

TEXTE

101/2025

Aktualisierte Bewertung von Emissionsminderungspotenzialen zusätzlicher Verkehrsmaßnahmen

Aktualisierung der Emissionsprojektionen des nationalen Luftreinhalteprogrammes

von:

Christoph Heidt, Michel Allekotte, Udo Lambrecht

Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg gGmbH, Heidelberg

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 101/2025

Projektnummer 193065

FB001825

Aktualisierte Bewertung von Emissionsminderungspotenzialen zusätzlicher Verkehrsmaßnahmen

Aktualisierung der Emissionsprojektionen des nationalen
Luftreinhalteprogrammes

von

Christoph Heidt, Michel Allekotte, Udo Lambrecht
Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg
gGmbH, Heidelberg

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

Durchführung der Studie:

Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg gGmbH
Wilckensstr. 3
69120 Heidelberg

Abschlussdatum:

April 2024

Redaktion:

Fachgebiet II 4.1 – Grundsatzfragen der Luftreinhaltung
Andreas Eisold, Johanna Appelhans

DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-7939>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, August 2025

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

Kurzbeschreibung: Aktualisierte Bewertung von Emissionsminderungspotenzialen zusätzlicher Verkehrsmaßnahmen

Die EU-NEC-Richtlinie (2016/2284) verpflichtet Mitgliedstaaten zur Reduktion der Emissionen von Stickstoffoxiden (NO_x), Schwefeloxiden (SO_x), flüchtigen organischen Verbindungen ohne Methan (NMVOC), Ammoniak (NH₃) und Feinstaub (PM_{2.5}) ab dem Jahr 2020 sowie 2030. Sie schreibt nationale Luftreinhalteprogramme (NLRP) vor, die mindestens alle vier Jahre zu aktualisieren sind. Alle zwei Jahre sind dazu aktualisierte Luftschadstoff-Emissionsprojektionen durch die Mitgliedstaaten an die EU zu berichten, zuletzt im März 2025. Das vorliegende Projekt diente der Aktualisierung der Projektionen im Bereich Verkehr und der Überprüfung des von der Bundesregierung im NLRP 2023 entwickelten Maßnahmenpakets Straßenverkehr (Einführung einer Euro-7-Norm, Ausweitung der Lkw-Maut, Förderung der Elektromobilität). Alle betrachteten Maßnahmen wurden als umgesetzt eingestuft und daher in den Projektionen im aktualisierten Szenario „mit Maßnahmen“ (WM – with measures) berücksichtigt. Zukünftig sinken die Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs trotz ansteigender Verkehrsleistungen (z. B. bei Stickstoffoxiden zwischen 2025 bis 2030 um 39 %), da der Anteil von Elektrofahrzeugen und neuen und emissionsärmeren Verbrennern zunimmt. Die untersuchten Maßnahmen tragen zu dieser Minderung bei, wenn auch in etwas geringerem Maß als noch im NLRP 2023 angenommen. Die zugrundeliegenden Modellierungen stützen sich auf die Modelle TREMOD und HBEFA.

Abstract: Aktualisierte Bewertung von Emissionsminderungspotenzialen zusätzlicher Verkehrsmaßnahmen

The EU NEC Directive (2016/2284) obliges member states to reduce nitrogen oxides (NO_x), sulphur oxides (SO_x), non-methane volatile organic compounds (NMVOC), ammonia (NH₃) and particulate matter (PM_{2.5}) from 2020 and 2030. It prescribes national air pollution control programmes (NAPCP), which are to be updated at least every four years. Every two years, air pollutant emission projections have to be reported to the EU by the member states, most recently in March 2025. The project served to update the projections for the transport sector and review the package of road transport measures developed by the German government in the NAPCP 2023 (introduction of a Euro 7 standard, expansion of the HGV toll, promotion of electromobility). All measures considered were classified as implemented and considered in the WM scenario (with measures) of the updated projections. In the future, pollutant emissions from road traffic will decrease despite increasing traffic volumes (e.g. by 39% for nitrogen oxides between 2025 and 2030), as the proportion of electric vehicles and new, lower-emission combustion engines increases. The measures examined contribute to this reduction, albeit to a slightly lesser extent than assumed in the NAPCP 2023. The underlying models are based on the TREMOD and HBEFA models.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	7
Tabellenverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis.....	9
Zusammenfassung.....	11
Summary	16
1 Einleitung.....	20
2 Untersuchte Maßnahmen	21
2.1 Ausweitung der Lkw-Maut.....	21
2.2 Maßnahmenpaket zur Förderung der Elektromobilität	22
2.3 Einführung einer Euro 7-Norm.....	23
2.4 Ergebnis.....	24
3 Berechnung des WM-Szenarios	25
3.1 Neuzulassungen und Bestände	25
3.2 Fahrleistungen	26
3.3 Emissionsfaktoren	28
3.4 Ergebnisse zu den Emissionen des Verkehrs	31
3.4.1 Ergebnisse des WM-Szenarios	31
3.4.2 Vergleich der Ergebnisse mit Trendszenario in TREMOD 6.53	32
3.4.3 Vergleich zu früheren Szenarien des NLRP und Maßnahmenwirkung	34
4 Fazit	37
5 Quellenverzeichnis	38

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	NO _x -Emissionen des Straßenverkehrs im WM-Szenario nach Fahrzeugkategorie	12
Abbildung 2:	Einfluss der Änderungen im WM-Szenario auf die NO _x -Emissionen des Straßenverkehrs gegenüber dem TREMOD-Trendszenario	13
Abbildung 3:	NO _x -Emissionen des Straßenverkehrs im WM- und WAM-Szenarien	14
Abbildung 4:	PKW-Fahrleistung nach Emissionsstandard in TREMOD 6.53 und im WM-Szenario	27
Abbildung 5:	SNF-Fahrleistung nach Emissionsstandard in TREMOD 6.53 und im WM-Szenario	28
Abbildung 6:	Durchschnittliche NO _x -Emissionsfaktoren für PKW und SNF in kg/TJ im Jahr 2030 in TREMOD 6.53 und dem WM-Szenario ..	30
Abbildung 7:	NO _x -Emissionen des Straßenverkehrs im WM-Szenario nach Fahrzeugkategorie	32
Abbildung 8:	NO _x -Emissionen des Straßenverkehrs im WM-Szenario und im TREMOD-Trendszenario von 2025 bis 2050	33
Abbildung 9:	Einfluss der Änderungen im WM-Szenario auf die NO _x -Emissionen des Straßenverkehrs gegenüber dem TREMOD-Trendszenario	34
Abbildung 10:	NO _x -Emissionen des Straßenverkehrs im WM- und WAM-Szenarien	36

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Annahmen und Berechnung – Ausweitung und CO ₂ -Differenzierung der Lkw-Maut	21
Tabelle 2:	Steckbrief Maßnahmenpaket zur Förderung der Elektromobilität.....	22
Tabelle 3:	Annahmen und Berechnung – Einführung Euro 7.....	23
Tabelle 4:	Angenommene Anteile von BEV an den PKW-NZL im WM im Vergleich zum TREMOD Trendszenario (TREMOD 6.53)	25
Tabelle 5:	Anteile von Euro 7 an den Verbrennern im WM-Szenario pro Fahrzeugkategorie	26
Tabelle 6:	Fahrzeugbestände für PKW im WM-Szenario in Mio. Fzg.....	26
Tabelle 7:	Annahmen zu Tampering für SNF und Reisebusse am Beispiel NO _x -Emissionen	29
Tabelle 8:	Durchschnittliche Emissionsfaktoren für PKW und SNF mit Euro 5/V bis Euro 7 im WM-Szenario 2030 für verschiedene Schadstoffe in kg/TJ.....	30

Tabelle 9:	Emissionen des Straßenverkehrs im WM-Szenario in Kilotonnen (kt).....	32
Tabelle 10:	Berücksichtigte Effekte in den verglichenen Szenarien	35

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
BEV	Battery electric vehicle
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
CO	Kohlenstoffmonoxid
CO₂	Kohlenstoffdioxid
EU	Europäische Union
HBEFA	Handbook Emission Factors for Road Transport
HGV	Heavy goods vehicles
IIR	Informative Inventory Report
KBA	Kraftfahrtbundesamt
KR	Kraftrad
LCV	Light commercial vehicles
LKW	Lastkraftwagen
LNF	Leichtes Nutzfahrzeug
MC	Motorcycles
MZR	Motorisiertes Zweirad
NAPCP	National air pollution control programme
NEC	National Emission reduction Commitments
NH₃	Ammoniak
NLRP	nationales Luftreinhalteprogramm
NMVOC	flüchtige organische Verbindungen ohne Methan
NO_x	Stickstoffoxide
OBM/OBD	On-Board Monitoring
PC	Passenger cars
PKW	Personenkraftwagen
PM	Particulate matter (Feinstaub)
RDE	Real Driving Emissions
SNF	Schwere Nutzfahrzeuge
SO_x	Schwefeloxide
SPN	Solid Particle Number
TREMOD	Transport Emission Model
TSP	Total suspended particulate

Abkürzung	Erläuterung
TUG	Technische Universität Graz
WAM	With additional measures
WLTC	Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycle
WM	With measures
ZEV	Zero emission vehicle
ZSE	Zentrales System Emissionen

Zusammenfassung

Die EU-NEC-Richtlinie (2016/2284) verpflichtet Mitgliedstaaten zur Reduktion von Stickstoffoxiden (NO_x), Schwefeloxiden (SO_x), flüchtigen organischen Verbindungen ohne Methan (NMVOC), Ammoniak (NH₃) und Feinstaub (PM_{2.5}) ab dem Jahr 2020 sowie 2030. Sie schreibt nationale Luftreinhalteprogramme (NLRP) vor, die mindestens alle vier Jahre zu aktualisieren sind. Deutschland übermittelte sein erstes Programm im Jahr 2019, ein aktualisiertes Programm folgte 2024. Basis hierfür bilden zwei Szenarien:

- ▶ Szenario „mit Maßnahmen“ (WM: “with measures”): Berücksichtigt beschlossene Klima- und Luftreinhaltemaßnahmen.
- ▶ Szenario „mit zusätzlichen Maßnahmen“ (WAM: “with additional measures”): Enthält weitere Reduktionsmaßnahmen zur Erfüllung der Minderungsverpflichtungen der NEC-Richtlinie.

Alle zwei Jahre werden aktualisierte Luftschadstoff-Emissionsprojektionen durch die Mitgliedstaaten an die EU gemeldet, zuletzt im März 2025.

Das vorliegende Projekt dient der Aktualisierung der Projektionen im Verkehrsbereich und der Überprüfung des von der Bundesregierung im NLRP 2023 entwickelten Maßnahmenpakets Straßenverkehr (Einführung einer Euro-7-Norm, Ausweitung der Lkw-Maut, Förderung der Elektromobilität) zur Erreichung der NEC-Minderungsverpflichtungen und verfolgt folgende Arbeitsschritte:

- ▶ Identifikation, welche Maßnahmen des genannten Pakets bereits implizit im aktuellen TREMOD-Trendszenario (Version 6.53) berücksichtigt sind.
- ▶ Überprüfung / Anpassung der Annahmen für die verbleibenden Maßnahmen.
- ▶ Berechnung der Minderungspotenziale für 2025 bis 2050 für die genannten Schadstoffe und zusätzlich Feinstaub (PM₁₀), Total Suspended Particulate (TSP), Black Carbon (BC) und Kohlenstoffmonoxid (CO).

Im NLRP 2023 wurden im Szenario „mit zusätzlichen Maßnahmen“ (WAM – with additional measures) zusätzlich zu den bereits beschlossenen Maßnahmen folgende Maßnahmen / -bündel untersucht.

- ▶ Ausweitung und CO₂-Differenzierung der Lkw-Maut
- ▶ Maßnahmenpaket zur Förderung der Elektromobilität
- ▶ Einführung einer Euro 7-Norm

Für die Aktualisierung der Emissionsprojektionen zur Berichterstattung im März 2025 wurde geprüft, inwiefern diese Maßnahmen inzwischen umgesetzt und bereits im TREMOD-Trendszenario Version 6.53 enthalten und bewertet worden sind. Demnach sollten:

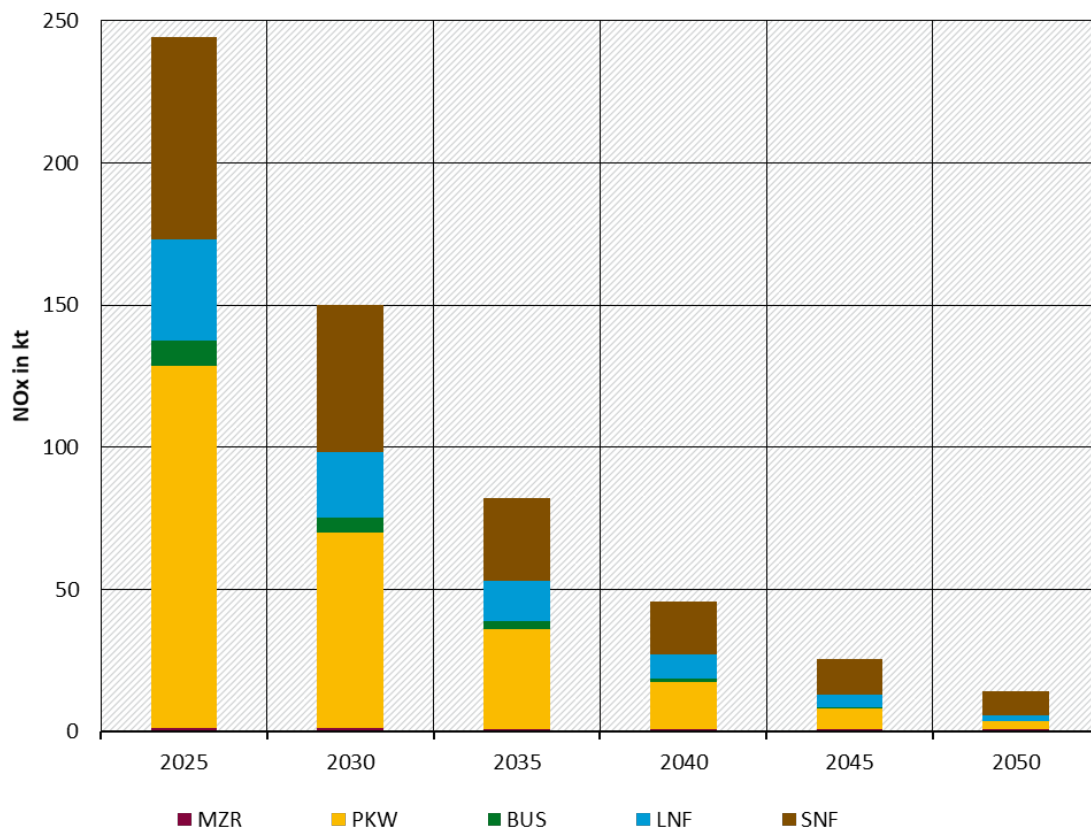
- a) bereits umgesetzte Maßnahmen im WM-Szenario bzw. weiterhin noch nicht umgesetzte Maßnahmen im WAM-Szenario berücksichtigt werden, und
- b) falls für das WM-Szenario erforderlich, entsprechende Anpassungen am TREMOD-Trendszenario, vorgenommen werden.

Die Überprüfung ergab, dass das TREMOD Trendszenario der Version 6.53 die Maßnahmen “Maßnahmenpaket zur Förderung der Elektromobilität” und “Einführung einer Euro 7-Norm”

noch nicht entsprechend dem aktuellen Stand abbildet und daher für die Aktualisierung des WM-Szenarios angepasst werden muss. Hierbei wird der Markthochlauf von BEV-PKW korrigiert und die Einführung von Euro 7 wird mit den geltenden Anforderungen des finalen EU-Rechtsaktes berücksichtigt.

Die Neuberechneten NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs sinken im WM-Szenario zwischen 2025 bis 2030 um 39 % und von 2025 bis 2050 um 94 %. Während im Jahr 2025 die PKW noch den größten Anteil an den NO_x-Emissionen ausmachen, verschiebt sich dieser in den Folgejahren zunehmend auf den Straßengüterverkehr und insbesondere die SNF (Abbildung 1).

Abbildung 1: NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs im WM-Szenario nach Fahrzeugkategorie



Quelle: ifeu-Graphik.

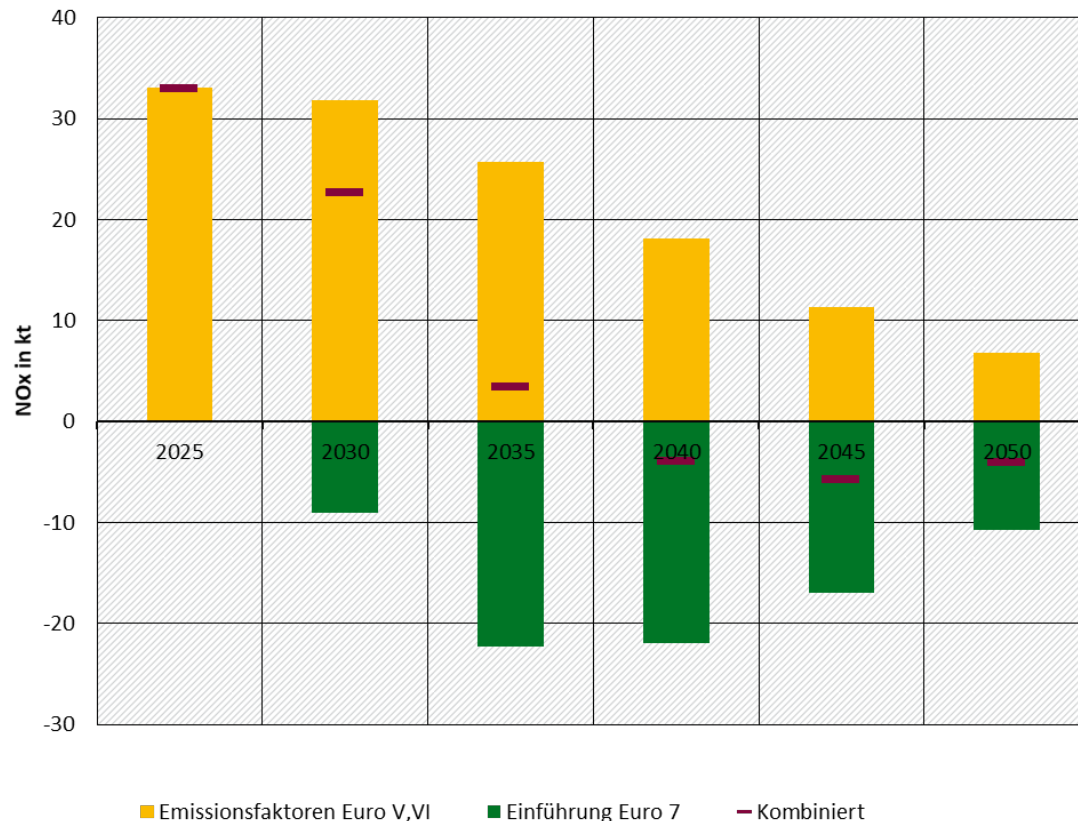
Auch bei allen anderen betrachteten abgasbedingten Schadstoffen sinken die Emissionen des Straßenverkehrs im WM-Szenario zukünftig. Zwischen 2025 und 2030 je nach Schadstoff um 9-42 %.

Gegenüber TREMOD 6.53 sind die NO_x-Emissionen in den Jahren 2025 bis 2035 im aktualisierten WM-Szenario höher (ca. 5-17 %) und nach 2035 niedriger als im TREMOD-Trendszenario (ca. 8-24 %). Eine Hauptursache dafür ist die Berücksichtigung von Tampering¹ bei SNF mit Euro V und Euro VI im WM-Szenario, wodurch sich die Emissionen bereits im Jahr 2025 erhöhen und die Wirkung in den Folgejahren aufgrund des Ausscheidens dieser Fahrzeuge aus dem Bestand sinkt. Zum anderen sinken durch die Einführung der Euro 7 – Norm mit zunehmender Durchdringung von Euro 7 in der Verbrennerflotte die NO_x-Emissionen. Im Jahr

¹ Tampering bedeutet eine Manipulation (oder auch Defekt) der Abgasnachbehandlung. Die Effekte sind in TREMOD 6.53 nicht berücksichtigt, werden aber vrsl. im HBEFA 5.1 integriert und somit auch künftig in TREMOD übernommen.

2030 würden somit 8 kt NO_x gegenüber einem WM-Szenario ohne Euro 7 reduziert. Die Minderung durch Euro 7 ist im Jahr 2035 und 2040 mit mehr als 20 kt NO_x am höchsten und nimmt dann ab, da die Verbrennerflotte zunehmend von BEV ersetzt wird. Die Erhöhung der Emissionen durch Tampering bei Euro V/VI und die Minderung durch Euro 7 im WM-Szenario gegenüber dem TREMOD-Trendszenario kompensieren sich zum Teil (Abbildung 2).

Abbildung 2: Einfluss der Änderungen im WM-Szenario auf die NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs gegenüber dem TREMOD-Trendszenario



Quelle: ifeu-Graphik.

Die im aktualisierten WM-Szenario (WM_25) berücksichtigten Maßnahmen wurden zum Teil schon in früheren Szenarien des NLRP (WM_23 und WAM_23) bewertet. Die folgende Auflistung gibt einen Überblick zu den berücksichtigten Maßnahmen und Effekten.

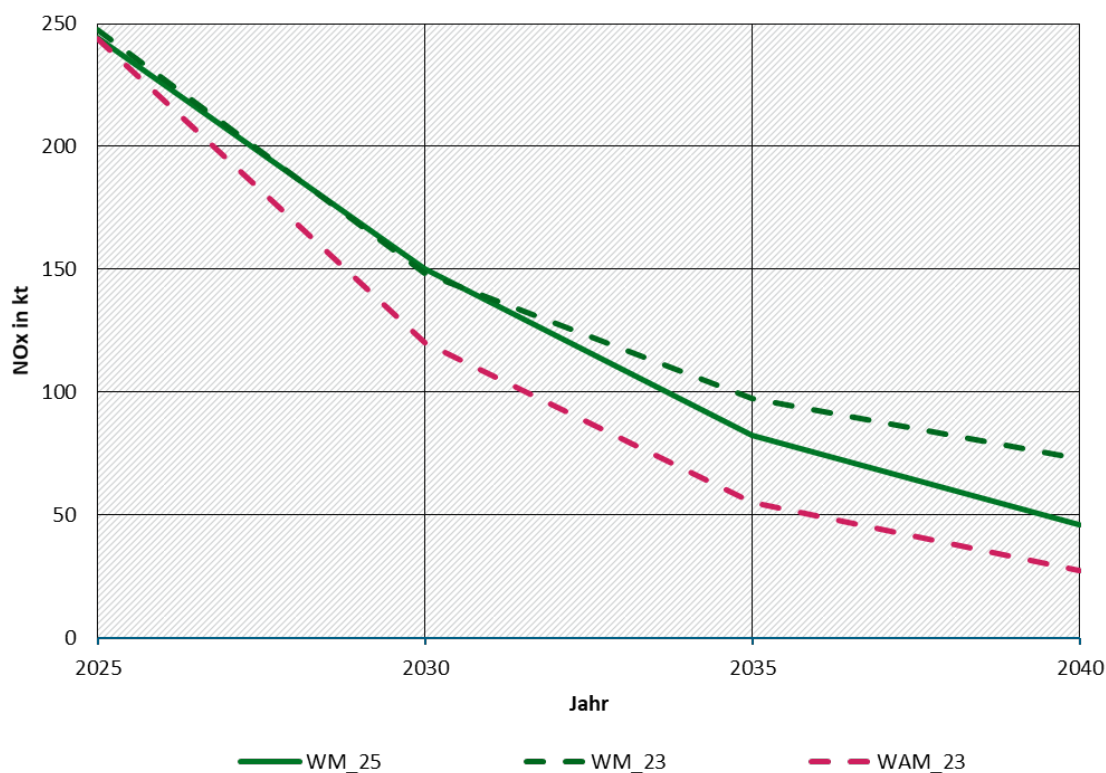
- Das Tampering bei SNF wurde bereits im WM_23 aufgrund von ersten Daten aus Plume-Chasing Messkampagnen berücksichtigt. Die Auswertung wurde von der TU Graz durchgeführt und im WM_25 aktualisiert.
- Die Wirkungen der Erweiterung der Lkw-Maut und Förderung der Elektromobilität wurden im WM_25 aktualisiert. Das WAM_23 geht von der Erfüllung des Zieles der Bundesregierung von 15 Mio. BEV im Jahr 2030 aus und ist damit in Bezug auf die Elektromobilität deutlich ambitionierter als das aktuelle WM-Szenario. Aus Sicht der Autoren kann dieses Ziel mit den angenommenen Maßnahmen nicht erreicht werden.
- Eine Euro 7-Gesetzgebung wurde neben dem WM-Szenario 2025 (WM_25) auch bereits im alten WAM-Szenario (WAM_23) berücksichtigt. Die Grenzwerte im finalen Rechtsakt von

2024 sind jedoch weniger ambitioniert als im Kommissionsvorschlag von 2022, der den alten Bewertungen zugrunde lag.

Abbildung 3 zeigt die Entwicklung der NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs von 2025 bis 2040 in den verschiedenen Szenarien.

- In allen Szenarien sinken die NO_x-Emissionen zwischen 2025 und 2050 deutlich. Die höchste Minderung wird im WAM_23 erreicht, da diesem Szenario die ambitioniertesten Annahmen zur Elektromobilität und Euro 7 zugrunde liegen.
- Das WM_25 liegt im Jahr 2030 mit ca. 150 kt NO_x auf ähnlichem Niveau wie das WM_23² und damit deutlich über dem WAM_23. Nach 2030 sind die NO_x-Emissionen im WM_25 aufgrund der Wirkung von Euro 7 geringer als im WM_23, aber höher als im WAM_23.

Abbildung 3: NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs im WM- und WAM-Szenarien



Quelle: ifeu-Graphik.

Die gezeigten Einflussfaktoren, z. B. der Einfluss von Tampering auf die Emissionen der Euro VI-SNF, und Wechselwirkungen bei der Maßnahmenwirkung, z. B. das Zusammenspiel von Euro 7 und Elektromobilität, verdeutlichen, dass die Emissionsprognosen und Maßnahmenwirkungen diversen Abhängigkeiten und damit auch Unsicherheiten unterliegen. Dem wird durch regelmäßige Aktualisierungen der Projektionen bereits Rechnung getragen. Die Autoren empfehlen insbesondere, dass mit der Veröffentlichung des HBEFA 5.1 und dessen Integration in TREMOD eine weitere Aktualisierung der Emissionsprojektionen im Straßenverkehr erfolgen sollte.

² Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass sich die höhere Anzahl von BEV-PKW im WM_23 und die Berücksichtigung von Tampering bei Euro V im WM_25 in Bezug auf die Netto-Emissionen kompensieren.

Die Überprüfung der Einhaltung der Reduktionsverpflichtungen der NEC-Richtlinie, u. a. mithilfe der hier erstellten Projektionen, erfolgt sektorübergreifend und für alle Schadstoffe durch das Umweltbundesamt und war nicht Gegenstand dieser Studie.

Summary

The EU NEC Directive (2016/2284) requires Member States to reduce nitrogen oxides (NO_x), sulphur oxides (SO_x), non-methane volatile organic compounds (NMVOC), ammonia (NH₃) and particulate matter (PM_{2.5}) from 2020 and 2030 onwards. It stipulates national air pollution control programmes (NAPCP) that must be updated at least every four years. Germany submitted its first programme in 2019, followed by an updated programme in 2024. These are based on two scenarios:

- ▶ “With measures” scenario (WM): Takes into account climate and air pollution control measures that have been adopted.
- ▶ “With additional measures” scenario (WAM): Includes further reduction measures to meet the reduction commitments of the NEC Directive.

Every two years, updated air pollutant emission projections are reported by the Member States to the EU, most recently in March 2025.

This project serves to update the projections in the transport sector and review the package of road transport measures (Euro 7 standard, extension of truck tolls, promotion of electric mobility) developed by the German Federal Government in the NAPCP 2023 to achieve the NEC reduction commitments and pursues the following steps:

- ▶ Identification of which measures from the aforementioned package are already implicitly included in the current TREMOD trend scenario (version 6.53).
- ▶ Review/adjustment of the assumptions for the remaining measures.
- ▶ Calculation of the reduction potential for 2025 to 2050 for the specified pollutants and additionally particulate matter (PM₁₀), total suspended particulates (TSP), black carbon (BC) and carbon monoxide (CO).

In the NAPCP 2023, the following measures/packages were examined in the WAM scenario in addition to the measures already decided upon.

- ▶ Expansion and CO₂ differentiation of the truck toll
- ▶ Package of measures to promote electric mobility
- ▶ Introduction of a Euro 7 standard

For the update of the emission projections for reporting in March 2025, it was examined to what extent these measures have been implemented in the meantime and already included and evaluated in the TREMOD trend scenario version 6.53. Accordingly,

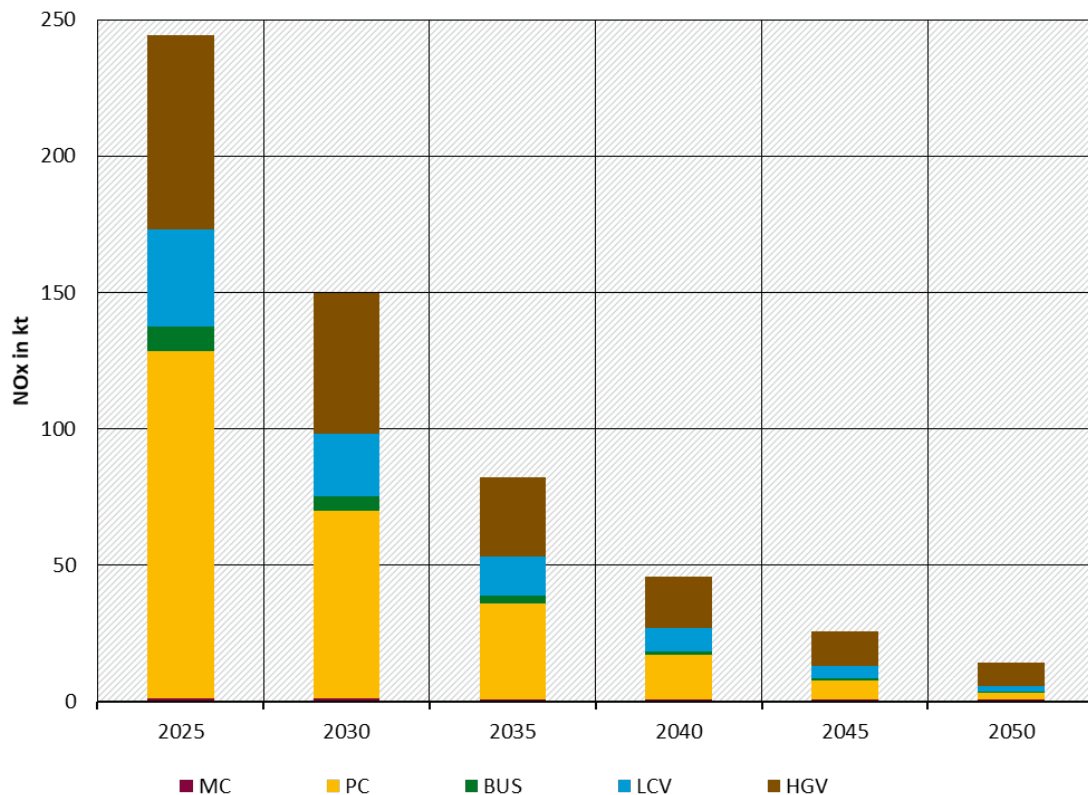
- a) measures already implemented should be part of the WM scenario and measures still not implemented part of the WAM scenario, and
- b) if necessary for the WM scenario, corresponding adjustments should be made to the TREMOD trend scenario.

The review found that the TREMOD trend scenario in version 6.53 does not yet reflect the measures “Package of measures to promote electric mobility” and “Introduction of a Euro 7 standard” in line with the current status and therefore needs to be adjusted for the update of the WM scenario. In addition, the trend scenario for the promotion of electric mobility needs to be

adjusted. Here, the market ramp-up of BEV passenger cars is corrected and the introduction of Euro 7 is taken into account with the applicable requirements of the EU final legal act.

The recalculated NO_x emissions from road transport in the WM scenario fall by 39% between 2025 and 2030 and by 94% between 2025 and 2050. While passenger cars will still account for the largest share of NO_x emissions in 2025, this share will shift increasingly to road freight transport and, in particular, HGV in the following years (Figure 1).

Figure 1: NO_x emissions from road traffic in the WM scenario by vehicle category



Source: ifeu graphic.

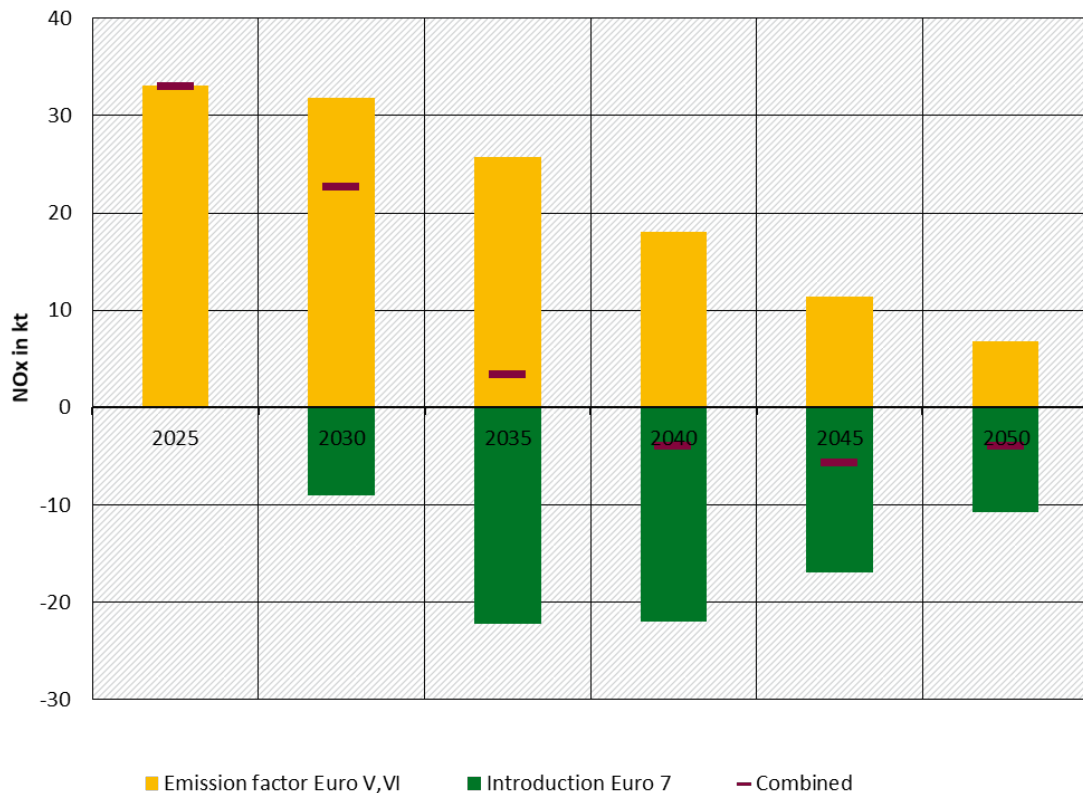
Emissions from road transport will also decline in the future for all other exhaust-related pollutants considered in the WM scenario. Between 2025 and 2030, the reduction will be between 9% and 42%, depending on the pollutant.

Compared to TREMOD 6.53, NO_x emissions in the updated WM scenario are higher in the years 2025 to 2035 (approx. 5-17%) and lower after 2035 than in the TREMOD trend scenario (approx. 8-24%). This is due, on the one hand, to the fact that the tampering³ now taken into account for HGV with Euro V and Euro VI in the WM scenario will already increase emissions in 2025, with the effect declining in subsequent years due to the phasing out of these vehicles. On the other hand, with increasing penetration of Euro 7 in the combustion engine fleet, NO_x emissions will decrease. In 2030, this would result in a reduction of 8 kt NO_x compared to a WM scenario without Euro 7. The reduction achieved by Euro 7 will be highest in 2035 and 2040, at more than 20 kt NO_x, and will then decline as the combustion engine fleet is increasingly replaced by BEVs. The increase in emissions due to tampering with Euro V/VI and the reduction

³ Tampering means manipulation (or defect) of the exhaust after-treatment system. It is currently not taken into account in TREMOD 6.53, but will be integrated into HBEFA 5.1 and thus also incorporated into TREMOD in the future.

due to Euro 7 in the WM scenario compared to the TREMOD trend scenario partially offset each other (Figure 2).

Figure 2: Impact of changes in the WM scenario on NO_x emissions from road traffic compared to the TREMOD trend scenario



Quelle: ifeu graphic.

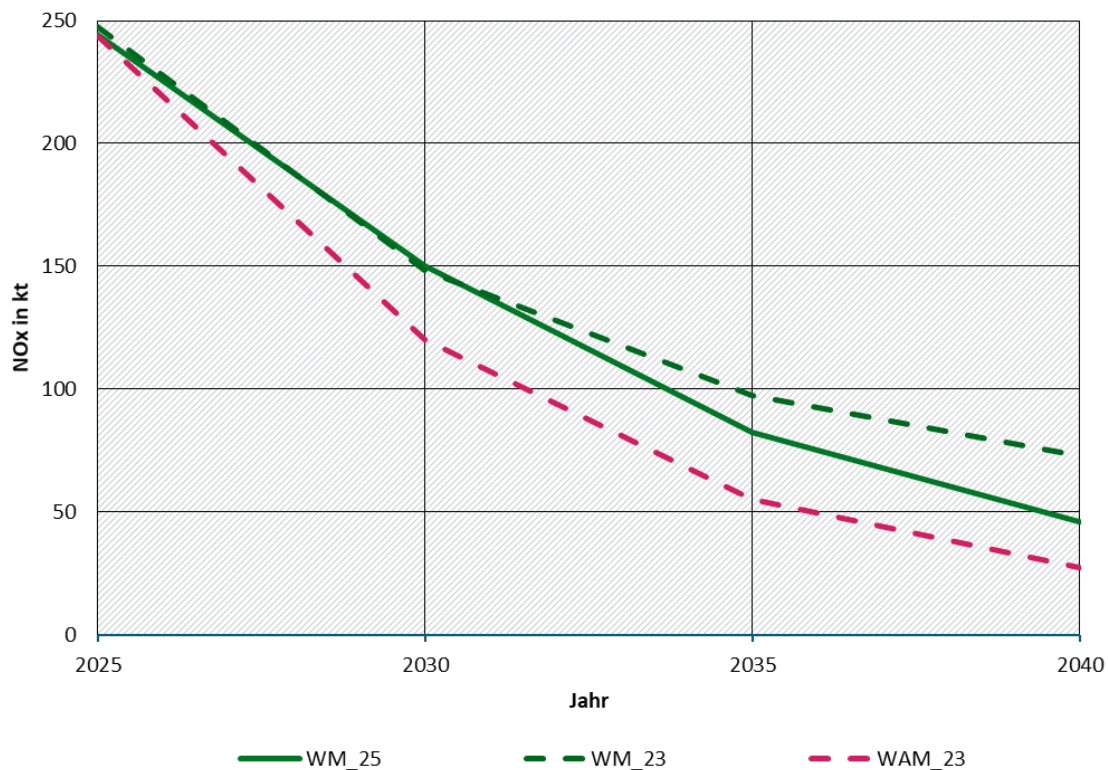
Some of the measures considered in the updated WM scenario (WM_25) have already been evaluated in earlier NAPCP 2023 scenarios (WM_23 and WAM_23). The following list provides an overview of the measures and effects considered.

- ▶ Tampering with HGV was already taken into account in WM_23 based on initial data from plume chasing measurement campaigns. The evaluation was carried out by Graz University of Technology and updated in WM_25.
- ▶ The effects of extending the truck toll and promoting electric mobility were updated in WM_25. WAM_23 assumes that the German government's target of 15 million BEVs in 2030 will be met and is therefore significantly more ambitious than the current WM scenario in terms of electric mobility. In the authors' view, this target cannot be achieved with the measures assumed.
- ▶ Euro 7 legislation was already taken into account in the old WAM scenario (WAM_23) in addition to the WM scenario 2025 (WM_25). However, the limit values in the EU final legal act of 2024 are less ambitious than and in the Commission proposal of 2022, that was the basis for the WAM scenario 2023 (WAM_23).

Figure 3 shows the development of NO_x emissions from road traffic from 2025 to 2040 in the various scenarios.

- In all scenarios, NO_x emissions fall significantly between 2025 and 2050. The highest reduction is achieved in WAM_23, as this scenario is based on the most ambitious assumptions for electric mobility and Euro 7.
- In 2030, WM_25 is at a similar level to WM_23⁴ with approx. 150 kt NO_x, and thus significantly above WAM_23. After 2030, NO_x emissions in WM_25 are lower than in WM_23 due to the effect of Euro 7, but higher than in WAM_23.

Figure 3: NO_x emissions from road traffic in the WM and WAM scenarios



Quelle: ifeu graphic.

The influencing factors shown, e.g. the influence of tampering on Euro VI HGV emissions and interactions between measures, e.g. the interaction between Euro 7 and electric mobility, illustrate that emission projections and the effects of measures are subject to various dependencies and therefore also uncertainties. This is already taken into account by regularly updating the projections. The authors particularly recommend that the publication of HBEFA 5.1 and its integration into TREMOD should be followed by a further update of the emission projections for road transport.

Verification of compliance with the reduction commitments of the NEC Directive, including with the help of the projections made here, is carried out across all sectors and for all pollutants by the German Environment Agency (UBA) and was not the subject of this study.

⁴ This could be due to the higher number of BEV passenger cars in WM_23 and the consideration of tampering for Euro V in WM_25, which offset each other in terms of net emissions.

1 Einleitung

Die EU-NEC-Richtlinie (2016/2284) verpflichtet Mitgliedstaaten zur Reduktion von Stickstoffoxiden (NO_x), Schwefeldioxid (SO₂), flüchtigen organischen Verbindungen ohne Methan (NMVOC), Ammoniak (NH₃) und Feinstaub (PM_{2,5}) ab dem Jahr 2020 sowie ab dem Jahr 2030. Sie schreibt nationale Luftreinhalteprogramme (NLRP) vor, die alle vier Jahre aktualisiert werden müssen. Deutschland übermittelte sein erstes Programm im Jahr 2019 (NLRP 2019⁵), ein aktualisiertes Programm folgte 2024 (NLRP 2023⁶). Basis hierfür bilden zwei Szenarien:

- ▶ Szenario „mit Maßnahmen“ (WM “with measures”): Berücksichtigt beschlossene Klima- und Luftreinhaltemaßnahmen.
- ▶ Szenario „mit zusätzlichen Maßnahmen“ (WAM “with additional measures”): Enthält weitere Reduktionsmaßnahmen zur Erfüllung der Minderungsverpflichtungen der NEC-Richtlinie.

Alle zwei Jahre werden Luftschadstoff-Emissionsprojektionen durch die Mitgliedstaaten an die EU gemeldet, zuletzt im März 2025⁷.

Das vorliegende Projekt dient der Aktualisierung der Projektionen und der Überprüfung des von der Bundesregierung im NLRP 2023 entwickelten Maßnahmenpakets Straßenverkehr (Euro-7-Norm, Lkw-Maut-Ausweitung, Elektromobilitätsförderung) zur Erreichung der NEC-Minderungsverpflichtungen und verfolgt folgende Arbeitsschritte:

- ▶ Identifikation, welche Maßnahmen des genannten Pakets bereits implizit im aktuellen TREMOD-Trendszenario (Version 6.53) berücksichtigt sind.
- ▶ Überprüfung / Anpassung der Annahmen für die verbleibenden Maßnahmen.
- ▶ Berechnung der Minderungspotenziale für 2025 bis 2050 für NO_x, SO_x, NMVOC, NH₃, Feinstaub (PM₁₀/PM_{2,5}), TSP, ggf. Black Carbon und CO.

Die Ergebnisse wurden im Format der Datenbank des Umweltbundesamtes zur Luftschadstoff- und Treibhausgas-Inventarberichterstattung strukturiert ermittelt und in einer englischen Zusammenfassung im German Informative Inventory Report 2025⁸ dokumentiert.

⁵ <https://www.umweltbundesamt.de/nlrp2019>

⁶ <https://www.umweltbundesamt.de/nlrp2023>

⁷ https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/nec_revised/projected/envz9qehq/

⁸ https://iir.umweltbundesamt.de/2025/general/projections/calculation_documentation

2 Untersuchte Maßnahmen

Im NLRP 2023 wurden im WAM-Szenario zusätzlich zu den bereits beschlossenen Maßnahmen folgende Maßnahmen / -bündel untersucht.

- Ausweitung und CO₂-Differenzierung der Lkw-Maut
- Maßnahmenpaket zur Förderung der Elektromobilität
- Einführung einer Euro 7-Norm

Für die Aktualisierung der Emissionsprojektionen zur Berichterstattung im März 2025 wurde geprüft, inwiefern diese Maßnahmen inzwischen umgesetzt und bereits im TREMOD-Trendszenario Version 6.53 (Allekotte et al. 2024) enthalten und bewertet worden sind. Demnach sollten:

- c) bereits umgesetzte Maßnahmen im WM-Szenario bzw. noch nicht umgesetzte Maßnahmen im WAM-Szenario berücksichtigt werden, und
- d) falls für das WM-Szenario erforderlich, entsprechende Anpassungen am TREMOD-Trendszenario, vorgenommen werden.

Die Überprüfung der Maßnahmen erfolgte durch eine Literaturrecherche und wird in den folgenden Abschnitten in Form von Steckbriefen zusammengefasst.

2.1 Ausweitung der Lkw-Maut

Im folgenden Steckbrief wird die Maßnahme Ausweitung und CO₂-Differenzierung der Lkw-Maut zusammengefasst.

Tabelle 1: Annahmen und Berechnung – Ausweitung und CO₂-Differenzierung der Lkw-Maut

Ausweitung und CO₂-Differenzierung der Lkw-Maut

Kurzbeschreibung:

Die Maßnahme stellt die nationale Umsetzung der Eurovignetten-Richtlinie (Anpassung der Richtlinie 1999/62/EG vom Februar 2022⁹) dar. Das Gesetz umfasst u. a. folgende zwei Aspekte: Zum einen wird der CO₂-Aufschlag auf die Maut berücksichtigt (seit 01.12.2023 mit 200 €/t). Zum anderen erfolgt die Ausweitung der Maut auf Lkw der Größenklasse 3,5-7,5 t (seit 01.07.2024).¹⁰ Die zu entrichtende Maut hängt somit von der Achs- und Gewichtsklasse, der Schadstoffklasse und der CO₂-Klasse der Fahrzeuge ab und enthält die Anteile für Infrastruktur, Luftverschmutzung, Lärmbelastung und CO₂-Emissionen. Bis einschließlich 2025 sind Nullemissionsfahrzeuge (ZEV) von der Maut befreit. Danach sind lediglich 25 % des Infrastrukturanteils zuzüglich der Sätze für Luftverschmutzung sowie Lärmbelastung zu entrichten. Der Anteil für CO₂ entfällt gänzlich.

Die Änderung der Kosten wirken sich sowohl auf die Verkehrsnachfrage als auch auf die Antriebswahl für Lkw aus.

Parametrisierung:

Die Wirkungen (höhere Transportkosten) der Maßnahme auf die Verkehrsleistung sind bereits in der Gleitenden Langfristprognose 2022 berücksichtigt. Diese Prognose wird für das TREMOD Trendszenario und somit auch für das WM-Szenario verwendet. Die Wirkung der CO₂-Abgabe auf den Anteil von ZEV an der Fahrleistung wird in der Maßnahme „Förderung Elektromobilität“ erläutert.

Angenommen wird in der gleitenden Langfristprognose 2022 ein CO₂-Preis bedingter Kostenaufschlag für Diesel-Lkw von 20 ct/Lkw-km im Jahr 2025 und ab 2035 ca. 35 ct/Lkw-km bei einem linearen Wachstum in

⁹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:01999L0062-20220324>

¹⁰ <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/lkw-maut-co2-2194574>

Ausweitung und CO₂-Differenzierung der Lkw-Maut

den Zwischenjahren. Dies beinhaltet zum einen den CO₂-Aufschlag auf die Maut sowie die CO₂-Bepreisung des Dieselkraftstoffs. Da die Wirkungen der Maßnahme in TREMOD 6.53 bereits berücksichtigt werden, ist keine Anpassung für das WM-Szenario notwendig.

Ansatz:

Durchführung einer Mautreform. Grundlage ist die Revision der Eurovignettenrichtlinie.

Stand der Umsetzung:

Beschlossen, Höhe des künftigen CO₂-Preises nicht festgelegt.

Synergien/Wechselwirkungen:

- + Reduziert die Treibhausgasemissionen
- o Ergänzend zur Maßnahme „Förderung Elektromobilität“

Quellen: (Kluth et al. 2023).

2.2 Maßnahmenpaket zur Förderung der Elektromobilität

Im folgenden Steckbrief wird das Maßnahmenpaket zur Förderung der Elektromobilität zusammengefasst.

Tabelle 2: Steckbrief Maßnahmenpaket zur Förderung der Elektromobilität

Förderung Elektromobilität

Kurzbeschreibung:

Das Maßnahmenbündel „Förderung Elektromobilität“ enthält eine Vielzahl an aktuell gültigen und beschlossenen künftigen Einzelmaßnahmen.

Die wichtigsten Maßnahmen sind

- EU-CO₂-Flotten(grenz-)werte für PKW, leichte Nutzfahrzeuge (EU 2023)
- EU-CO₂-Flottenwerte für schwere Nutzfahrzeuge (Mulholland 2024)
- Steigerung des Anteils umweltschonend betriebener Kraftfahrzeuge im Fuhrpark des Bundes (BMI 2021)
- Förderung des Aufbaus öffentlicher und privater Versorgungsinfrastruktur und Fahrzeuge (auf Kommunal- und Landesebene, z. B. Charge@BW)
- Vergünstigte Besteuerung von elektrischen Dienstwagen (BPA 2024) und andere steuerliche Vorteile
- Kfz-Steuerbefreiung von Elektrofahrzeugen bis 31.12.2025, danach Ermäßigung (BfJ 2020)
- Umsetzung der Clean Vehicles Directive (BMDV 2024)
- Sonderabschreibung für elektrisch angetriebene Nutzfahrzeuge und Dienstwagen (BPA 2024)
- THG-Quotenhandel (Kasten und Jöhrens 2022)

Eine Wirkungsabschätzung solcher Einzelmaßnahmen ist nur eingeschränkt möglich, da große Synergien bestehen, die nicht adäquat quantifizierbar sind. Daher werden sämtliche Maßnahmen zusammengefasst und über ein Maßnahmenbündel abgebildet.

Von hoher Relevanz für den Hochlauf der Elektromobilität werden die CO₂-Flottenwerte für PKW, leichte Nutzfahrzeuge (LNF) und schwere Nutzfahrzeuge sowie die CO₂-Abgabe über die Lkw-Maut (siehe Maßnahme „Anpassung Lkw-Maut“) erachtet. Die sonstigen Maßnahmen führen in der Berechnung lediglich zu marginal höheren Neuzulassungen als durch die CO₂-Flottengrenzwerte gefordert wäre.

Parametrisierung:

Die o. g. Einzelmaßnahmen führen zu den Neuzulassungsanteilen von elektrischen Fahrzeugen im WM-Szenario. Bei PKW und LNF werden in Anlehnung an die europäischen CO₂-FGW (Verordnung (EU) 2019/631 bzw. 2023/851) ab dem Jahr 2035 nur noch „Null-Emissionsfahrzeuge“ (ZEV) zugelassen. Im Jahr 2030 beträgt im WM-Szenario der Anteil von ZEV an den Neuzulassungen 65 % bei PKW und 55 % bei LNF.

Förderung Elektromobilität

Der Hochlauf von BEV bei Lkw und Bussen orientiert sich ebenfalls an den CO₂-Grenzwerten (Verordnung (EU) 2019/1242). Diese sehen bei Lkw eine Reduktion der CO₂-Emissionen in Höhe von 45 % im Jahr 2030 sowie 90 % im Jahr 2040 vor (ggü. 2020). Je nach Effizienzsteigerung bei Verbrennungsfahrzeugen, würden die CO₂-Grenzwerte einen Anteil von ZEV an den Neuzulassungen im Jahr 2030 in Höhe von 19-37 % implizieren (Breed et al. 2021). Die (NOW GmbH 2024) prognostiziert ausgehend von Einzelgesprächen mit den Fahrzeugherstellern bis zum Jahr 2030 bei den Lkw >12 t einen Neuzulassungsanteil von ZEV von ca. 61 %. Im WM-Szenario wird bei Lkw ein Wert von 61 % und bei Sattelzügen von 40 % im Jahr 2030 angenommen. Die Anteile von BEV sind insbesondere aufgrund der CO₂-Abgabe über die Maut leicht höher als es allein über die CO₂-Flottengrenzwerte nötig wäre. Dennoch bleibt die Annahme unter den Werten aus (NOW GmbH 2023). Für Reisebusse gelten dieselben relativen CO₂-Grenzwerte wie für Lkw. Bei Stadtbussen gelten strengere Grenzwerte. Ab 2035 dürfen neue Stadtbusse keine direkten CO₂-Emissionen ausstoßen. Im Jahr 2030 liegt der Anteil von ZEV an den Neuzulassungen im WM-Szenario bei 45 % für Reisebusse und Fernlinienbusse. Für Linienbusse ist der Anteil mit 64 % aufgrund der strengeren Werte für Stadtbusse höher.

Stand der Umsetzung:

Die CO₂-Grenzwerte sind bereits beschlossen und gültig und somit Teil des WM-Szenarios. Die sonstigen Einzelmaßnahmen sind ebenfalls beschlossen und gültig, wobei diese z. T. zeitlich begrenzt sind.

Synergien/Wechselwirkungen:

- + Neben den Schadstoffemissionen sinken auch die Treibhausgas- und die Lärmemissionen.
- das durchschnittliche Fahrzeuggewicht steigt voraussichtlich; dies bewirkt einen höheren Rohstoffbedarf und eine stärkere Straßenabnutzung und Reifenabrieb
- o Die CO₂-Abgabe bei der Maut führt zu einem schnelleren Anstieg der elektrischen Fahrleistung.

Quellen:

Eigene Annahmen. Diese orientieren sich überwiegend an der CO₂-Gesetzgebung für PKW und LNF nach Verordnung (EU) 2019/631 bzw. 2023/851 sowie Verordnung (EU) 2019/1242.

Anmerkung: Als ZEV werden im Szenario nur batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) berücksichtigt, keine Wasserstoff -bzw. Brennstoffzellenfahrzeuge. Motorisierte Zweiräder (MZR) werden von den Flottengrenzwerten nicht erfasst. Es wird vereinfachend davon ausgegangen, dass Neuzulassungen von Kleinkrafträdern bis 2030 komplett elektrisch sind und von Krafträdern ab 2040. Da der Anteil von MZR an den Emissionen gering ist, hat diese Vereinfachung keine signifikanten Auswirkungen auf das Gesamtergebnis.

2.3 Einführung einer Euro 7-Norm

Das TREMOD Trendszenario der Version 6.53 verwendet zur Modellierung der Emissionen die Emissionsfaktoren und die Annahmen zur Einführung der Abgasgesetzgebung des HBEFA 4.2. Dort sind noch keine Einführungszeiträume für Euro 7 definiert.

Weitere wichtige Merkmale der Euro 7 Gesetzgebung sind die Einbeziehung kleinerer Partikel in die Partikelanzahlgrenzwerte durch die Umstellung von SPN₂₃ auf SPN₁₀ und die Einführung von Grenzwerten für den Bremsabrieb (PM₁₀) für PKW.

Tabelle 3: Annahmen und Berechnung – Einführung Euro 7

Einführung Euro 7

Kurzbeschreibung:

Mit der Abgasnorm Euro 7 für PKW und leichte Nutzfahrzeuge sowie schwere Nutzfahrzeuge und Busse werden die Grenzwerte für die Schadstoffemissionen von Neufahrzeugen weiter verschärft (Verordnung (EU) 2024/1257 vom April 2024). Dadurch sinken die Schadstoffemissionen neuer Verbrenner-Fahrzeuge deutlich gegenüber der heute gültigen Norm Euro 6 bzw. Euro VI.

Parametrisierung:

Einführung Euro 7

Die Grenzwerte und Prüfbedingungen für Euro 7 orientieren sich an der Verordnung EU 2024/1257 (EU 2024). Für PKW und LNF gelten hierbei dieselben Grenzwerte wie für Euro 6, jedoch werden die Anforderungen über die Dauerhaltbarkeit verschärft. Für schwere Nutzfahrzeuge werden die Grenzwerte gegenüber Euro VI reduziert und erstmals Grenzwerte für NH_3 und N_2O eingeführt und ebenfalls strengere Anforderungen an die Dauerhaltbarkeit gestellt.

Die Modellierung der Emissionsfaktoren stammt aus Arbeiten der TU Graz im parallelen UBA-Projekt Euro-7. Hierbei wurden RDE-Tests mit den Euro 6/VI Kennfeldern in verschiedenen Lastbereichen simuliert und die Emissionskennfelder der Euro 7 Fahrzeuge so angepasst, dass die Grenzwerte auch in RDE-Bedingungen und für die Dauerhaltbarkeitsprüfung eingehalten werden.

Einführungszeitraum für alle Neufahrzeuge ist bei PKW und LNF der 29.11.2027 und bei Bussen und SNF der 29.05.2029. Ab den jeweiligen Jahren ersetzen neue Euro 7 Fahrzeuge neue Euro 6/VI Fahrzeuge.

Weitere Details zur Parametrisierung werden in Kapitel 3.3 beschrieben.

Stand der Umsetzung:

Die Euro 7-Grenzwerte sind durch den Basisrechtsakt bereits beschlossen und gültig und somit Teil des WM-Szenarios. Es fehlen jedoch noch Durchführungsrechtsakte, welche z.B. die Regelung zu On-Board-Monitoring (OBM), Brems- und Reifenabrieb, konkretisieren.

Synergien/Wechselwirkungen:

- o Die Verschärfung der Grenzwerte für Verbrennerfahrzeuge und damit steigende Kosten machen Elektrofahrzeuge wettbewerbsfähiger gegenüber Verbrennern.
- Die nötigen Maßnahmen für Verbrenner können zu einer Erhöhung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs (z. B. durch aktives Heizen der Katalysatoren) und zum Verbrauch und zur Emission zusätzlicher Materialien (z. B. Edelmetalle) führen.
- o Die absolute Emissionsminderung durch Euro 7 sinkt, je höher der Anteil an Null-Emissionsfahrzeugen (z. B. Elektrofahrzeuge) ist. Bei Plug-In-Hybriden im Verbrennermodus führt Euro 7 jedoch zu Minderungen.
- o Im Rahmen von Euro 7 werden zusätzliche Aspekte, z. B. die Verminderung von nicht-auspuffbedingten Partikelemissionen aus Abrieben oder Standards für die Batterielebensdauer für Elektrofahrzeuge untersucht, deren Wirkungen hier nicht berücksichtigt werden.

Quellen:

EU 2024/1257 (EU 2024), Interne Analysen im Rahmen des UBA-Projekts „Nationale und internationale Abgasgesetzgebung bei PKW, leichten und schweren Nutzfahrzeugen“ (FKZ 3719 51 102 0); Bisher unveröffentlicht.

2.4 Ergebnis

Das TREMOD Trendszenario der Version 6.53 bildet die Maßnahmen “Maßnahmenpaket zur Förderung der Elektromobilität” und “Einführung einer Euro 7-Norm” noch nicht entsprechend dem aktuellen Stand ab und muss daher für die Aktualisierung des WM-Szenarios angepasst werden. Für die Förderung der Elektromobilität wird der Markthochlauf von BEV-PKW angepasst und die Einführung von Euro 7 wird mit den geltenden Anforderungen des finalen Rechtsaktes berücksichtigt.

3 Berechnung des WM-Szenarios

Im Folgenden sind die wesentlichen Eingangsdaten und die daraus berechneten Emissionen des Straßenverkehrs aufgeführt. Im Fokus stehen dabei die Anpassungen des WM-Szenarios zur Berichterstattung der Emissionsprojektionen zum 14. März 2025 gegenüber dem TREMOD-Trendszenario Version 6.53.

3.1 Neuzulassungen und Bestände

Bei den Neuzulassungen wurden gegenüber dem TREMOD-Trendszenario Version 6.53 folgende Anpassungen vorgenommen:

- Reduktion der BEV-Anteile bei PKW vor 2030
- Einführung von Euro 7 für PKW, LNF, SNF und Busse

Der Anteil von BEV an den PKW-Neuzulassungen wurde in den Jahren 2025 bis 2030 reduziert, da die BEV-Anteile in 2024 entgegen der Annahmen im Trendszenario nicht so schnell gestiegen sind und Deutschland nach den aktuellen Szenarioannahmen mit 35 % BEV im Jahr 2025 gegenüber dem EU-Durchschnitt die EU CO₂-Flottengrenzwerte übererfüllen würde. Dies scheint angesichts der aktuellen Entwicklung nicht plausibel (siehe Abschnitt 2.2). Ab dem Jahr 2031 wird dafür ein etwas schnellerer Hochlauf angenommen, um einen stetigeren Verlauf abzubilden. Ab 2035 wird weiterhin angenommen, dass aufgrund der aktuell gültigen CO₂-Flottengrenzwerte nur noch BEV zugelassen werden (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Angenommene Anteile von BEV an den PKW-NZL im WM im Vergleich zum TREMOD Trendszenario (TREMOD 6.53)

Zulassungsjahr	KBA	TREMOD 6.53 Trend	WM-Szenario
2020	7 %	7 %	
2021	14 %	14 %	
2022	18 %	18 %	
2023	18 %	18 %	
2024	14 %	18 %	18%
2025		35 %	26 %
2026		38 %	32 %
2027		41 %	38 %
2028		44 %	45 %
2029		53 %	51 %
2030		65 %	63 %
2031		69 %	69 %
2032		72 %	75 %
2033		76 %	81 %
2034		86 %	88 %

Zulassungsjahr	KBA	TREMODO 6.53 Trend	WM-Szenario
2035 - 2050		100 %	100 %

Damit ergibt sich ein geringerer Bestand an BEV-PKW bis 2030 von 8,6 Mio. im aktualisierten WM-Szenario statt 9,1 Mio. in TREMOD 6.53.

Für die Ableitung der Anteile von Euro 7 bei den Verbrenner-Neuzulassungen nach Baujahr und Fahrzeugkategorie wurden die jeweiligen Einführungszeiträume für neue Fahrzeugmodelle und alle Neufahrzeuge berücksichtigt (siehe Abschnitt 2.3). Zusätzlich wurden auf Grundlage der historischen Zulassungszahlen für die alten Euro-Stufen zu einem geringen Anteil auch (freiwillige) vorgezogene Euro 7-Zulassungen in den Jahren 2026 für PKW und 2027 für SNF und Busse angenommen. Für die Einführung von Euro 7 für Verbrenner wird angenommen, dass bei PKW und LNF ab dem Jahr 2028 und bei SNF und Bussen ab 2030 ausschließlich Euro 7-Fahrzeuge auf den Markt kommen (siehe Tabelle 5). Die motorisierten Zweiräder (KR und KKR) sind von der Euro 7 Norm nicht betroffen. Tabelle 6 fasst die resultierenden PKW-Bestände nach Eurostufe zusammen.

Tabelle 5: Anteile von Euro 7 an den Verbrennern im WM-Szenario pro Fahrzeugkategorie

Baujahr	PKW, LNF	SNF und Busse	KR und KKR
2025	0%	0%	0%
2026	35%	0%	0%
2027	91%	5%	0%
2028	100%	38%	0%
2029	100%	79%	0%
2030 - 2050	100%	100%	0%

Tabelle 6: Fahrzeugbestände für PKW im WM-Szenario in Mio. Fzg.

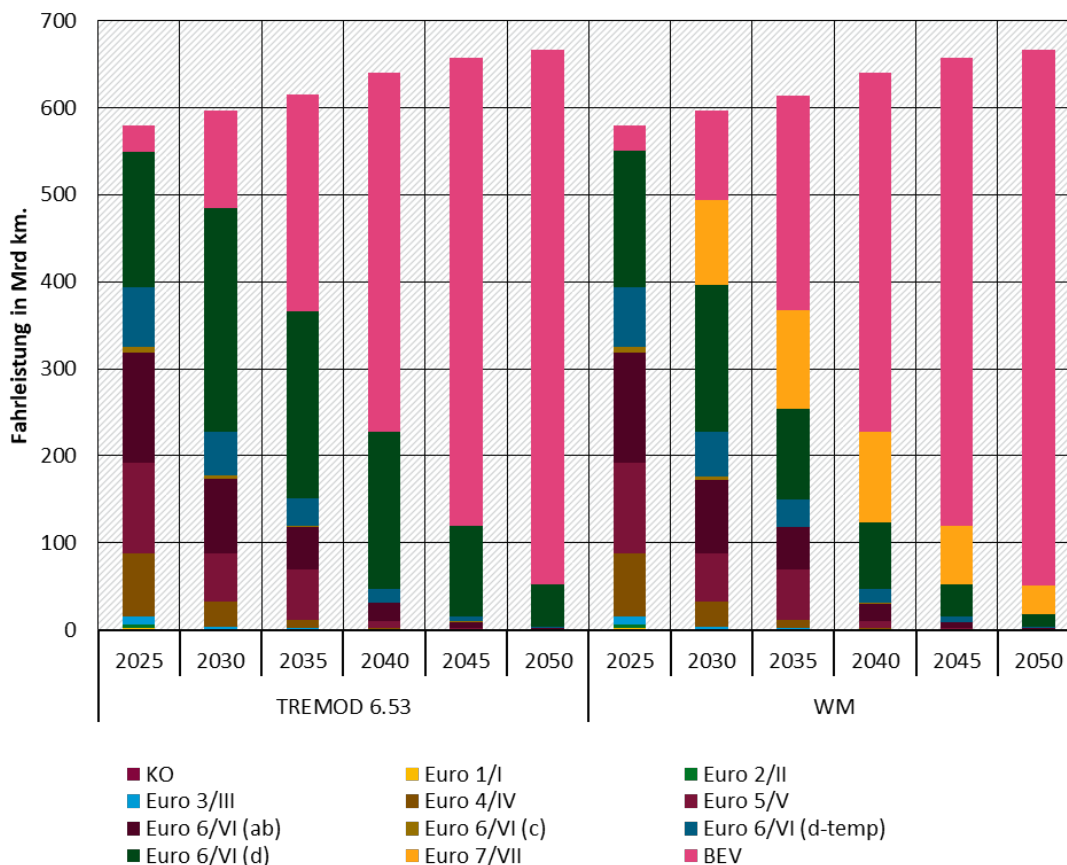
Emissionsstandard	2030	2035	2040	2050
vor Euro 6/VI (d)	21,0	11,0	4,6	0,3
Euro 6/VI (d)	12,0	9,3	6,0	1,2
Euro 7	5,9	8,3	6,8	2,5
BEV	8,6	19,3	31,0	45,2

3.2 Fahrleistungen

Die Fahrleistungen pro Fahrzeugkategorie und Straßenkategorie wurden im WM-Szenario gegenüber dem TREMOD-Trendszenario nicht geändert. Es ergibt sich lediglich eine neue Aufteilung der Fahrleistung durch die Flottenzusammensetzung nach Antrieb und Emissionsstandard (siehe voriges Kapitel). Die PKW-Fahrleistung steigt analog zum TREMOD-Trendszenario bis 2050 an, wobei der Anteil von BEV deutlich zunimmt, und zwischen 2035 und 2040 BEV bereits die Hälfte der PKW-Fahrleistung ausmachen (siehe Abbildung 4, links). Im WM-Szenario ist der Anteil der BEV aufgrund des reduzierten BEV-Hochlaufs bis 2030 nur geringfügig geringer als im TREMOD Trendszenario. Dafür ersetzen durch die Einführung der

Euro 7-Norm PKW mit Euro 7 in den Jahren 2030 bis 2050 zunehmend PKW mit Euro 6d. Aufgrund der CO₂-Flottengrenzwerte, welche ab 2035 nur noch Nullemissionsfahrzeuge erlauben, sinkt der Anteil der Euro 7-PKW an der Gesamtfahrleistung der PKW in den Folgejahren (siehe Abbildung 4, rechts).

Abbildung 4: PKW-Fahrleistung nach Emissionsstandard in TREMOD 6.53 und im WM-Szenario

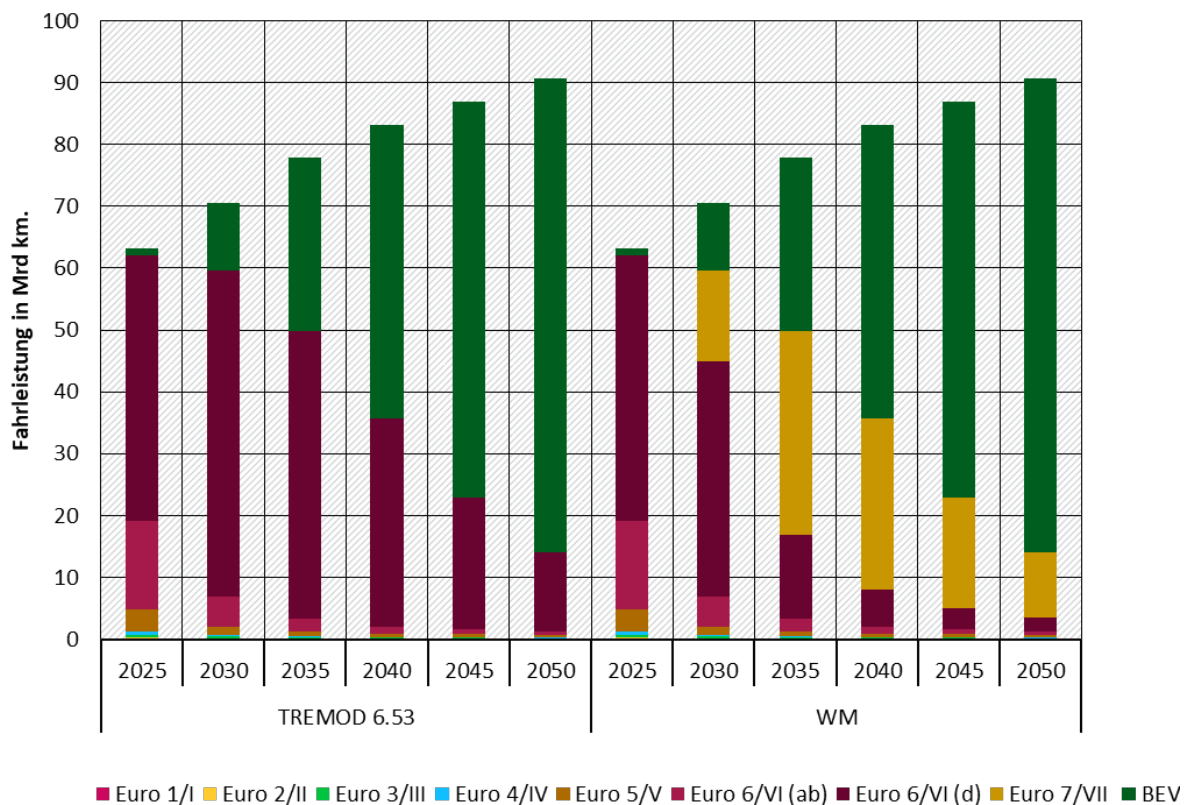


Quelle: ifeu-Graphik. Anmerkung: KO = Konventionell bzw. Euro 0.

Bei den SNF steigt die Fahrleistung im Trendszenario bis 2050 in Anlehnung an die gleitende Langfristprognose des BMDV deutlich stärker an als bei den PKW. Auch hier nimmt der Anteil von BEV an der Fahrleistung stark zu (Abbildung 5, links). Trotz der späteren Einführung von Euro 7 bei den SNF verglichen mit den PKW nimmt deren Anteil an der Fahrleistung ab dem Jahr 2030 u. a. wegen der kürzeren Lebenszeit sowie der hohen Fahrleistungen rasant zu. Im Jahr 2030 machen Euro 7 Fahrzeuge somit 21 % und BEV 15 % der SNF-Fahrleistung aus¹¹. Ab 2040 sinkt der Anteil der Euro 7 SNF gegenüber BEV SNF aufgrund des Rückgangs der Fahrleistung von Verbrenner-SNF insgesamt (Abbildung 5, rechts).

¹¹ In den Berechnungen wurde vereinfacht angenommen, dass die in Deutschland zugelassene SNF-Flotte repräsentativ für die in Deutschland erbrachte Fahrleistung, d.h. auch für ausländische SNF, ist.

Abbildung 5: SNF-Fahrleistung nach Emissionsstandard in TREMOD 6.53 und im WM-Szenario



Quelle: ifeu-Graphik. Anmerkung: KO = Konventionell bzw. Euro 0.

3.3 Emissionsfaktoren

Die Emissionsfaktoren des TREMOD-Trendszenarios stützen sich auf das HBEFA 4.2. Aufgrund neuer Erkenntnisse zu den Emissionen für Euro 7-Fahrzeuge sowie auch für Euro V und Euro VI Fahrzeuge, welche im Rahmen der Entwicklung des HBEFA 5.1 sowie im Parallelvorhaben des UBA "Nationale und internationale Abgasgesetzgebung bei PKW, leichten und schweren Nutzfahrzeugen" erhoben wurden, wurden für das WM-Szenario folgende Anpassungen vorgenommen.

Die Euro 7 – Emissionsfaktoren wurden von der Technischen Universität Graz mithilfe des PHEM-Modells simuliert und in aggregierter Form an ifeu übergeben. Diese berücksichtigen den Einfluss der Warmemissionen nach Verkehrssituation (Stop+Go, Urban, Rural, Highway), laufleistungsbedingte Verschlechterungsfaktoren, Kaltstartemissionen und für SNF und Busse Aufschläge durch Manipulation/Defekte der Abgasminderung (im Folgenden als „Tampering“ bezeichnet). Sie werden differenziert nach PKW, LNF und SNF sowie Benzin und Diesel. Für die Übernahme in das WM-Szenario wurden die Emissionsfaktoren für SNF für Busse übernommen und für Fahrzeuge mit Gasantrieb (LPG, CNG, LNG) die Faktoren von Benzin bzw. im Fall der SNF von Diesel übernommen. Die Werte der TU Graz wurden von g/km bei PKW und LNF bzw. g/kWh bei SNF und Bussen auf Grundlage des spezifischen Energieverbrauchs in kg/TJ umgerechnet, da diese Einheit im Zentrale System Emissionen (ZSE) des UBA verwendet wird.

Bei **PKW und LNF** kommt es trotz der unveränderten Grenzwerte im Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycle (WLTC) gegenüber Euro 6d zu Minderungen aufgrund folgender Effekte:

- Höhere Anforderungen bei den RDE-Tests, welche schon seit Euro 6e gelten und noch nicht in den Emissionsfaktoren des HBEFA 4.2 für Euro 6d enthalten sind.
- Höhere Dauerhaltbarkeitsanforderungen
- Prüfungen im Betrieb mit On-Board Monitoring (OBM)

Da Euro 7-PKW und LNF auch im Realbetrieb und auf Dauer (hohe Lebenszeiten, hohe Fahrleistungen) niedrige Emissionen gewährleisten müssen, wurde von der TU Graz angenommen, dass die Abgasminderungstechnik so ausgelegt wird, dass die Emissionen auch bei Neufahrzeugen und im WLTC niedriger sind als bei Euro 6d.

Für **SNF und Busse** wurden die Emissionsfaktoren für Euro 7 analog zu den PKW und LNF unter Berücksichtigung eines Sicherheitspuffers für die Dauerhaltbarkeit und RDE-Fahrten modelliert, wobei hier auch die Anforderungen im Typprüfzyklus WLTP gegenüber Euro V deutlich höher sind. Zusätzlich wurde aufgrund aktueller Erkenntnisse für das HBEFA 5.1 der Einfluss von Tampering berücksichtigt, welcher auch Euro V und Euro VI SNF und Fernlinien-/Reisebusse betrifft. Da betroffene Fahrzeuge quasi ohne Abgasnachbehandlung betrieben werden, sind die Emissionen je nach Emissionsstandard um das 3 bis 120 fache höher (Tampering Rate) als bei Neufahrzeugen bzw. nicht manipulierten Fahrzeugen. Die Anteile von Tampering betroffenen Fahrzeuge wurden basierend von Plume-Chasing Messungen für Euro V mit 31 % und Euro VI mit ca. 10 % angenommen, wobei es sich um europäische Durchschnittswerte handelt (Hausberger und Notter 2024). Für Euro 7 wird angenommen, dass der Tampering-Anteil aufgrund der Verpflichtung zur Onboard-Überwachung auf 5 % sinkt. Tabelle 7 zeigt die Annahmen zu Tampering für SNF und Reisebusse am Beispiel der NO_x-Emissionen.

Tabelle 7: Annahmen zu Tampering für SNF und Reisebusse am Beispiel NO_x-Emissionen

Emissionsstandard	Tampering Rate NO _x	Anteil Tampering an der Flotte	g NO _x /kWh ohne Tampering, 100% DF	g NO _x /kWh Flotte mit Tamperinganteil, 100% DF
Euro V	3,1	31 %	4,17	5,49
Euro VI abc	10	10 %	1,83	2,19
Euro VI de	35	10 %	0,70	1,25
Euro 7	120	5 %	0,12	0,30

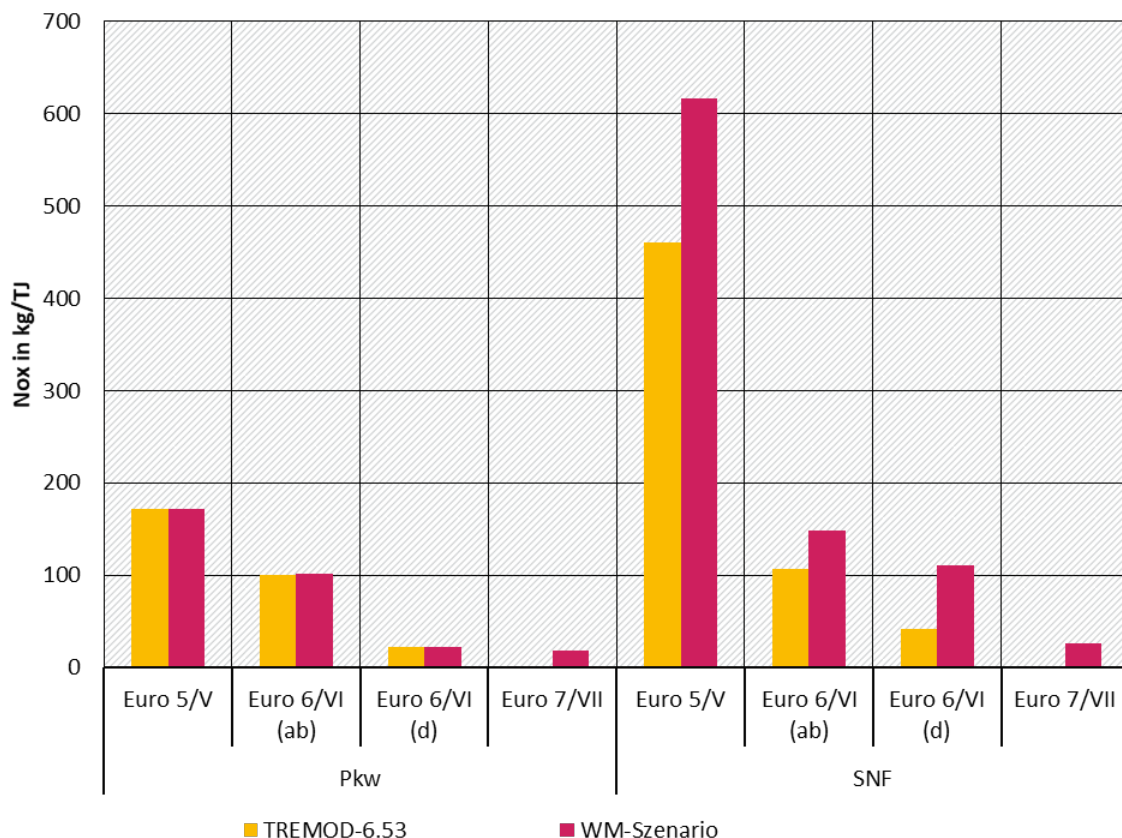
Anmerkung: DF – deterioration factor (Verschlechterungsfaktor).

Sowohl bei PKW und LNF als auch SNF und Bussen ist zu berücksichtigen, dass die Euro 7-Emissionsfaktoren auf Annahmen und nicht auf Messungen beruhen und dass Details zu OBM in den folgenden Durchführungsrechtsakten zu anderen Anforderungen führen können. Auch sind die hier verwendeten Emissionsfaktoren noch nicht die final für das HBEFA 5.1 verwendeten endgültigen Werte, da diese zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht vorlagen.

Abbildung 6 zeigt die durchschnittlichen NO_x-Emissionsfaktoren für den realen Betrieb, beispielhaft für das Jahr 2030, im aktualisierten WM-Szenario im Vergleich zu TREMOD 6.53. Euro 7 Verbrenner-PKW haben im aktualisierten WM-Szenario im Durchschnitt um 17 % geringere NO_x-Emissionen als Euro 6d Verbrenner-PKW. Bei den SNF ist die Minderung mit 76 % deutlich höher. Hierbei ist allerdings auch zu beachten, dass ein Großteil der absoluten

Minderung durch die Reduktion des Tampering erfolgt, welches bei Euro VI (d) zu erheblichen Mehremissionen führt, siehe Abbildung 6.

Abbildung 6: Durchschnittliche NO_x-Emissionsfaktoren für PKW und SNF in kg/TJ im Jahr 2030 in TREMOD 6.53 und dem WM-Szenario



Quelle: ifeu-Graphik

Tabelle 8 zeigt die durchschnittlichen Emissionsfaktoren für PKW und SNF für weitere Schadstoffe auf. Bei NO_x sind bei beiden Fahrzeugkategorien die Emissionen bei Euro 7 gegenüber Euro 6 d/VI d geringer. Bei PKW nehmen die Emissionen bei NH₃ und CO ab, während bei PM_{2.5} und NMHC eine Zunahme ermittelt wurde. Bei SNF kommt es zwischen Euro VI (d) und Euro 7 dagegen bei NH₃ und PM_{2.5} zu einer Erhöhung. Hierbei ist zu beachten, dass in Ableitung der Euro 7 Faktoren durch die TU Graz auch neuere Euro VI (d) bzw. Euro VI (e)-Messungen eingingen, welche im HBEFA 4.2 noch nicht berücksichtigt wurden. Die Anpassung der Euro VI-Faktoren in diesem Bericht bezog sich nur auf den Tampering-Aufschlag. Eine genauere Analyse inkl. der Warmemissionen wäre in zukünftigen Projektionen nach Erscheinen des HBEFA 5.1 durchzuführen.

Tabelle 8: Durchschnittliche Emissionsfaktoren für PKW und SNF mit Euro 5/V bis Euro 7 im WM-Szenario 2030 für verschiedene Schadstoffe in kg/TJ

Fahrzeugkategorie	Emissionsstandard	NH ₃	PM _{2.5}	NMHC	CO	SO ₂	NO _x
PKW	Euro 5	4,3	1,0	25,4	808,1	0,4	172,0
	Euro 6 (ab)	5,9	0,4	18,6	353,6	0,4	101,4

Fahrzeugkategorie	Emissionsstandard	NH ₃	PM _{2,5}	NMHC	CO	SO ₂	NO _x
	Euro 6 (d)	5,6	0,4	16,4	191,9	0,4	22,8
	Euro 7	5,2	0,5	18,5	8,3	0,4	19,0
SNF	Euro V	1,4	4,6	4,3	328,8	0,4	616,6
	Euro VI (ab)	1,8	1,5	2,9	39,0	0,4	148,1
	Euro VI (d)	1,3	0,3	3,6	11,1	0,4	110,1
	Euro 7/VII	1,6	1,0	3,1	9,1	0,4	26,4

Anmerkung: Die durchschnittlichen Emissionsfaktoren sind über den Anteil am Energieverbrauch gewichtet nach Antrieb, Alter und Straßenkategorie. In der Emissionsberechnung werden diese Faktoren differenziert.

Unterschied bei Euro 7 im aktualisierten WM-Szenario zum WAM-Szenario des NLRP 2023

Die im NLRP 2023 (Allekotte et al. 2023) für das WAM-Szenario verwendeten Emissionsfaktoren für Euro 7 Fahrzeuge wurden nach derselben Methodik wie in dieser Studie und ebenfalls von der TU Graz abgeleitet. Da der finale Rechtsakt der Euro 7-Gesetzgebung zu dem damaligen Zeitpunkt noch nicht vorlag, wurden die Emissionsfaktoren jedoch auf Grundlage von Szenarien des CLOVE-Konsortiums abgeleitet. In einer aktualisierten Version des WAM-Szenarios im Jahr 2024 wurden die Anforderungen des Vorschlags der EU-Kommission (EU 2022) berücksichtigt. In beiden Fällen wurden sowohl für PKW und LNF als auch SNF ambitioniertere Grenzwerte für Euro 7 vorgeschlagen als im finalen Rechtsakt. Tiefergehende Analysen zur Wirkung der verschiedenen Ausgestaltungen auf die Emissionen des Verkehrs werden im UBA-Projekt "Nationale und internationale Abgasgesetzgebung bei PKW, leichten und schweren Nutzfahrzeugen" durchgeführt, das im Jahr 2025 veröffentlicht werden soll.

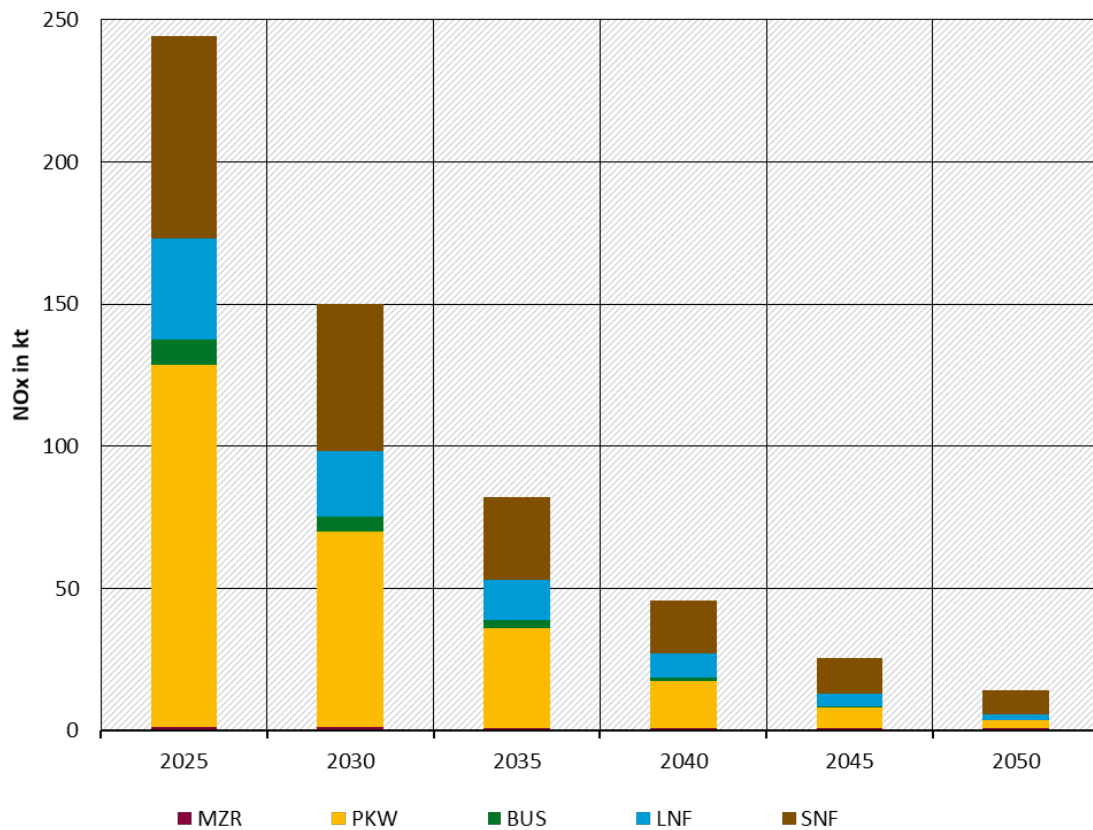
3.4 Ergebnisse zu den Emissionen des Verkehrs

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse des aktualisierten WM-Szenarios für den Straßenverkehr dargestellt und erläutert.

3.4.1 Ergebnisse des WM-Szenarios

Die NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs sinken im WM-Szenario zwischen 2025 bis 2030 um 39 % und von 2025 bis 2050 um 94 %. Während im Jahr 2025 die PKW noch den größten Anteil an den NO_x-Emissionen ausmachen, verschiebt sich dieser in den Folgejahren zunehmend auf den Straßengüterverkehr und insbesondere die SNF (Abbildung 7).

Abbildung 7: NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs im WM-Szenario nach Fahrzeugkategorie



Quelle: ifeu-Graphik.

Auch bei allen anderen betrachteten abgasbedingten Schadstoffen sinken die Emissionen des Straßenverkehrs im WM-Szenario zukünftig (Tabelle 9).

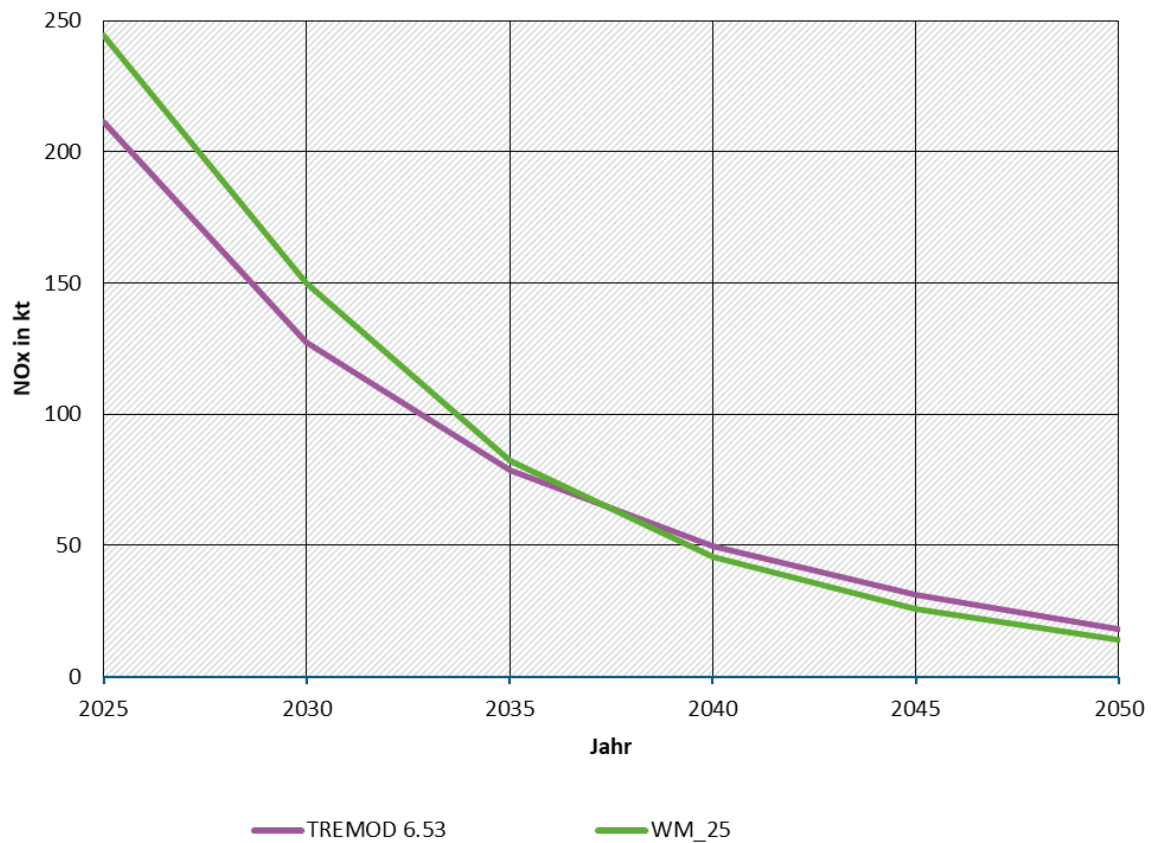
Tabelle 9: Emissionen des Straßenverkehrs im WM-Szenario in Kilotonnen (kt)

Schadstoff	2025	2030	2035	2040	2050
NH ₃	8,86	7,85	6,23	4,02	1,05
BC	1,50	0,87	0,58	0,40	0,20
PM _{2.5} (Abgas)	4,08	3,07	2,43	1,82	0,98
NMHC	66	56	46	34	16
CO	637	440	278	158	53
SO ₂	0,74	0,67	0,52	0,33	0,10
NO _x	244,43	149,96	82,29	45,84	14,25

3.4.2 Vergleich der Ergebnisse mit Trendszenario in TREMOD 6.53

Gegenüber TREMOD 6.53 sind die NO_x-Emissionen in den Jahren 2025 bis 2035 im aktualisierten WM-Szenario höher und nach 2035 niedriger als im TREMOD-Trendszenario (Abbildung 8).

Abbildung 8: NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs im WM-Szenario und im TREMOD-Trendszenario von 2025 bis 2050

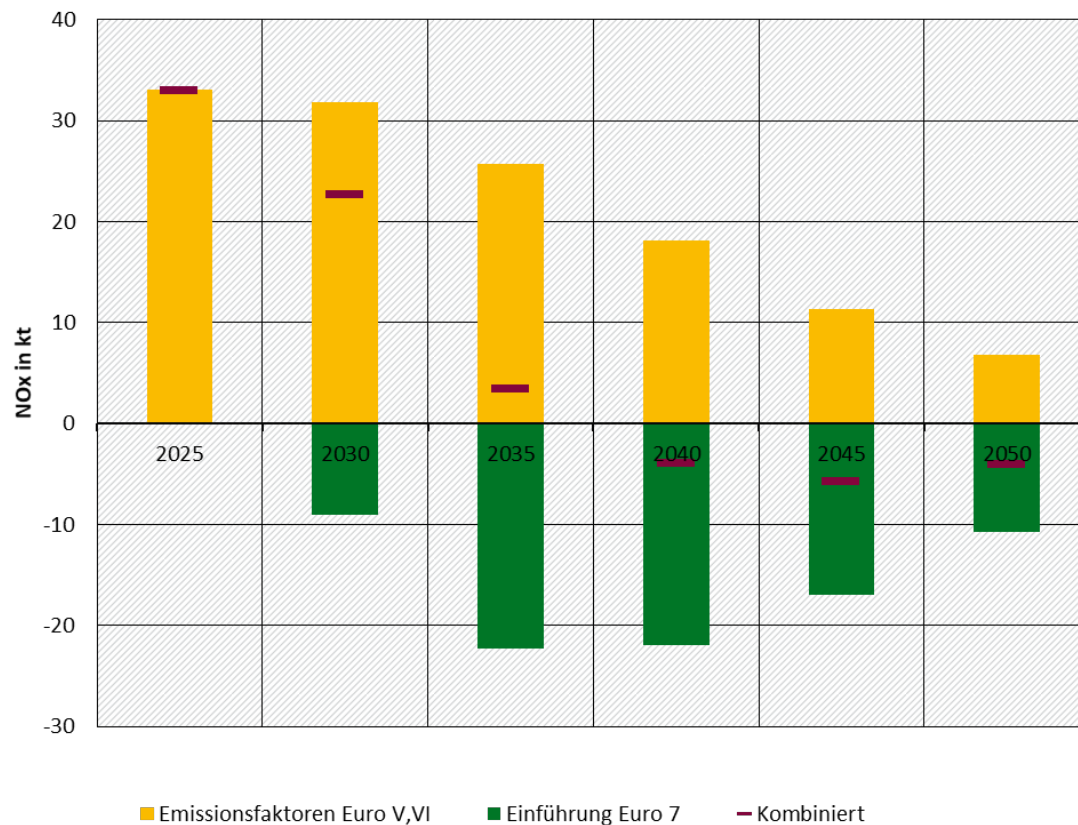


Quelle: ifeu-Graphik.

Ursachen dafür sind, zum einen dass sich durch die Berücksichtigung des Tampering bei SNF mit Euro V und Euro VI im WM-Szenario die Emissionen bereits im Jahr 2025 erhöhen und die Wirkung in den Folgejahren aufgrund des Ausscheidens dieser Fahrzeuge sinkt und zum anderen ist der Elektroanteil bei PKW in diesem Zeitraum niedriger. Mit zunehmender Durchdringung von Euro 7 in der Verbrennerflotte sinken die NO_x-Emissionen. Im Jahr 2030 würden somit 8 kt NO_x gegenüber einem WM-Szenario ohne Euro 7¹² reduziert. Die Minderung durch Euro 7 ist im Jahr 2035 und 2040 mit mehr als 20 kt NO_x am höchsten und nimmt dann ab, da immer mehr Elektrofahrzeuge in den Bestand kommen und die Verbrennerflotte insgesamt abnimmt. Die Erhöhung der Emissionen durch Tampering bei Euro V/VI und die Minderung durch Euro 7 im WM-Szenario gegenüber dem TREMOD-Trendszenario kompensieren sich zum Teil (Abbildung 9).

¹² Sog. Leave-One-Out Ansatz

Abbildung 9: Einfluss der Änderungen im WM-Szenario auf die NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs gegenüber dem TREMOD-Trendszenario



Quelle: ifeu-Graphik.

3.4.3 Vergleich zu früheren Szenarien des NLRP und Maßnahmenwirkung

Die im aktualisierten WM-Szenario (im folgenden WM_25 genannt) berücksichtigten Maßnahmen wurden zum Teil schon in früheren Szenarien des NLRP bewertet. Diese werden hier als draft_WM_23 und draft_WAM_23, siehe (Allekotte et al. 2023) und WM_23 und WAM_23 bezeichnet. Bei den letzteren beiden Szenarien handelt es sich um eine Aktualisierung der Szenarien aus Allekotte et al. (2023), welche im Zuge der Verhandlung des nationalen Luftreinhalteprogrammes (NLRP 2023) ebenfalls von ifeu in Zusammenarbeit mit der TU Graz durchgeführt wurde, siehe Kurzdokumentation im IIR (UBA 2024). Die folgende Auflistung und Tabelle 10 geben einen Überblick zu den berücksichtigten Maßnahmen und Effekten.

- Das Tampering bei SNF wurde erstmals im WM_23 aufgrund von ersten Daten aus Plume-Chasing Messkampagnen berücksichtigt. Die Auswertung wurde von der TUG durchgeführt und im WM_25 aktualisiert.
- Die Erweiterung der Lkw-Maut und Förderung der Elektromobilität werden im WM_25, draft_WAM_23 und WAM_23 berücksichtigt jedoch mit unterschiedlicher Parametrisierung. Das WAM_23 geht von der Erfüllung des Zieles der Bundesregierung von 15 Mio. BEV im Jahr 2030 aus und ist damit in Bezug auf die Elektromobilität deutlich ambitionierter als das aktuelle WM-Szenario. Aus Sicht der Autoren kann dieses Ziel mit den angenommenen Maßnahmen nicht erreicht werden (vgl. Kapitel 2.2).

- Eine Euro 7-Gesetzgebung wurde neben dem WM-Szenario 2025 (WM_25) auch bereits in den beiden vorigen WAM-Szenarien (draft_WAM_23, WAM_23) berücksichtigt. Die Grenzwerte im finalen Rechtsakt sind jedoch weniger ambitioniert als die Annahmen in den vorher herangezogenen CLOVE-Szenarien und im Kommissionsvorschlag.

Tabelle 10: Berücksichtigte Effekte in den verglichenen Szenarien

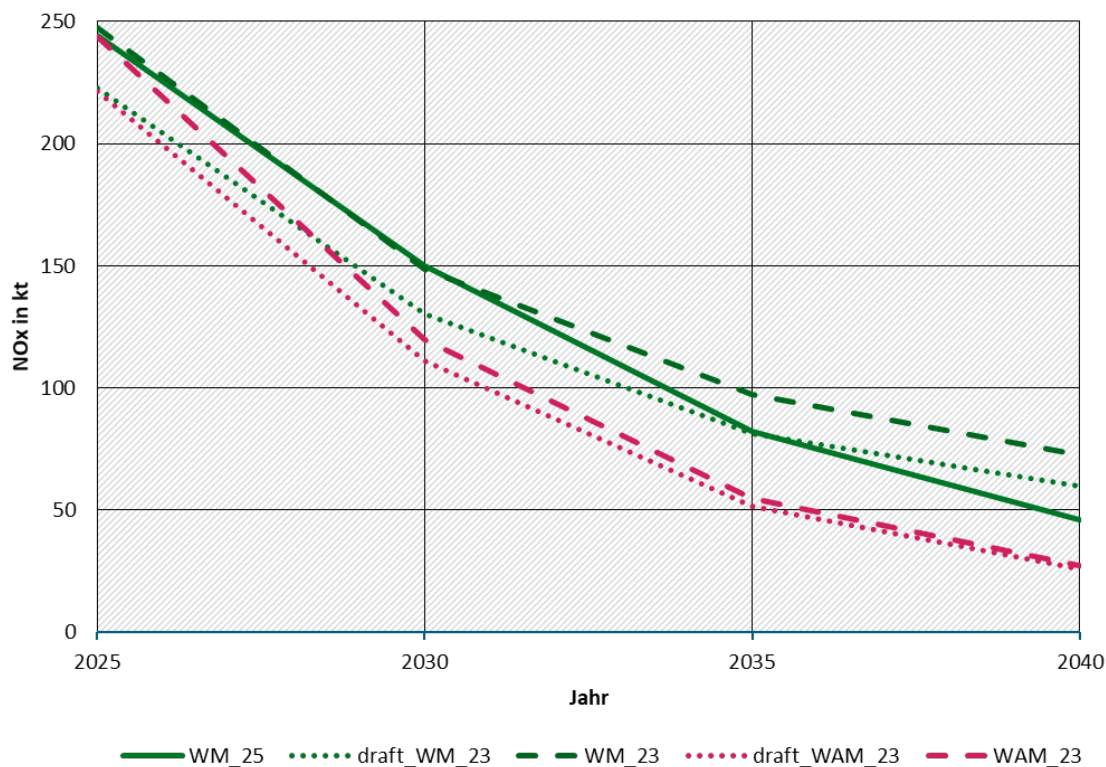
Effekte	WM_25	draft_WM_23	draft_WAM_23	WM_23	WAM_23
Tampering SNF	Ja (Euro V+VI)	Nein	Nein	Ja (Euro VI)	Ja (Euro VI)
Erweiterung Lkw-Maut	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja
Förderung Elektromobilität	Ja (8,6 Mio BEV-PKW 2030)	Nein (4,4 Mio BEV-PKW 2030)	Ja (10,1 Mio BEV-PKW 2030)	Nein (4,4 Mio BEV-PKW)	Ja (15 Mio BEV-PKW 2030)
Euro 7	Ja (finaler Rechtsakt)	Nein	Ja (CLOVE-Szenario)	Nein	Ja (COM-Vorschlag)

Abbildung 10 zeigt die Entwicklung der NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs von 2025 bis 2040 in den verschiedenen Szenarien.

- Im Jahr 2025 ergeben sich vor allem durch das Tampering Unterschiede, weswegen die Emissionen im draft_WM_23 und draft_WAM_23 geringer sind als in den anderen Szenarien.
- In allen Szenarien sinken die NO_x-Emissionen zwischen 2025 und 2050 deutlich. Die höchste Minderung wird im WAM_23 erreicht, da diesem Szenario die ambitioniertesten Annahmen zur Elektromobilität und Euro 7 zugrunde liegen.
- Das WM_25 liegt im Jahr 2030 mit ca. 150 kt NO_x auf ähnlichem Niveau wie das WM_23¹³ und damit deutlich über dem WAM_23. Nach 2030 sind die NO_x-Emissionen im WM_25 aufgrund der Wirkung von Euro 7 geringer als im WM_23, aber höher als im draft_WAM_23 und WAM_23.

¹³ Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass sich die höhere Anzahl von BEV-PKW im WM_23 und die Berücksichtigung von Tampering bei Euro V im WM_25 in Bezug auf die Netto-Emissionen kompensieren.

Abbildung 10: NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs im WM- und WAM-Szenarien



Quelle: ifeu-Graphik.

Eine Wirkungsabschätzung der Maßnahmen war im Rahmen der Aktualisierung der Projektionen nicht notwendig, da diese bereits im WM-Szenario enthalten sind und die Erstellung eines aktualisierten WAM-Szenarios aufgrund der projizierten Einhaltung sämtlicher Reduktionsverpflichtungen der NEC-Richtlinie nicht mehr erforderlich war. Mit dem Leave-One-Out Ansatz konnte jedoch die Wirkung für Euro 7 für das WM_25 (siehe voriges Kapitel) abgeschätzt werden. Weitere Analysen zu Euro 7 wurden in den vorigen WAM-Szenarien gemacht, auf welche hier Bezug genommen wird.

- Im WM_25 werden durch Euro 7 im Jahr 2030 ca. 8 kt NO_x-Emissionen gemindert.
- In den Analysen für das draft_WAM_23, siehe (Allekotte et al. 2023), wurde für das Jahr 2030 für Euro 7 eine Reduktion von fast 14 kt NO_x berechnet. Hierbei spielen jedoch verschiedene Effekte zusammen: Die strengere Ausgestaltung der Euro 7-Gesetzgebung und der höhere Verbrenner-Bestand im damaligen WM-Szenario erhöhen die Reduktion durch Euro 7. Die Nicht-Berücksichtigung des Tamperings bei Euro-V und VI führt wiederum zu geringeren Reduktionen durch Euro 7.
- In den Analysen für das WAM_23 wurden mehrere Kombinationen aus mit/ohne Euro 7 und schwacher/starker Hochlauf der Elektromobilität untersucht, da die Wirkung von Euro 7 vom zukünftigen Anteil der Verbrenner abhängt. Es ergibt sich für das Jahr 2030 eine Minderung durch Euro 7 von ca. 14 kt NO_x, wenn ein starker Hochlauf der Elektromobilität (WAM_23) angenommen wird und 22 kt NO_x, wenn ein schwacher Hochlauf (WM_23) angenommen wird.

4 Fazit

Im Rahmen der Aktualisierung der Projektionen zur Berichterstattung am 14. März 2025 wurde festgestellt, dass die Maßnahmen bzw. Maßnahmenbündel Ausweitung der Lkw-Maut, Förderung der Elektromobilität und Euro 7 bereits umgesetzt sind und daher im WM-Szenario berücksichtigt werden müssen. Für die aktualisierte Berechnung der Emissionen im WM-Szenario (WM_25) wurde das TREMOD-Trendszenario der Version 6.53 verwendet und in Bezug auf den Hochlauf von BEV-PKW, Euro 7 und die Emissionsfaktoren für SNF mit Euro V bis VI angepasst. Hierbei wurde auf Erkenntnisse aus der laufenden Entwicklung des HBEFA 5.1 zurückgegriffen. Die Projektionen für den Verkehr sind damit, soweit es die zum Zeitpunkt der Analyse verfügbaren Daten und Quellen erlaubten, auf einem aktuellen Stand.

Die NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs im aktualisierten WM-Szenario (WM_25) sind höher als im WAM-Szenario des NLRP 2023 (WAM_23), da die Umsetzung der Maßnahmen Euro 7 und Förderung der Elektromobilität im Moment als weniger wirkungsvoll bewertet wird als im WAM-Szenario des NLRP 2023 zunächst angenommen. Hierbei ist zum einen die weniger strenge Gesetzgebung für Euro 7 im finalen Rechtsakt im Jahr 2024 gegenüber dem Vorschlag der EU-Kommission von 2023 hervorzuheben. Zum anderen ist der Wegfall der Anschaffungsförderung für Elektrofahrzeuge und die zusammen mit anderen Effekten dadurch verursachte Stagnation bzw. der langsamere Markthochlauf bei Elektro-PKW zu nennen. Mit den aktuell beschlossenen Maßnahmen liegen die NO_x-Emissionen im aktualisierten WM-Szenario (WM_25) trotzdem weiterhin deutlich geringer als im WM-Szenario des NLRP 2023 (WM_23).

Die gezeigten Einflussfaktoren, z. B. der Einfluss von Tampering auf die Emissionen der Euro VI-SNF, und Wechselwirkungen bei der Maßnahmenwirkung, z. B. das Zusammenspiel von Euro 7 und Elektromobilität, verdeutlichen, dass die Emissionsprognosen und Maßnahmenwirkungen diversen Abhängigkeiten und damit auch Unsicherheiten unterliegen. Dem wird durch regelmäßige Aktualisierungen der Projektionen bereits Rechnung getragen. Die Autoren empfehlen insbesondere, dass mit der Veröffentlichung des HBEFA 5.1 und dessen Integration in TREMOD eine weitere Aktualisierung der Emissionsprojektionen im Straßenverkehr erfolgen sollte.

Die Überprüfung der Einhaltung der Reduktionsverpflichtungen der NEC-Richtlinie, u. a. mithilfe der hier erstellten Projektionen, erfolgt sektorübergreifend und für alle Schadstoffe durch das Umweltbundesamt und war nicht Gegenstand dieser Studie.

5 Quellenverzeichnis

- Allekotte, M.; Heidt, C.; Schneider, C.; Tönges-Schuller, N. (2023): Bewertung von Emissionsminderungspotenzialen zusätzlicher Verkehrsmaßnahmen. ifeu und AVISO im Auftrag des Umweltbundesamtes.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/110_2023_texte_bewertung_von_emissionsminderungspotenzialen_zusaetzlicher_verkehrsmassnahmen.pdf (08.08.2023).
- BfJ (2020): Kraftfahrzeugsteuergesetz 2002 (KraftStG 2002). <https://www.gesetze-im-internet.de/kraftstg/BJNR005090927.html>. (19.11.2024).
- BMDV (2024): BMDV - Gesetz über die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge (Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz). In: *Umsetzung der Clean Vehicles Directive*.
<https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/clean-vehicles-directive.html>. (19.11.2024).
- BMI (2021): Fahrzeuge des Bundes und Energiewende: Die Reinheit macht's.
<https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/kurzmeldungen/DE/2021/03/fahrzeuge-des-bundes-energiewende.html>. (19.11.2024).
- BPA (2024): Steuerliche Förderung von E-Dienstwagen | Bundesregierung. In: *Signal für klimafreundliche Mobilität*. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/bundesregierung/gesetzesvorhaben/kabinetts-wachstumsinitiative-2306106>. (19.11.2024).
- Breed, A. K.; Speth, D.; Plötz, P. (2021): CO2 fleet regulation and the future market diffusion of zero-emission trucks in Europe. In: *Energy Policy*. Vol. 159, S. 112640. DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112640.
- EU (2022): Commission proposes new Euro 7 standards to reduce pollutant emissions from vehicles and improve air quality. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_6495. (18.11.2022).
- EU (2023): Verordnung (EU) 2023/851 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. April 2023 zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/631 im Hinblick auf eine Verschärfung der CO2- Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge im Einklang mit den ehrgeizigeren Klimazielen der Union. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R0851&qid=1710487132271> (15.03.2024).
- EU (2024): Verordnung (EU) 2024/1257 des Europäischen Parlaments und des Rates von April 2024 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Motoren sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge hinsichtlich ihrer Emissionen und der Dauerhaltbarkeit von Batterien (Euro 7), Amtsblatt der Europäischen Union. Brussels. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401257.
- Hausberger, S.; Notter, B. (2024): HBEFA 5.1 Outlook. Beitrag Fachkonferenz: ERMES Plenary, November 12th, 2024. https://ermes-group.eu/sites/default/files/2024-12/1.2_Hausberger.pdf (09.04.2025).
- Kasten, P.; Jöhrens, J. (2022): Die Einbindung der Elektromobilität in die THG-Quote. Öko-Institut e. V. und ifeu Heidelberg, Berlin, Heidelberg. <https://www.bmv.de/presse/fragen-und-antworten-faq/fragen-und-antworten-zur-anrechnung-von-strom-in-elektrofahrzeugen-im-rahmen-der-thg-quote> (19.11.2024).
- Kluth, T.; Rudolf, A.; Kotzagiorgis, S. (2023): Gleitende Langfrist-Verkehrsprognose 2021-2022. Intraplan Consult GmbH und TTS Trimode Transport Solutions im Auftrag des BMDVGmbH.
https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/prognose-berichtgleitende-langfrist-verkehrsprognose.pdf?__blob=publicationFile (19.11.2024).
- Mulholland, E. (2024): The revised CO2 standards for heavy-duty vehicles in the European Union. ICCT. https://theicct.org/wp-content/uploads/2024/05/ID-130-%E2%80%93-EU-CO2_policy_update_final.pdf (19.11.2024).

NOW GmbH (2023): Marktentwicklung klimafreundlicher Technologien im schweren Straßengüterverkehr. Auswertung der Cleanroom-Gespräche 2022 mit Nutzfahrzeugherstellern. <https://www.klimafreundliche-nutzfahrzeuge.de/wp-content/uploads/2023/02/Marktentwicklung-klimafreundlicher-Technologien-im-schweren-Strassengueterverkehr.pdf> (28.02.2023).

NOW GmbH (2024): Marktentwicklung klimafreundlicher Technologien im schweren Strassengueterverkehr 2024. <https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2024/11/Marktentwicklung-klimafreundlicher-Technologien-im-schweren-Strassengueterverkehr-2024.pdf> (15.11.2024).

UBA (2024): German Informative Inventory Report - Additional measures that have not yet been implemented are assigned to the WAM scenario. UBA (Hrsg), <https://iir.umweltbundesamt.de/2024/general/projections/wam-scenario>. (15.04.2025).