version 3.3 – Hintergrundbericht. Keller, M.; Hausberger, S.; Matzer, C.; Wüthrich, P. und Notter, B. INFRAS, Bern, April 2017. Download unter:
https://www.hbefa.net/d/documents/HBEFA33_Hintergrundbericht.pdf

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2017): Hintergrundinformationen zum Handbuch für Emissionsfaktoren für Straßenverkehr (HBEFA). Dessau-Roßlau. Download unter:
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/dokumente/faqs_hbefa.pdf

Impressum

Herausgeber

Dr. Martin Lange, „Schadstoffminderung
und Energieeinsparung im Verkehr“
(I 2.2), Umweltbundesamt

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de
[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)
[t/umweltbundesamt](https://www.twitter.com/umweltbundesamt)

Stand: April/2021