

TEXTE

176/2024

# Modellierung der Umweltwirkung von Tempolimit-Maßnahmen auf Autobahnen und außerorts

**von:**

Markus Friedrich, Jürgen Bawidamann, Matthias Schmaus  
Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik –  
Institut für Straßen- und Verkehrswesen (ISV) –  
Universität Stuttgart

Jörg Uhlig, Ralf Lohse, Eric Pestel  
PTV Transport Consult GmbH

**Herausgeber:**

Umweltbundesamt



TEXTE 176/2024

Projektnummer 179256

FB001495

# **Modellierung der Umweltwirkung von Tempolimit-Maßnahmen auf Autobahnen und außerorts**

von

Markus Friedrich, Jürgen Bawidamann, Matthias  
Schmaus

Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik –  
Institut für Straßen- und Verkehrswesen (ISV) –  
Universität Stuttgart

Jörg Uhlig, Ralf Lohse, Eric Pestel  
PTV Transport Consult GmbH

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](mailto:buergerservice@uba.de)  
Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

### Durchführung der Studie:

Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik – Institut für Straßen- und Verkehrswesen (ISV) – Universität Stuttgart  
Pfaffenwaldring 7  
70569 Stuttgart4

### Abschlussdatum:

März 2024

### Redaktion:

Fachgebiet I 2.1 – Umwelt und Verkehr  
Manuel Hendzlik

Publikationen als pdf:

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

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Dezember 2024

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

### **Kurzbeschreibung: Modellierung der Umweltwirkung von Tempolimit-Maßnahmen auf Autobahnen und außerorts**

Das Forschungsprojekt untersucht, welche Auswirkungen unterschiedliche Tempolimits auf Autobahnen und im Außerortsbereich in Deutschland auf die Fahrleistung sowie auf die verursachten Treibhausgasemissionen und Luftschadstoffemissionen (Stickoxide und Feinstaub) haben. Folgende Szenarien werden betrachtet, wobei die erste Zahl die maximal zulässige Geschwindigkeit auf Autobahnen sowie auf autobahnähnlich ausgebauten Straßen (Kraftfahrstraßen), die zweite Zahl die maximal zulässige Geschwindigkeit auf allen anderen Außerortsstraßen angibt: T130/100, T120/100, T130/80, T120/80, T100/80.

Sowohl methodisch als auch mit Bezug auf die Datengrundlagen ist die Untersuchung an die UBA-Studie „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung“ (Schmaus et al. 2023) angelehnt. Für die Berechnung der Emissionswirkung der Tempolimit-Szenarien werden die Emissionsfaktoren des Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) verwendet. Die Wirkung einer veränderten Fahrweise aufgrund veränderter Tempolimits auf betroffenen Streckenabschnitten wird durch eine Änderung der jeweiligen HBEFA-Straßenkategorie abgebildet. Zusätzlich wird mit Hilfe von Verkehrsnachfragemodellen die Wirkung der Szenarien auf die Routenwahl sowie die Verkehrsmittelwahl untersucht.

Die Kombination aus Geschwindigkeitseffekten, Routenwahleffekten und Nachfrageeffekten führt bei den Emissionen des gesamten Straßenverkehrs (inkl. schwere Nutzfahrzeuge und weitere Fahrzeugkategorien) zu folgenden Rückgängen: THG-Emissionen zwischen 2,2 % (T130/100) und 8,1 % (T100/80), NO<sub>x</sub>-Emissionen zwischen 5,1 % (T130/100) und 16,1 % (T100/80) und PM-Emissionen zwischen 3,6 % (T130/100) und 11,4 % (T100/80). Dabei entfallen etwa 75 % der Rückgänge auf die Geschwindigkeitseffekte. Die Routenwahl- und Nachfrageeffekte reduzieren die Pkw-Fahrleistung zwischen 0,7 % (T130/100) und 4,3 % (T100/80).

### **Abstract: Modelling the environmental impact of speed limit measures on motorways and rural highways**

The research project investigates the impact of different speed limits on motorways and rural highways in Germany on distances travelled, greenhouse gas emissions and air pollutant emissions (nitrogen oxides and particulate matter). The following scenarios are considered, with the first number indicating the maximum speed limit (km/h) on motorways and motorway-like roads and the second number indicating the maximum speed limit on all other roads outside built-up areas: T130/100, T120/100, T130/80, T120/80, T100/80.

The study is based on the UBA study 'Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung' (Schmaus et al. 2023), both methodologically and with regard to the underlying data. The emission factors from the Handbook of Emission Factors for Road Transport (HBEFA) are used to map the emission effects of the speed limit scenarios. The impact of changes in driving behaviour due to changed speed limits on affected road sections is modelled by modifying the respective HBEFA road category. In addition, travel demand models are used to determine the impact of the scenarios on route choice and mode choice.

The combination of speed effects, route choice effects and demand effects leads to the following reductions in emissions from road transport as a whole (including heavy goods vehicles and other vehicle categories): GHG emissions between 2.2 % (T130/100) and 8.1 % (T100/80), NO<sub>x</sub> emissions between 5.1 % (T130/100) and 16.1 % (T100/80) and PM emissions between 3.6 % (T130/100) and 11.4 % (T100/80). The speed effects account for around 75 % of the reductions. The route choice and demand effects reduce the car distance travelled between 0.7 % (T130/100) and 4.3 % (T100/80).

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	7
Tabellenverzeichnis.....	7
Abkürzungsverzeichnis.....	9
1 Hintergrund und Ziel der Untersuchung.....	10
2 Vorgehen und Berechnungsmethodik.....	11
2.1 Grundlagen aus der Studie Flüssiger Verkehr.....	11
2.2 Wirkungszusammenhänge.....	14
2.3 Berechnungsmethode Emissionen.....	16
2.4 Berechnungsmethode Verkehrsnachfrage und Verkehrsstärke.....	17
3 Ergebnisse.....	21
3.1 Wirkungen auf die Geschwindigkeiten und die Reisezeit.....	21
3.2 Wirkung auf die Fahrleistung.....	23
3.3 Wirkung auf die THG-Emissionen.....	25
3.4 Wirkung auf die Luftschadstoffemissionen.....	27
4 Einordnung der Ergebnisse.....	30
4.1 Vergleich mit bisherigen Studienergebnissen.....	30
4.2 Wirkungen auf den Schienenverkehr.....	31
4.3 Übertragbarkeit der Ergebnisse.....	32
5 Quellenverzeichnis.....	35
A Anhang.....	37
A.1 Fahrleistungsanteile auf direkt betroffenen Straßenkategorien im Ausgangszustand.....	37
A.2 Ergebnisse der Tempolimit-Szenarien.....	42

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Pkw-Emissionsfaktoren auf Autobahnen bei unterschiedlichen Tempolimits.....	15
Abbildung 2:	Zeitaufwand für die Pkw-Nutzung für eine Person mit einem durchschnittlichen Verkehrsverhalten (Stunden pro Jahr) .....	22
Abbildung 3:	Relative Änderung der Fahrleistung des Pkw-Verkehrs .....	23
Abbildung 4:	Relative Änderung der Fahrleistung des gesamten Straßenverkehrs .....	24
Abbildung 5:	Relative Änderung der Fahrleistung des gesamten Straßenverkehrs nach Autobahnen und anderen Straßen .....	25
Abbildung 6:	Relative Änderung der THG-Emissionen des Pkw-Verkehrs.....	26
Abbildung 7:	Relative Änderung der THG-Emissionen des gesamten Straßenverkehrs .....	26
Abbildung 8:	Relative Änderung der NO <sub>x</sub> -Emissionen des Pkw-Verkehrs .....	27
Abbildung 9:	Relative Änderung der PM-Emissionen des Pkw-Verkehrs .....	28
Abbildung 10:	Relative Änderung der NO <sub>x</sub> -Emissionen des gesamten Straßenverkehrs .....	29
Abbildung 11:	Relative Änderung der PM-Emissionen des gesamten Straßenverkehrs .....	29
Abbildung 12:	Nachfrage und Nachfragezuwachs im Schienenpersonenverkehr (Mrd. Personenkilometer pro Jahr) .....	32

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Anteile der Pkw-Fahrleistung auf von Tempolimit-Szenarien direkt betroffenen Autobahn-Straßenkategorien nach Verkehrszuständen.....	13
Tabelle 2:	Anteile der Pkw-Fahrleistung auf von Tempolimit-Szenarien direkt betroffenen Außerorts-Straßenkategorien nach Verkehrszuständen.....	13
Tabelle 3:	Randsummen der Fahrleistung je Fahrzeugkategorie.....	14
Tabelle 4:	Elastizität der Pkw-Nachfrage bezogen auf Reisezeitänderungen .....	19
Tabelle 5:	Änderung der mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten in den Szenarien .....	21
Tabelle 6:	Vergleich der THG-Wirkung der Szenarien mit bisherigen Untersuchungen .....	30
Tabelle 7:	Eingesparte Treibhausgasemissionen im Pkw-Verkehr für die Zeiträume 2025 – 2030 und 2031 – 2035 basierend auf dem MMS-Szenario des Projektionsberichtes 2024.....	34

Tabelle 8:	Eingesparte Treibhausgasemissionen im gesamten Straßenverkehr für die Zeiträume 2025 – 2030 und 2031 – 2035 basierend auf dem MMS-Szenario des Projektionsberichtes 2024.....	34
Tabelle 9:	Anteile der LNF-Fahrleistung auf von Maßnahmen betroffenen Autobahn-Straßenkategorien nach Verkehrszuständen.....	37
Tabelle 10:	Anteile der LNF-Fahrleistung auf von Maßnahmen betroffenen Außerorts-Straßenkategorien nach Verkehrszuständen.....	37
Tabelle 11:	Anteile der SNF-Fahrleistung auf von Maßnahmen betroffenen Autobahn-Straßenkategorien nach Verkehrszuständen.....	38
Tabelle 12:	Anteile der SNF-Fahrleistung auf von Maßnahmen betroffenen Außerorts-Straßenkategorien nach Verkehrszuständen.....	38
Tabelle 13:	Anteile der RBus-Fahrleistung auf von Maßnahmen betroffenen Autobahn-Straßenkategorien nach Verkehrszuständen.....	39
Tabelle 14:	Anteile der RBus-Fahrleistung auf von Maßnahmen betroffenen Außerorts-Straßenkategorien nach Verkehrszuständen.....	39
Tabelle 15:	Anteile der LBus-Fahrleistung auf von Maßnahmen betroffenen Autobahn-Straßenkategorien nach Verkehrszuständen.....	40
Tabelle 16:	Anteile der LBus-Fahrleistung auf von Maßnahmen betroffenen Außerorts-Straßenkategorien nach Verkehrszuständen.....	40
Tabelle 17:	Anteile der KR/MR-Fahrleistung auf von Maßnahmen betroffenen Autobahn-Straßenkategorien nach Verkehrszuständen.....	41
Tabelle 18:	Anteile der KR/MR-Fahrleistung auf von Maßnahmen betroffenen Außerorts-Straßenkategorien nach Verkehrszuständen.....	41
Tabelle 19:	Wirkung der Szenarien auf die Fahrleistung (in %) .....	42
Tabelle 20:	Wirkung der Szenarien auf die THG-Emissionen (in %).....	42
Tabelle 21:	Wirkung der Szenarien auf die NO <sub>x</sub> -Emissionen (in %) .....	43
Tabelle 22:	Wirkung der Szenarien auf die PM-Emissionen (in %) .....	43

## Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
CO <sub>2äq</sub>	CO <sub>2</sub> -Äquivalente
FCD	Floating Car Data
FKZ	Forschungskennzahl
FRC	Functional Road Class
FzgKm	Fahrzeugkilometer
HBEFA	Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs
NO <sub>x</sub>	Stickoxide
PM	Feinstaub (PM = Particulate Matter)
THG	Treibhausgase in Kohlenstoffdioxid-Äquivalenten
UBA	Umweltbundesamt, Dessau

### HBEFA-Fahrzeugkategorien

Pkw	Personenkraftwagen, Personenwagen
LNF	Leichtes Nutzfahrzeug (<3,5 t), Lieferwagen
SNF	Schweres Nutzfahrzeug (Lkw, Lz, Sz)
RBus	Reisebus
LBus	Linienbus (= ÖV-Bus)
KR/MR	Kraftrad, Motorrad

### HBEFA- Gebietstypen

La	Ländlicher Raum
Ag	Agglomeration, Ballungsraum

## 1 Hintergrund und Ziel der Untersuchung

Im Refoplan-Vorhaben „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung“ (FKZ 3719581020) (Schmaus et al. 2023), im Folgenden „Studie Flüssiger Verkehr“ genannt, wurden die Klimawirksamkeit und die Effekte auf die emittierten Luftschadstoffe eines Tempolimits auf Autobahnen und Außerortsstraßen für zwei Maßnahmenausprägungen untersucht:

- ▶ **Szenario T120/100:** Ein Tempolimit von maximal 120 km/h auf Autobahnen sowie auf autobahnähnlich ausgebauten Straßen (Kraftfahrstraßen) in Deutschland.
- ▶ **Szenario T120/80:** Ein Tempolimit von maximal 120 km/h auf Autobahnen sowie auf Kraftfahrstraßen und zusätzlich ein Tempolimit von maximal 80 km/h auf allen anderen Außerortsstraßen in Deutschland.

In der vorliegenden Studie wurden darüber hinaus drei weitere Maßnahmenausprägungen untersucht:

- ▶ **Szenario T130/100:** Ein Tempolimit von maximal 130 km/h auf Autobahnen sowie auf Kraftfahrstraßen in Deutschland.
- ▶ **Szenario T130/80:** Ein Tempolimit von maximal 130 km/h auf Autobahnen sowie auf Kraftfahrstraßen und zusätzlich ein Tempolimit von maximal 80 km/h auf allen anderen Außerortsstraßen in Deutschland.
- ▶ **Szenario T100/80:** Ein Tempolimit von maximal 100 km/h auf Autobahnen sowie auf Kraftfahrstraßen und zusätzlich ein Tempolimit von maximal 80 km/h auf allen anderen Außerortsstraßen in Deutschland.

Da die Berechnungsmethodik im Rahmen der Untersuchung in Teilen verfeinert wurde, wurden auch die beiden ursprünglichen Szenarien (T120/100 und T120/80) neu berechnet.

Die aus der Studie Flüssiger Verkehr übernommenen Grundlagen sowie die aktualisierte Berechnungsmethodik sind in Kapitel 2 beschrieben. Die Ergebnisse zu allen fünf Szenarien werden differenziert in Kapitel 3 dargestellt. Darin wird auch eine Gegenüberstellung zu den Ergebnissen aus der Studie Flüssiger Verkehr vorgenommen.

## 2 Vorgehen und Berechnungsmethodik

### 2.1 Grundlagen aus der Studie Flüssiger Verkehr

Die Studie Flüssiger Verkehr umfasste zwei Bearbeitungsstufen. In der ersten Stufe wurde die Aufteilung der Fahrleistung des Straßenverkehrs in Deutschland auf die *Verkehrssituationen* des HBEFA – Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (INFRAS AG 2024) neu ermittelt. Die Berechnungen zu den beiden Szenarien von Tempolimits auf Autobahnen (T120/100) und im Außerortsbereich (T120/80) – sowie zu weiteren verkehrsplanerischen Maßnahmen der Emissionsminderung – waren Bestandteil der zweiten Bearbeitungsstufe, die auf den Ergebnissen der ersten Stufe aufbauten. Die Ergebnisse der Studie Flüssiger Verkehr stellen auch in der vorliegenden Studie die Grundlage aller Berechnungen dar, weshalb deren Struktur und Herleitung an dieser Stelle kurz zusammengefasst wird. Eine ausführliche Erläuterung findet sich im Abschlussbericht der Studie Flüssiger Verkehr (Schmaus et al. 2023). Zusätzlich wurden mit Bezug auf die in der Studie untersuchten Tempolimit-Maßnahmen zwei Erläuterungsberichte (Friedrich und Schmaus 2023a, Friedrich und Schmaus 2023b) erstellt, deren Inhalte in der folgenden Zusammenfassung zum Teil aufgegriffen werden.

In der ersten Stufe der Studie Flüssiger Verkehr wurde die Fahrleistung des Straßenverkehrs in Deutschland den *HBEFA-Verkehrssituation* zugeordnet. Das HBEFA definiert eine Verkehrssituation anhand von fünf Kriterien:

- ▶ *Gebietstyp*  
Das HBEFA unterscheidet zwischen den beiden Gebietstypen „Ländlicher Raum“ (La) und „Agglomeration“ (Ag).
- ▶ *Straßentyp*  
Im HBEFA sind für den Gebietstyp „Ländlicher Raum“ acht Straßentypen und für den Gebietstyp „Agglomeration“ weitere sieben Straßentypen definiert.
- ▶ *Zulässige Höchstgeschwindigkeit*  
Das HBEFA nutzt zwölf Klassen zulässiger Höchstgeschwindigkeiten (von 30 km/h bis 130 km/h in 10-km/h-Schritten und eine Klasse für Strecken ohne Geschwindigkeitsbeschränkung).
- ▶ *Verkehrszustand*  
Im HBEFA wird zwischen fünf Verkehrszuständen unterschieden, nämlich flüssiger Verkehr, dichter Verkehr, gesättigter Verkehr sowie zwei Stop&Go-Verkehrszuständen (Stop&Go und Stop&Go II).

Die drei erstgenannten Kriterien werden unter dem Begriff der *Straßenkategorie* zusammengefasst. Die Einteilung des deutschen Straßennetzes in Streckenabschnitte dieser Straßenkategorien erfolgte durch das Verschneiden verschiedener Datenquellen, insbesondere Straßennetzdaten der Firma TomTom und OpenStreetMap-Daten. Zusätzlich zu den drei Kriterien der Straßenkategorien differenziert das HBEFA nach Steigungsklassen.

Im Gegensatz zur Straßenkategorie und Steigungsklasse ist der Verkehrszustand auf einem Streckenabschnitt dynamisch und variiert über die Zeit. Die Anteile der innerhalb eines Jahres auf einem Streckenabschnitt auftretenden Verkehrszustände wurden aus Floating-Car-Daten (FCD) der Firma TomTom abgeleitet. Die verwendeten FCD bilden das Jahr 2018 ab und stellen damit zum Zeitpunkt der Bearbeitung der Studie die möglichst aktuelle Datengrundlage dar. Je Streckenabschnitt (im Mittel mit einer Länge von ca. 150 m, allein für die Autobahnen rund

100.000 Streckenabschnitte) lagen Geschwindigkeitsverteilungen (20 Perzentil-Werte in 5 % Intervallen) für 24 Tageszeiten (jede Stunde des Tages) und 3 Tagestypen (Montag bis Freitag, Samstag, Sonn- und Feiertage) vor. Damit standen für jeden Streckenabschnitt 1.440 Geschwindigkeitswerte zur Verfügung. Diese Geschwindigkeitswerte wurden den mittleren Geschwindigkeiten der HBEFA-Verkehrszustände für den entsprechenden Straßentyp gegenübergestellt. Für einen Teil des Straßennetzes (insbesondere dem untergeordneten Netz) lagen keine FCD vor. Für diesen Teil des Straßennetzes wurde die Verkehrszustand-Aufteilung vergleichbarer Streckenabschnitte übernommen.

Für die Aufteilung der Fahrleistung in Deutschland auf die Verkehrssituationen des HBEFA wird darüber hinaus die Verkehrsstärke auf jedem Streckenabschnitt benötigt. Diese Daten wurden primär aus Verkehrsnachfragemodellen abgeleitet (PTV-Validate und drei regionale Verkehrsnachfragemodelle) und durch zusätzliche Modell- und Hochrechnungsmethoden ergänzt. PTV-Validate stellte die Datengrundlage für das großräumige Verkehrsnetz dar. Es bildet die Strecken der Functional Road Class (FRC)<sup>1</sup> 0 bis 3 und damit rund 70 % der Pkw-Fahrleistung ab. Insbesondere im Autobahn- und Bundesstraßennetz bilden die Verkehrsstärken aus PTV-Validate das Verkehrsgeschehen in Deutschland gut ab und decken sich mit statistischen Eckdaten (vgl. Schmaus et al. 2023). Da für das untergeordnete Netz eine solche Datengrundlage nicht existiert, wurden unterschiedliche methodische Ansätze kombiniert, um die Fahrleistungsanteile in den Verkehrssituationen zu bestimmen.

Die Aufteilung der Fahrleistung in Deutschland auf die HBEFA-Verkehrssituationen wurde für alle sechs *Fahrzeugkategorien* vorgenommen, die im HBEFA unterschieden werden.

► *Fahrzeugkategorien*

Im HBEFA werden Pkw, leichte Nutzfahrzeuge (LNF), schwere Nutzfahrzeuge (SNF), Reisebusse (RBus), Linienbusse (LBus) und Kraft- bzw. Motorräder (KR/MR) unterschieden.

Die Aufteilung der Fahrleistung auf die Verkehrssituationen ist das zentrale Ergebnis des ersten Teils der Studie Flüssiger Verkehr und ist im Bericht der Studie (Schmaus et al. 2023) in Anhang A.3 vollständig aufgeführt. Diese Verteilung wurde in der vorliegenden Studie für den Ausgangszustand genutzt, der den Zustand des Jahres 2018 (kein generelles Tempolimit auf Autobahnen und Kraftfahrstraßen, maximales Tempolimit von 100 km/h auf allen anderen Außerortsstraßen) beschreibt.

Um die Größenordnung der Wirkungen der Tempolimit-Szenarien nachvollziehbar zu machen, werden im Folgenden die Fahrleistungsanteile für jene Verkehrssituationen wiedergegeben, die im Ausgangszustand direkt<sup>2</sup> von einer Änderung des Tempolimits betroffen sind. In Tabelle 1 und Tabelle 2 sind die Anteile für die Fahrzeugkategorie Pkw dargestellt. Die Fahrleistungsanteile aller weiteren HBEFA-Fahrzeugkategorien sind in Anhang A.1 tabellarisch aufgeführt.

<sup>1</sup> FRC ist eine Straßenklassenkategorisierung der Firma TomTom, die das Straßennetz in acht Klassen unterteilt (0 = Autobahnen, 7 = Erschließungsstraßen). FRC 0 bis 3 umfassen dabei die Straßenklassen Autobahn bis Landesstraße. Siehe Schmaus et al. (2023) für weitere Informationen zu FRC und deren Verwendung in der Studie Flüssiger Verkehr.

<sup>2</sup> „direkt“ bedeutet hier, dass mindestens in einem der Szenarien auf den entsprechenden Streckenabschnitten die zulässige Höchstgeschwindigkeit geändert wird. Auf diesen Streckenabschnitten treten also veränderte Emissionen aufgrund einer veränderten Fahrgeschwindigkeit auf. Aufgrund von Nachfrage- und Routenwahleffekten ändern sich die Fahrleistung und damit die Emissionen auch auf den anderen, nicht direkt betroffenen Straßenkategorien.

**Tabelle 1: Anteile der Pkw-Fahrleistung auf von Tempolimit-Szenarien direkt betroffenen Autobahn-Straßenkategorien nach Verkehrszuständen**

<b>Straßenkategorie (Gebietstyp, Straßentyp, zul. Höchstgeschwindigkeit)</b>	<b>flüssig</b>	<b>dicht</b>	<b>gesättigt</b>	<b>stop &amp; go</b>	<b>stop &amp; go II</b>	<b>Summe</b>
La, Autobahn, 120 km/h	1,37%	1,05%	0,68%	0,05%	0,00%	<b>3,15%</b>
La, Autobahn, 130 km/h	0,79%	0,99%	0,95%	0,05%	0,00%	<b>2,79%</b>
La, Autobahn, ohne Tempolimit	5,55%	6,96%	5,77%	0,29%	0,01%	<b>18,57%</b>
La, Kraftfahrstraßen, 120 km/h	0,32%	0,27%	0,13%	0,01%	0,00%	<b>0,72%</b>
La, Kraftfahrstraßen, 130 km/h	0,01%	0,02%	0,02%	0,00%	0,00%	<b>0,06%</b>
La, Kraftfahrstraßen, ohne Tempolimit	0,08%	0,12%	0,10%	0,00%	0,00%	<b>0,30%</b>
Ag, Autobahn, 120 km/h	0,37%	0,28%	0,18%	0,02%	0,00%	<b>0,86%</b>
Ag, Autobahn, 130 km/h	0,14%	0,16%	0,20%	0,02%	0,00%	<b>0,52%</b>
Ag, Autobahn, ohne Tempolimit	0,43%	0,76%	0,94%	0,07%	0,00%	<b>2,20%</b>
Ag, Stadtautobahn, 120 km/h	0,05%	0,03%	0,02%	0,00%	0,00%	<b>0,10%</b>
<b>Summe</b>	<b>9,11%</b>	<b>10,65%</b>	<b>8,96%</b>	<b>0,51%</b>	<b>0,03%</b>	<b>29,27%</b>

Eigene Berechnung auf Grundlage von Schmaus et al. 2023 (Tabelle aus Anhang A.3)

**Tabelle 2: Anteile der Pkw-Fahrleistung auf von Tempolimit-Szenarien direkt betroffenen Außerorts-Straßenkategorien nach Verkehrszuständen**

<b>Straßenkategorie (Gebietstyp, Straßentyp, zul. Höchstgeschwindigkeit)</b>	<b>flüssig</b>	<b>dicht</b>	<b>gesättigt</b>	<b>stop &amp; go</b>	<b>stop &amp; go II</b>	<b>Summe</b>
La, Hauptverkehrsstraße, 100 km/h	7,77%	7,78%	1,94%	0,13%	0,04%	<b>17,65%</b>
La, kurvige Hauptverkehrsstraße, 100 km/h	1,01%	1,72%	1,32%	0,10%	0,02%	<b>4,17%</b>
La, Sammelstraße, 100 km/h	0,27%	0,14%	0,11%	0,02%	0,01%	<b>0,54%</b>
La, kurvige Sammelstraße, 100 km/h	0,12%	0,12%	0,09%	0,02%	0,00%	<b>0,34%</b>
La, Erschließungsstraße, 100 km/h	0,58%	0,59%	0,41%	0,07%	0,02%	<b>1,67%</b>
Ag, Fern- und Bundesstraße, 100 km/h	0,12%	0,20%	0,13%	0,01%	0,00%	<b>0,46%</b>
<b>Summe</b>	<b>9,88%</b>	<b>10,55%</b>	<b>3,99%</b>	<b>0,35%</b>	<b>0,08%</b>	<b>24,84%</b>

Eigene Berechnung auf Grundlage von Schmaus et al. 2023 (Tabelle aus Anhang A.3)

In der Studie Flüssiger Verkehr stand die Ermittlung dieser Fahrleistungsanteile im Vordergrund. Aus diesem Grund wurden in aller Regel auch bei den Wirkungen der Maßnahmen in der zweiten Bearbeitungsstufe relative Werte ausgewiesen. Die Werte wurden jedoch an Fahrleistungsseckdaten kalibriert, deren Grundgerüst die Fahrleistungen des TREMOD-Modells für das Jahr 2018 (Dokumentation siehe Allekotte et al. 2020) darstellten. Sofern absolute Werte ausgewiesen wurden, beruhen sie auf diesen Eckwerten. Sie sind in Tabelle 3 wiedergegeben.

**Tabelle 3: Randsummen der Fahrleistung je Fahrzeugkategorie**

	Pkw	LNF	SNF	RBus	LBus	KR/MR
Fahrleistung in Deutschland 2018 (Mrd. Fahrzeugkilometer pro Jahr)	642,3	51,3	62,5	1,9	2,3	14,7

Werte nach Tabelle 21 aus Schmaus et al (2023)

Um die Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen der Studie Flüssiger Verkehr sicherzustellen, werden diese Eckwerte auch in der vorliegenden Studie im Ausgangszustand als Bezugsgröße herangezogen. Für den Ausgangszustand wird also beispielsweise davon ausgegangen, dass 133,5 Mrd. Pkw-km pro Jahr auf Autobahnen ohne Tempolimit gefahren werden. Dies lässt sich aus den gegebenen Daten folgendermaßen berechnen: 642,3 Mrd. Pkw-km pro Jahr (Tabelle 3) multipliziert mit der Summe aus 18,57 % für Autobahnen in ländlichen Gebieten und 2,20 % für Autobahnen in Agglomerationsräumen (Tabelle 1). Die Verteilungen der Fahrleistung auf Straßentypen und Verkehrszustände sowie die Gesamtfahrleistung im Analysefall der vorliegenden Studie bilden also maßgeblich das Verkehrsgeschehen im Jahr 2018 ab. Dieses Vorgehen wurde gewählt, da zum Zeitpunkt der Bearbeitung der vorliegenden Studie keine Daten vorlagen, bei denen sichergestellt werden konnte, dass sie keine bedeutenden Verzerrungen durch die Covid-Pandemie enthalten. Zudem wäre eine Neuberechnung der Grundlagen aus der Studie Flüssiger Verkehr mit einem hohen Aufwand und hohen Kosten verbunden gewesen. Verhaltensänderungen, die seit dem Jahr 2018 im motorisierten Individualverkehr eingetreten sind, können bei Verwendung aktueller Zahlen zu einem veränderten Ergebnis führen. Auf diesen Aspekt wird in Kapitel 4 eingegangen.

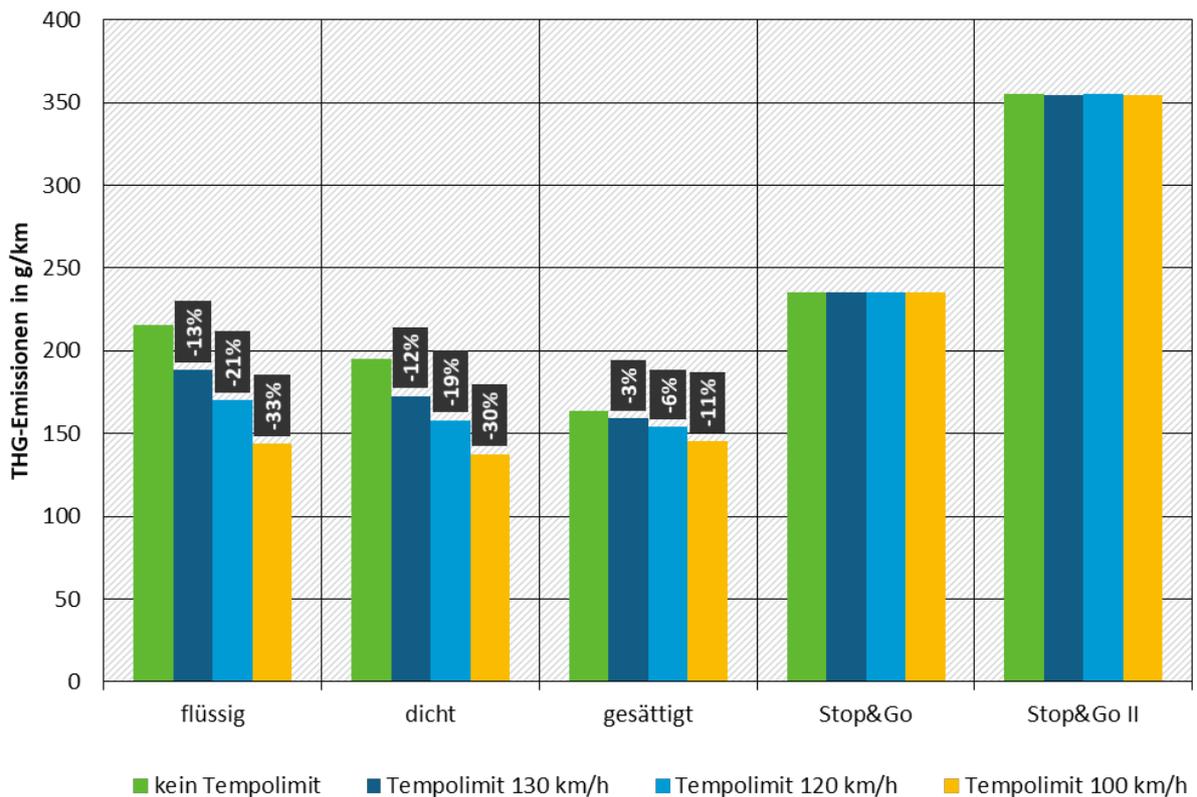
## 2.2 Wirkungszusammenhänge

Die Umweltwirkungen von Tempolimits können primär auf drei Wirkungsmechanismen zurückgeführt werden:

1. *Geschwindigkeitseffekte*: Aufgrund des veränderten Tempolimits wird auf einem betroffenen Streckenabschnitt anders gefahren, bei einer geringeren zulässigen Höchstgeschwindigkeit im Mittel weniger schnell. Der Energiebedarf eines Fahrzeuges hängt von der Geschwindigkeit ab. Bei einer Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit nimmt der Energiebedarf von Verbrennungsmotoren ab einer bestimmten Mindestgeschwindigkeit mit zunehmender Geschwindigkeit näherungsweise quadratisch zu. Dementsprechend verringert eine Geschwindigkeitsreduzierung den Energiebedarf der Fahrzeuge und damit die Treibhausgasemissionen. Im Modell wird dies durch eine Änderung des HBEFA-Straßenkategorie abgebildet<sup>3</sup>. Die Fahrleistung wird auf jedem Streckenabschnitt beibehalten. Der Geschwindigkeitseffekt wird für alle HBEFA-Fahrzeugkategorien berechnet. In Abbildung 1 sind beispielhaft die Emissionsfaktoren für einen Autobahnabschnitt mit unterschiedlichen zulässigen Höchstgeschwindigkeiten für die Fahrzeugkategorie Pkw dargestellt. Bei den Verkehrszuständen flüssig und dicht sinken die Emissionsfaktoren abhängig von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Auch im gesättigten Verkehrszustand reduziert ein Tempolimit die Emissionen, allerdings weniger stark. Auf die Emissionen in den Verkehrszuständen Stop&Go und Stop&Go II hat ein Tempolimit keine Wirkungen.

<sup>3</sup> Bei der Einführung eines Tempolimits 120 auf Autobahnen wird dabei beispielsweise die Straßenkategorie „La, Autobahn, ohne Tempolimit“ durch die Straßenkategorie „La, Autobahn, 120 km/h“ ersetzt.

**Abbildung 1: Pkw-Emissionsfaktoren auf Autobahnen bei unterschiedlichen Tempolimits**



Datengrundlage: HBEFA 4.2, Pkw-Flotte DE 2020, Autobahn im ländlichen Raum bei Steigungsklasse 0 %  
 Quelle: eigene Darstellung, ISV (Universität Stuttgart)

2. *Routenwahleffekte:* Eine Geschwindigkeitsreduktion durch ein Tempolimit erhöht die Reisezeit auf einer Route. Das kann in Bereichen mit Alternativrouten zu einer veränderten Routenwahl führen. Verkehrsteilnehmende werden dann verstärkt direktere Routen mit einer kürzeren Fahrtweite wählen, was die Fahrleistung reduziert. Um diesen Effekt isoliert abzubilden, werden die unveränderten Nachfragematrizen des Pkw- und LNF-Verkehrs auf das Netz mit den veränderten Geschwindigkeiten umgelegt. Die veränderten Geschwindigkeiten beeinflussen nur die Routenwahl, es gibt keine Nachfrageeffekte aus der Verkehrsmittelwahl. Die Fahrleistungen auf den Strecken verändern sich.
3. *Nachfrageeffekte:* Reisezeiterhöhungen im Pkw-Verkehr können dazu führen, dass ein Teil der Reisenden auf den öffentlichen Verkehr wechselt. Das wird u.a. auf Relationen mit großen Entfernungen und einem guten Bahnangebot der Fall sein. Dadurch reduziert sich die Fahrleistung im Pkw-Verkehr. Im Modell wird dies durch eine Anpassung der Pkw-Nachfrage abgebildet. Die neue reduzierte Pkw-Nachfragematrix und die unveränderten LNF-Matrizen werden auf das Netz mit den veränderten Geschwindigkeiten neu umgelegt, wodurch neue Verkehrsstärken berechnet werden.

Um den Einfluss der jeweiligen Wirkungsmechanismen sichtbar zu machen, werden für jedes Szenario die Ergebnisse in drei Bilanzierungsschritten ausgewiesen. Dabei baut die jeweilige Berechnung immer auf dem vorhergehenden Schritt auf, um so final die gesamte Maßnahmenwirkung als Ergebnisgröße zu erhalten:

- Im ersten Schritt werden ausschließlich die Geschwindigkeitseffekte berücksichtigt (Name in Ergebnisdarstellung: „Geschwindigkeitseffekte“).

- ▶ Im zweiten Schritt werden zusätzlich zu den Geschwindigkeitseffekten die Routenwahleffekte beachtet („+ Routenwahl“).
- ▶ Im dritten Schritt werden dann alle Wirkungsmechanismen abgebildet, sein Ergebnis stellt das Gesamtergebnis des Szenarios dar („+Nachfrageeffekte“).

Nach jedem Schritt werden die Emissionen neu berechnet, um die Veränderung gegenüber dem Ausgangszustand ohne Tempolimit und dem vorhergehenden Stand quantifizieren zu können. Für jedes Szenario und jeden Bilanzierungsschritt werden die Wirkungen auf folgende Kenngrößen berechnet:

- ▶ Fahrleistung in Fahrzeugkilometer (FzgKm)
- ▶ THG-Emissionen (CO<sub>2äq</sub>)
- ▶ Stickoxide (NO<sub>x</sub>)
- ▶ Feinstaub (PM)

Zusätzlich werden die Wirkungen für die drei wichtigsten HBEFA-Fahrzeugkategorien (Pkw, SNF, LNF) gesondert sowie die Gesamtwirkungen (Summe der Änderungen über alle HBEFA-Fahrzeugkategorien: Pkw, SNF, LNF, RBus, LBus, KR/MR) dargestellt. Die dargestellten Änderungen beziehen sich immer auf den gesamten Verkehr bzw. die gesamten Emissionen (Bezugsmenge = 100 %) der jeweiligen Fahrzeugkategorie bzw. bei den Gesamtwirkungen auf den gesamten Straßenverkehr in Deutschland.

### 2.3 Berechnungsmethode Emissionen

Das HBEFA enthält Emissionsfaktoren bzw. spezifische Energieverbräuche (Emissionen bzw. Energieverbrauch je Fahrzeugkilometer). Für jede enthaltene *Komponente* (Schadstoff oder Energieverbrauchseinheit) ist je Verkehrssituation, Steigungsklasse und Fahrzeugsegment genau ein Emissionsfaktor gegeben. Die Fahrzeugsegmente können je Fahrzeugkategorie zu einer mittleren Flottenzusammensetzung aggregiert werden. Für die Berechnung der Umweltwirkungen in den Szenarien werden die Emissionsfaktoren der HBEFA-Fahrzeugflotte für Deutschland aus dem Jahr 2020 (analog zur Studie Flüssiger Verkehr) angenommen. Es werden die Emissionsfaktoren der aktuellen HBEFA-Version 4.2 verwendet. Sie können von den Emissionsfaktoren der HBEFA-Version 4.1 abweichen, die in der Studie Flüssiger Verkehr genutzt wurde. Folgende Komponenten werden betrachtet:

- ▶ THG: Treibhausgasemissionen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (HBEFA-Komponente: CO<sub>2e</sub>)
- ▶ NO<sub>x</sub>: Stickoxide (HBEFA-Komponente: NO<sub>x</sub>)
- ▶ PM: Feinstaub (engl. Particulate Matter, HBEFA-Komponente: PM)

Der Emissionsfaktor der Verkehrssituation ergibt sich aus einem für die Verkehrssituation typischen Standardfahrzyklus. Ein solcher Fahrzyklus repräsentiert einen Fahrverlauf, der unterschiedliche Geschwindigkeiten, Brems- und Beschleunigungsvorgänge umfasst. Der Fahrzyklus wird für eine Verkehrssituation anhand des realen Fahrverhaltens entwickelt und versucht, das mittlere Fahrverhalten zu repräsentieren. Damit sind in den Fahrzyklen auch Überschreitungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit prinzipiell enthalten. Beispielsweise liegt der THG-Emissionsfaktor für SNF auf Autobahnen ohne Tempolimit im flüssigen Verkehr (585 g/km) geringfügig höher als auf Autobahnen mit einem Tempolimit von 80 km/h

(566 g/km)<sup>4</sup>, obwohl die Geschwindigkeitsbeschränkung von 80 km/h für SNF unabhängig von einem Tempolimit für Pkw gilt. Dies liegt an einem leicht veränderten Fahrverhalten auf Autobahnen ohne Tempolimit, das durch den umgebenden Verkehrsfluss bedingt ist. Die so bestimmten Emissionsfaktoren aus HBEFA werden für die Berechnung der Szenarien-Wirkungen verwendet. Bei dieser Vorgehensweise werden die FCD-Geschwindigkeitsinformationen also nicht direkt genutzt, um die Emissionsfaktoren zu ermitteln, sondern nur, wie in Kapitel 2.1 dargestellt, um den Verkehrszustand zu bestimmen. Die Emissionsfaktoren kommen dann aus HBEFA.

Im HBEFA sind nur für einen Teil der Straßenkategorien, die auf Grundlage der Kombinationen von Gebietstyp, Straßentyp und zulässiger Höchstgeschwindigkeit möglich wären, Emissionsfaktoren hinterlegt. Dies betrifft sowohl Straßenkategorien, die in Realität nicht vorkommen (z.B. Autobahnen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h), als auch Straßenkategorien, die nur selten auftreten (z.B. Autobahnen in Agglomerationen ohne Tempolimit). Auf Grundlage der Berechnungsmethode der Fahrleistungsanteile in der Studie Flüssiger Verkehr wurden auch solchen Straßenkategorien, für die keine Emissionsfaktoren in HBEFA hinterlegt sind, Fahrleistungsanteile zugewiesen (z.B. Autobahnen in Agglomerationen ohne Tempolimit, siehe Tabelle 1). In diesen Fällen wurden die Emissionsfaktoren von Straßenkategorien übernommen, für die ein ähnliches Fahrverhalten angenommen wurde. Im Detail kann die Methode der Zuordnung Kapitel 2.2.4.3 in Schmaus et al. 2023 nachgelesen werden. Diese Zuordnung wird in der vorliegenden Studie entsprechend übernommen.

In der Studie Flüssiger Verkehr wurden die Maßnahmenwirkungen für den Klimaschutz als Absolutwert jährlicher THG-Einsparungen ausgewiesen, um eine Vergleichbarkeit mit der UBA-Studie „Klimaschutz durch Tempolimit“ (Lange et al. 2020) zu ermöglichen. Als Bezugsgröße wurden die Emissionen des Straßenverkehrs nach nationaler Klimaberichterstattung von 157,7 Mio.  $t_{CO_2\ddot{a}q}$  für das Jahr 2018 verwendet. Dieser Wert wurde inzwischen in der aktuellsten Klimaberichterstattung auf 160,8 Mio.  $t_{CO_2\ddot{a}q}$  im Jahr 2018 korrigiert, für das aktuellste Jahr der Zeitreihe (Jahr 2022) wurden 144,0 Mio.  $t_{CO_2\ddot{a}q}$  ausgewiesen (UBA 2023). Die Werte zeigen, dass es für die Übertragbarkeit der Maßnahmenwirksamkeit häufig problematisch ist, Absolutwerte auszuweisen. Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Studie grundsätzlich mit relativen Werten gearbeitet. Sofern für die Einordnung der Wirkungen absolute Werte dargestellt werden, werden die relativen Änderungen und die absolute Bezugsgröße angegeben.

## 2.4 Berechnungsmethode Verkehrsnachfrage und Verkehrsstärke

Die Veränderungen der Verkehrsnachfrage und die Verkehrsstärken werden für jedes Szenario mit dem Verkehrsnachfragemodell PTV-Validate berechnet.

In Verkehrsnachfragemodellen werden die Verkehrsstärken im Straßennetz mit einer sogenannten Umlegung ermittelt. Eingangsgrößen einer Umlegung sind das Verkehrsangebot (Straßennetz mit Geschwindigkeiten und Kapazitäten) und die Verkehrsnachfrage (Nachfragematrizen Pkw und Lkw). Die Umlegung bildet die Routenwahlentscheidungen der Verkehrsteilnehmenden ab. Sie berücksichtigt den Zusammenhang zwischen Auslastung und Geschwindigkeit. Dadurch verteilen sich die Fahrzeuge so im Netz, dass sich ein Zustand ergibt, bei dem alle gewählten Routenalternativen die gleiche Reisezeit aufweisen. Umlegungsverfahren sind Stand der Technik und werden bei der Bewertung von Straßenbaumaßnahmen, z.B. im Rahmen der Bundesverkehrswegeplanung eingesetzt. Das Verkehrsmodell PTV-Validate ist ein prognosefähiges, überregionales und kalibriertes Verkehrsnachfragemodell, das Verkehrsstärken für Pkw und Lkw auf der Basis von ca. 20.000 Verkehrszellen liefert. In der

<sup>4</sup> Emissionswerte für Autobahnen im ländlichen Raum, Steigungsklasse 0 %, Flotte DE 2020, HBEFA 4.2

vorliegenden Studie werden für die Szenarienuntersuchung die Geschwindigkeiten im Straßennetz gezielt verändert. Anhand der Typisierung und Parametrisierung des Netzmodells können die von einer Maßnahme betroffenen Streckenabschnitte selektiert werden. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit wird dann für die so ermittelten Strecken entsprechend reduziert. Bei der Routenwahl- und Verkehrsnachfrageberechnung wird im Gegensatz zur Ermittlung der Emissionsfaktoren in HBEFA unterstellt, dass es keine systematischen Überschreitungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit gibt und sich die Verkehrsteilnehmer StVO-konform verhalten. Neu umgelegt werden die beiden Fahrzeugkategorien Pkw und LNF. Da sich die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten nur in einem Bereich von über 80 km/h verändern, wird davon ausgegangen, dass es bei SNF keine Routenwahleffekte gibt. Die Verkehrsstärken der verbleibenden Fahrzeugkategorien (RBus, LBus und KR/MR) bleiben in den Szenarien ebenso ebenfalls unverändert.

Im Pkw-Verkehr beeinflusst ein Tempolimit zusätzlich die Verkehrsnachfrage. Da der Pkw im Vergleich zu alternativen Verkehrsmitteln – auf Relationen mit größeren Entfernungen in Deutschland insbesondere die Bahn – aufgrund der reduzierten Geschwindigkeiten weniger attraktiv wird, sinkt die Nachfrage. In der Studie Flüssiger Verkehr wurde ein Elastizitätenmodell verwendet, mit dem die Nachfrageänderung direkt aus der Reisezeitänderung des Pkw-Verkehrs abgeleitet wird (Erläuterungen zur Berechnungsmethode siehe Friedrich und Schmaus 2023a, Friedrich und Schmaus 2023b). Für die vorliegende Studie wurde das Modell verbessert. Das Modell wurde um das Angebot im öffentlichen Verkehr erweitert und so in ein bimodales Verkehrsmittelwahlmodell überführt. Dabei werden die ÖV-Reisezeiten auf allen innerdeutschen Relationen einbezogen. Die Veränderung der Pkw-Nachfrage berücksichtigt somit die veränderte Pkw-Reisezeit und das Angebot im öffentlichen Verkehr. Das Verkehrsmittelwahlmodell wurde für den Ausgangszustand 2018 anhand des Verkehrsaufkommens und der Verkehrsleistung in Deutschland für die Modi Pkw-Selbstfahrer, Pkw-Mitfahrer und ÖV kalibriert. Dazu wurden Werte aus Verkehr in Zahlen (BMDV 2022) genutzt. Das Nachfragemodell berücksichtigt nicht, dass Personen auf Reisezeitverlängerungen auch durch eine Anpassung ihrer Aktivitätenpläne reagieren können. So könnten dienstliche Pkw-Fahrten durch ein Web-Meeting ersetzt werden.

Die Verkehrsnachfrage aller weiteren HBEFA-Fahrzeugkategorien wird aus dem Ausgangszustand unverändert übernommen, da hier von sehr geringen Substitutionseffekten aufgrund mangelnder Alternativen ausgegangen werden kann.

Für jedes Szenario werden mit PTV-Validate die Verkehrsstärken im Netz für zwei Zustände ermittelt:

- ▶ *Routenwahleffekte:* Die unveränderten Nachfragematrizen für Pkw und LNF werden auf das Netz mit den veränderten Geschwindigkeiten umgelegt. Die veränderten Geschwindigkeiten beeinflussen nur die Routenwahl, es gibt keine Nachfrageeffekte aus der Verkehrsmittelwahl. Die Verkehrsstärken und damit die Fahrleistungen auf den Strecken verändern sich aufgrund der veränderten Routenwahl.
- ▶ *Nachfrageeffekte:* Es wird die Veränderung der Verkehrsnachfrage aufgrund der veränderten Reisezeiten für den Pkw-Verkehr berechnet. Diese neue Verkehrsnachfrage wird auf das Verkehrsnetz umgelegt, um so neue Verkehrsstärken und damit Fahrleistungen zu erhalten.

PTV-Validate stellte in der Studie Flüssiger Verkehr nur für einen Teil des gesamten Straßennetzes die Datengrundlage für die Aufteilung der Fahrleistung auf die HBEFA-Verkehrssituationen in Deutschland bereit (siehe Kapitel 2.1). Aus diesem Grund ist es nötig, die

für die Szenarien ermittelten Veränderungen auf das gesamte Netz hochzurechnen. Zu diesem Zweck werden aus den berechneten Verkehrsstärken für die einzelnen Szenarien Faktoren abgeleitet, die die Änderungen gegenüber dem Ausgangszustand beschreiben. Es wird ein Faktor je Landkreis und Functional Road Class für die FRC 0 bis 3 (betrifft ca. 70 % der Pkw-Nachfrage) berechnet. Durch diese Faktoren werden die Fahrleistungen in den jeweiligen Verkehrssituationen angepasst. Für die verbleibenden Streckenabschnitte (betreffen ca. 30 % der Pkw-Fahrleistung) wird der Rückgang der Fahrleistung aus der Zahl der Pkw-Fahrten, die durch die Nachfrageverlagerung reduziert werden, berücksichtigt. Routenwahleffekte gibt es nicht. Die Verteilungen der Verkehrszustände auf den einzelnen Streckenabschnitten werden aus dem Ausgangszustand übernommen.

Auf diese Weise wird eine neue Aufteilung der gesamten deutschen Pkw-Fahrleistung auf die HBEFA-Verkehrssituationen berechnet. Um die Umweltwirkungen zu ermitteln, werden diese Fahrleistungsanteile mit den Emissionsfaktoren der jeweiligen HBEFA-Verkehrssituation verrechnet.

Das kalibrierte Modell weist die in Tabelle 4 dargestellten Elastizitäten für die Pkw-Nachfrage bezogen auf Reisezeitänderungen auf:

- ▶ Elastizität des Pkw-Verkehrsaufkommens: Die Nachfrageänderung bezieht sich auf die Zahl der Pkw-Wege.
- ▶ Elastizität der Pkw-Fahrleistung ohne Routenwahleffekte: Die Nachfrageänderung bezieht sich auf die Fahrleistung (FzgKm). Betrachtet werden nur die Änderungen der Fahrleistung, die sich aus einem Rückgang der Pkw-Wege bei der Verkehrsmittelwahl ergeben. Wirkungen der Routenwahl auf die Fahrleistung werden nicht berücksichtigt.
- ▶ Elastizität der Pkw-Fahrleistung mit Routenwahleffekten: Die Nachfrageänderung bezieht sich auf die Fahrleistung (FzgKm). Zusätzlich zu den Änderungen der Fahrleistung aus der Verkehrsmittelwahl, werden die Wirkungen der Routenwahl auf die Fahrleistung berücksichtigt. Routenwahleffekte enthalten Änderungen der Fahrleistung, die sich bei unverändertem Verkehrsaufkommen durch eine Anpassung der Routenwahl ergeben.

**Tabelle 4: Elastizität der Pkw-Nachfrage bezogen auf Reisezeitänderungen**

Szenario	Elastizität Pkw-Verkehrsaufkommen	Elastizität Pkw-Fahrleistung ohne Routenwahleffekte	Elastizität Pkw-Fahrleistung mit Routenwahleffekten
T130/100	-0,09	-0,33	-0,86
T130/80	-0,12	-0,17	-0,23
T120/100	-0,09	-0,28	-0,72
T120/80	-0,11	-0,21	-0,35
T100/80	-0,11	-0,23	-0,45

Die unterschiedlichen Elastizitäten beim Verkehrsaufkommen und bei der Fahrleistung erklären sich dadurch, dass ein Tempolimit vor allem auf lange Wege wirkt. Eine relativ kleine Änderung beim Verkehrsaufkommen (Pkw-Wege) langer Wege führt zu einer stärkeren Änderung bei der Fahrleistung (Fahrzeugkilometer). Bei einem Tempolimit auf Autobahnen und Außerortsstraßen (T130/80 und T120/80) ist die Elastizität der Fahrleistung kleiner als bei

einem Tempolimit nur auf Autobahnen (T130/100 und T120/100), da in diesem Fall auch kürzere Relationen von Reisezeitverlängerungen betroffen sind. Routenwahleffekte gibt es auf Relationen mit Alternativrouten, Verkehrsmittelwahleffekte auf Relationen, auf denen ein Tempolimit die Reisezeitvorteile des Pkw gegenüber dem ÖV reduziert. Bei Szenarien mit Tempo 80 auf Außerortsstraßen ist die Wirkung und damit die Elastizität der Routenwahleffekte kleiner als bei Szenarien mit Tempo 100, da es seltener schnelle Alternativrouten gibt.

In der Literatur findet sich eine große Bandbreite für die Nachfrageelastizität bei Reisezeitänderungen. De Jong und Gunn (2001) geben auf Grundlage einer Analyse von Studien zu Elastizitäten in europäischen Ländern eine kurzfristige Elastizität von -0,20 und eine langfristige Elastizität von -0,74 der Pkw-Fahrleistung auf die Pkw-Reisezeit an. Die langfristige Elastizität des Pkw-Verkehrsaufkommens liegt bei -0,29. Die Berechnungen in der vorliegenden Studie bilden langfristige Effekte ab, also Szenarien, in denen sich die Verkehrsteilnehmenden bereits an den neuen Zustand gewöhnt haben und Möglichkeiten, sich auf diesen einzustellen, ausschöpfen konnten. Die Werte in der Literatur beziehen sich außerdem auf Maßnahmen ohne besondere Routenwahleffekte. Die in Tabelle 4 dargestellten Werte für die Elastizitäten des Verkehrsnachfragemodells sind damit geringer als typische Werte aus der Literatur, so dass die Nachfragewirkungen der Verkehrsmittelwahl eher unterschätzt werden. Die Aussagen in der Literatur beziehen sich allerdings nie auf die Wirkungen einer Maßnahme „nationales Tempolimit“, da die Wirkungen einer derartigen Maßnahme bisher nicht beobachtet werden konnten. Die ausgewiesenen Nachfrageänderungen der Fahrleistung lassen sich deshalb nicht mit beobachteten Werten einer gleichartigen Maßnahme vergleichen.

### 3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Wirkungen der Tempolimit-Ausprägungen für die fünf Szenarien gegenübergestellt. Dabei wird zunächst die Wirkung auf Geschwindigkeit und Fahrzeit, dann auf die Fahrleistung und anschließend die Wirkung auf die THG-Emissionen und auf die Luftschadstoffemissionen (NO<sub>x</sub> und PM) betrachtet. In den jeweiligen Unterkapiteln werden die Ergebnisse für den Pkw-Verkehr sowie die Ergebnisse für den gesamten Straßenverkehr dargestellt. Die Ergebnisse für SNF und LNF werden nicht im Detail beschrieben, da hier die Maßnahmenwirkung gering (SNF), oder die Bedeutung für die Gesamtergebnisse klein ist (LNF). Die Ergebnisse für diese beiden Fahrzeugkategorien können im Anhang des Berichts (A.2) eingesehen werden.

#### 3.1 Wirkungen auf die Geschwindigkeiten und die Reisezeit

Ein Tempolimit reduziert die Pkw-Fahrgeschwindigkeiten im Straßennetz und erhöht so die Reisezeiten im Pkw-Verkehr.

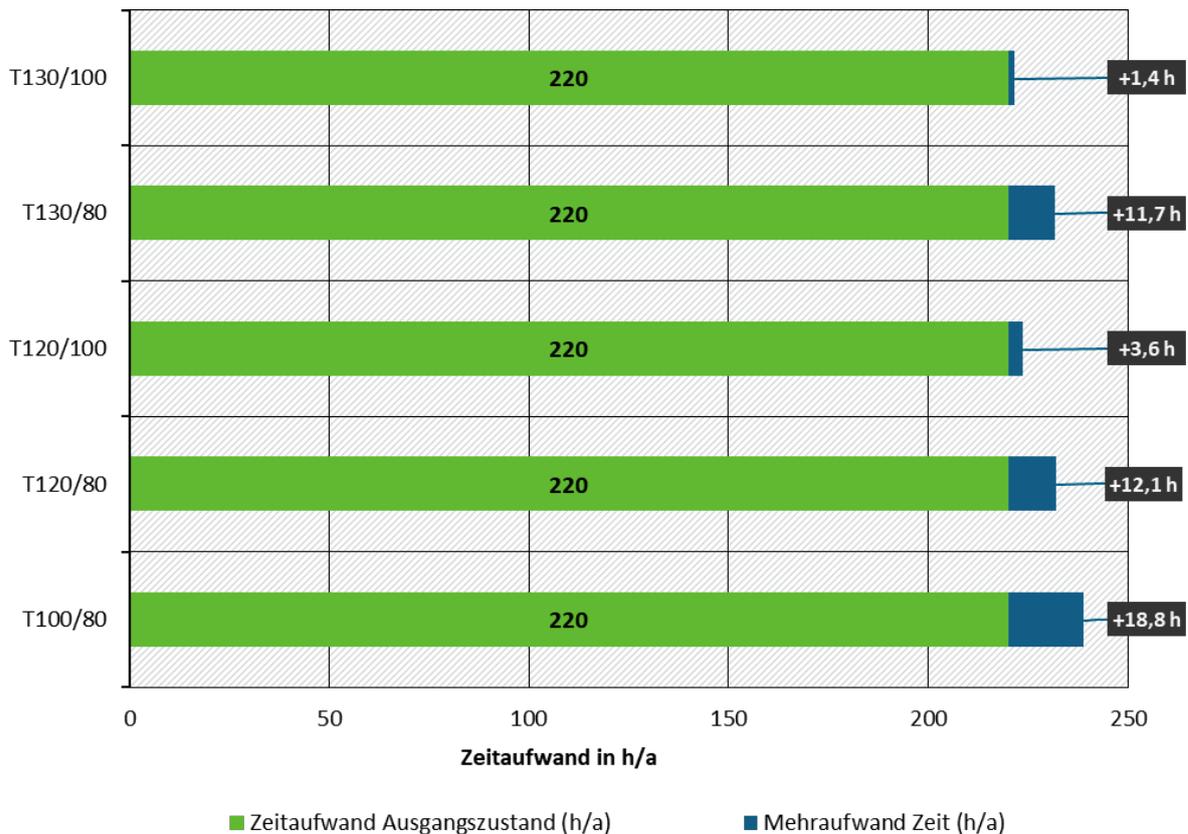
Die aus einem Tempolimit resultierenden Änderungen der mittleren Fahrgeschwindigkeiten sind in Tabelle 5 zusammengefasst. Die mittlere Geschwindigkeit sinkt in allen Szenarien auf der Autobahn und im gesamten Straßennetz. Im Außerortsstraßennetz nimmt die Geschwindigkeit in den Szenarien T130/100 und T120/100, in denen die zulässige Höchstgeschwindigkeit auf Außerortsstraßen nicht verändert wird, leicht zu. Dies liegt an den Ausweichverkehren, die verstärkt Routen über die Außerortsstraßen wählen. Dabei werden häufig Straßen mit einer hohen Verbindungsfunktion gewählt, die gut ausgebaut sind und auf denen in der Regel eine zulässige Geschwindigkeit von 100 km/h gilt. Damit entfällt auf solche Straßen ein höherer Anteil der gesamten Fahrleistung im Außerortsstraßennetz, weshalb die mittlere Geschwindigkeit leicht ansteigt.

**Tabelle 5: Änderung der mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten in den Szenarien**

Szenario	Autobahnen	Außerortsstraßen	Gesamtes Netz
T130/100	-4,1 %	+0,1 %	<b>-1,3 %</b>
T130/80	-4,0 %	-10,5 %	<b>-5,2 %</b>
T120/100	-9,4 %	+0,1 %	<b>-2,8 %</b>
T120/80	-9,3 %	-8,8 %	<b>-6,1 %</b>
T100/80	-19,7 %	-10,3 %	<b>-10,2 %</b>

Abbildung 2 zeigt den zusätzlichen Zeitaufwand einer Person mit einem durchschnittlichen Verkehrsverhalten, die ihr Verhalten (Routenwahl- und Verkehrsmittelwahl) aufgrund eines Tempolimits nicht anpasst. Diese Person legt mit dem Pkw jährlich rund 11.000 km zurück, davon etwa 3.300 km auf der Autobahn (selbst fahrend oder mitfahrend). Im Ausgangszustand benötigt diese Person für diese 11.000 km rund 220 Stunden. Bei einem Tempolimit steigt der jährliche Zeitaufwand um zwischen 1,4 Stunden (T130/100) und fast 19 Stunden (T100/80). Bezogen auf einen Tag entspricht das einem zusätzlichen Zeitaufwand zwischen 0,2 und 3 Minuten.

**Abbildung 2: Zeitaufwand für die Pkw-Nutzung für eine Person mit einem durchschnittlichen Verkehrsverhalten (Stunden pro Jahr)**



Der Berechnung des Zeitaufwands liegt das Verhalten einer durchschnittlichen Person in Deutschland zugrunde, die ihr Verhalten (Routenwahl- und Verkehrsmittelwahl) nicht aufgrund eines Tempolimits anpasst. Eine durchschnittliche Person in Deutschland legt mit dem Pkw als Fahrer oder Mitfahrer jährlich etwa 11.000 km zurück. Davon entfallen 3.300 km auf Autobahnen.

Quelle: eigene Darstellung, ISV (Universität Stuttgart)

Die Wirkungen auf die mittlere Pkw-Geschwindigkeit und die Pkw-Reisezeit unterscheiden sich zwischen den Szenarien deutlich. Die Wirkungen sind insbesondere in den Szenarien hoch, in denen die zulässige Geschwindigkeit auf Außerortsstraßen auf maximal 80 km/h reduziert wird. Das hat drei Ursachen:

- ▶ Der Anteil der von einem Tempolimit auf Außerortsstraßen betroffenen Fahrleistung ist mit 25 % höher als der Anteil der Fahrleistung auf Autobahnen ohne Tempolimit (20 %).
- ▶ Eine Geschwindigkeitsreduktion von 100 km/h auf 80 km/h wirkt sich, verglichen mit einer Geschwindigkeitsreduktion von 140 km/h auf 120 km/h, stärker auf den Zeitaufwand aus. Bei einer Fahrtweite von 100 km und einer konstanten Fahrgeschwindigkeit führt eine Geschwindigkeitsreduktion von 140 km/h auf 120 km/h zu einem Mehraufwand von 7,1 Minuten. Eine Geschwindigkeitsreduktion von 100 km/h auf 80 km/h erfordert einen Mehraufwand von 15,0 Minuten.
- ▶ Bei einem Tempolimit auf Außerortsstraßen können Reisezeitverlängerungen auf der Autobahn in geringerem Umfang durch eine veränderte Routenwahl mit Nutzung von Außerortsstraßen kompensiert werden.

### 3.2 Wirkung auf die Fahrleistung

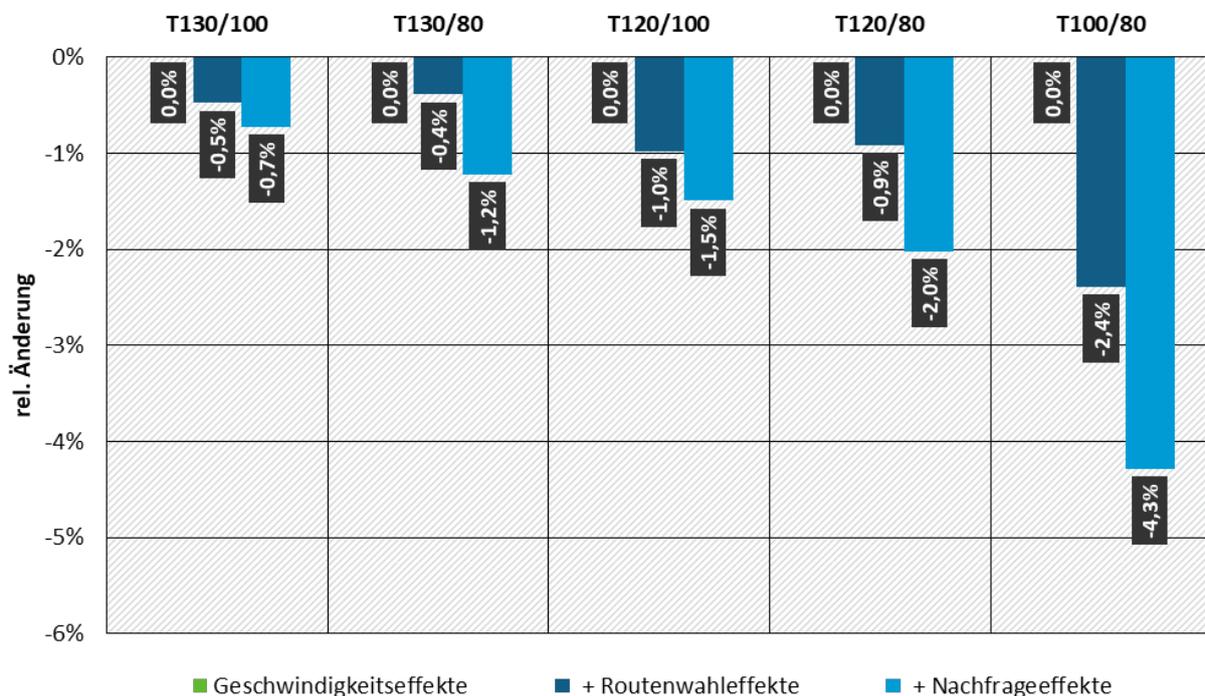
Die Wirkungen der einzelnen Szenarien auf die Pkw-Fahrleistung sind in Abbildung 3 dargestellt.

Im Berechnungsschritt „Geschwindigkeitseffekte“ ändert sich die Pkw-Fahrleistung nicht, da hier keine Routenwahl- und Nachfragewirkungen berücksichtigt werden. Die Verkehrsstärken im gesamten Netz bleiben unverändert (Änderungen in Abbildung 3 für alle Szenarien 0,0 %).

Im Berechnungsschritt „Routenwahleffekte“ reduziert sich die Pkw-Fahrleistung durch die Wahl von direkteren Routen. Direktere Routen werden dann gewählt, wenn sie kürzere Fahrtzeiten ermöglichen als eine Autobahnroute, auf der die Fahrtzeit durch das Tempolimit steigt. In den Szenarien, in denen die zulässige Höchstgeschwindigkeit auf Außerortsstraßen gegenüber dem Ausgangszustand unverändert bleibt (T130/100 und T120/100) entfällt deshalb ein höherer Anteil des Fahrleistungsrückgangs auf den Routenwahleffekt als bei den Vergleichsszenarien mit einer herabgesetzten zulässigen Geschwindigkeit im Außerortsbereich (T130/80 und T120/80). Wird die zulässige Höchstgeschwindigkeit nur auf der Autobahn herabgesetzt, gibt es stärkere Verlagerungen in das untergeordnete Netz als bei Szenarien mit einem zusätzlichen Tempolimit von 80 km/h im untergeordneten Netz.

Im Berechnungsschritt „Nachfrageeffekte“ reduziert sich die Pkw-Fahrleistung durch eine veränderte Verkehrsmittelwahl. Die Wirkung der Nachfrageeffekte hängt von den Reisezeitverlängerungen im Pkw-Verkehr ab. Deshalb ergeben sich bei Szenarien mit einem zusätzlichen Tempolimit von 80 km/h im untergeordneten Netz höhere Nachfrageeffekte.

**Abbildung 3: Relative Änderung der Fahrleistung des Pkw-Verkehrs**

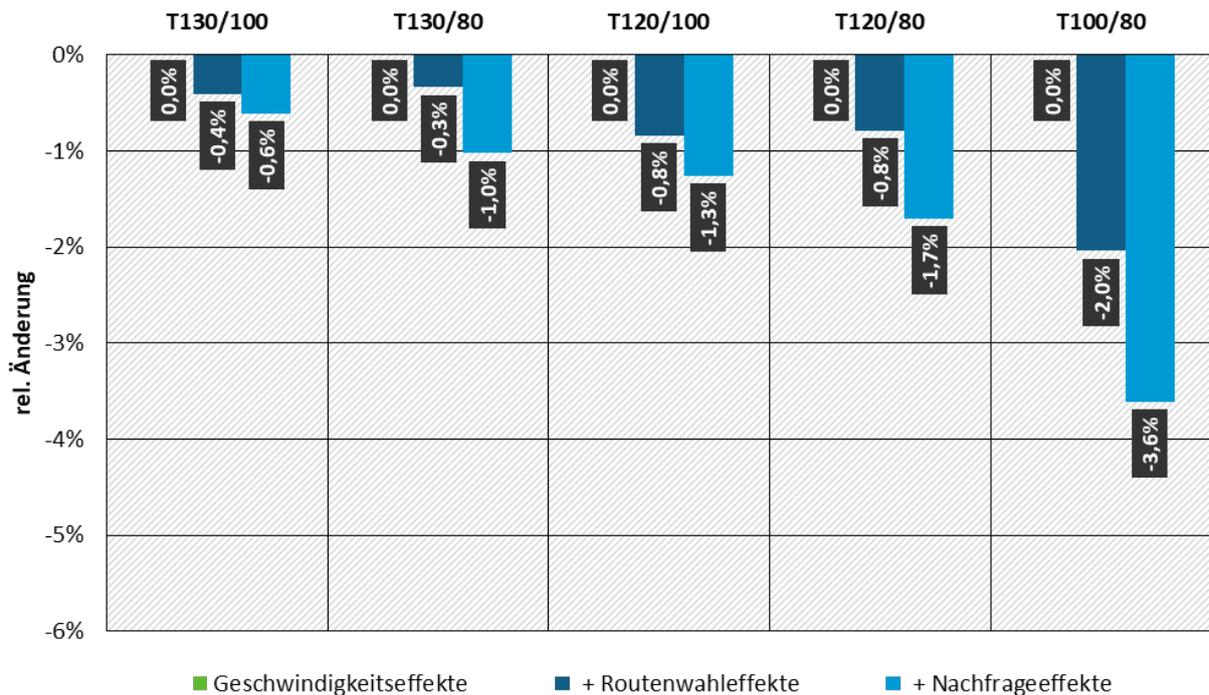


Quelle: eigene Darstellung, ISV (Universität Stuttgart)

Die Änderungen der Fahrleistung des gesamten Straßenverkehrs ist in Abbildung 4 dargestellt. Die Änderungen sind im Vergleich zu den Änderungen im Pkw-Verkehr geringer, da die Wirkungen der Szenarien auf die weiteren Fahrzeugkategorien weniger stark ausfallen. Für SNF wirken die angenommenen Tempolimits nicht direkt, weshalb keine Routenwahländerungen

modelliert wurden. Für LNF wurde die Routenwahl aufgrund der veränderten Reisezeiten berücksichtigt. Da LNF vor allem gewerblich genutzt werden, ist eine modale Verlagerung der Nachfrage nicht möglich, weshalb es keine Nachfrageeffekte gibt. Für die verbleibenden Fahrzeugkategorien (Krafträder und Busse), die für das Gesamtergebnis von untergeordneter Bedeutung sind, wurden die Verkehrsstärken gegenüber dem Ausgangszustand nicht verändert.

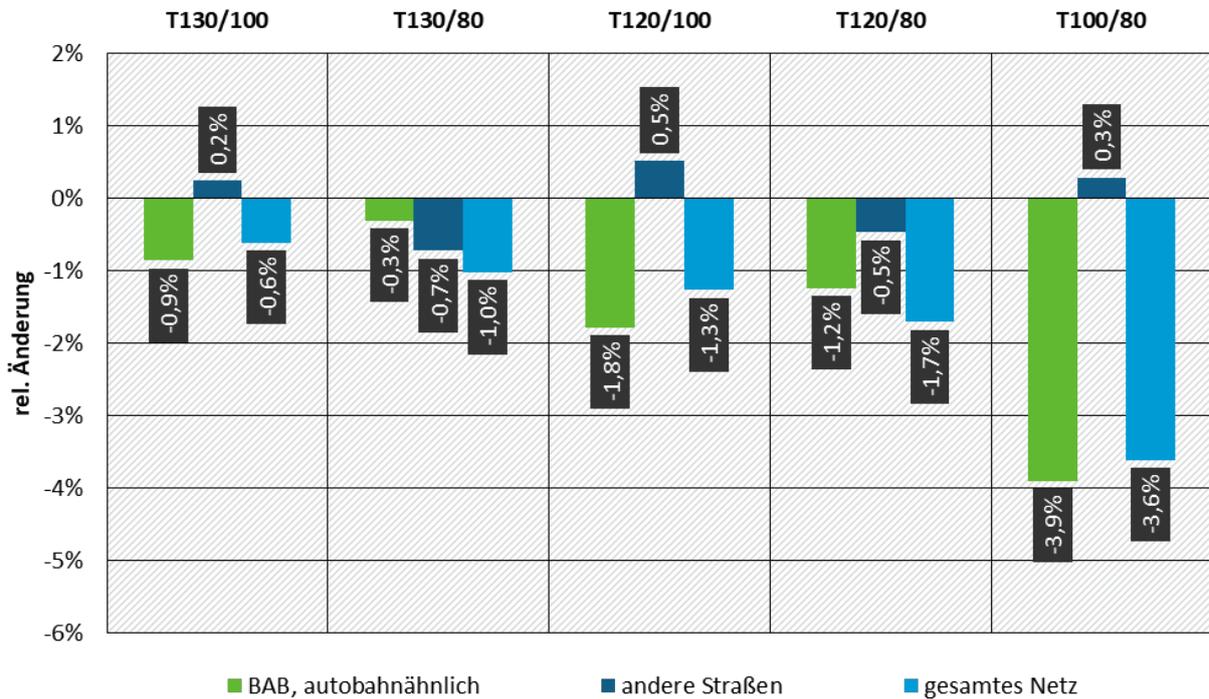
**Abbildung 4: Relative Änderung der Fahrleistung des gesamten Straßenverkehrs**



Quelle: eigene Darstellung, ISV (Universität Stuttgart)

Abbildung 5 zeigt die Änderung der Fahrleistung des gesamten Straßenverkehrs differenziert nach Autobahnen und anderen Straßen (Wirkung durch Routenwahl- und Nachfrageeffekte). Die Reduzierung der zulässigen Geschwindigkeiten auf Autobahnen verringert die Bündelungswirkung der Autobahnen. Für den Verkehr mit Pkw und LNF können dann direktere Routen im untergeordneten Netz attraktiver werden. Das betrifft vor allem Fahrten, die nicht in der Nähe einer Autobahnanschlussstelle beginnen oder enden. Diese unerwünschten Verlagerungen lassen sich durch ein Tempolimit von 80 km/h auf Außerortsstraßen teilweise vermeiden (T130/80 und T120/80).

**Abbildung 5: Relative Änderung der Fahrleistung des gesamten Straßenverkehrs nach Autobahnen und anderen Straßen**



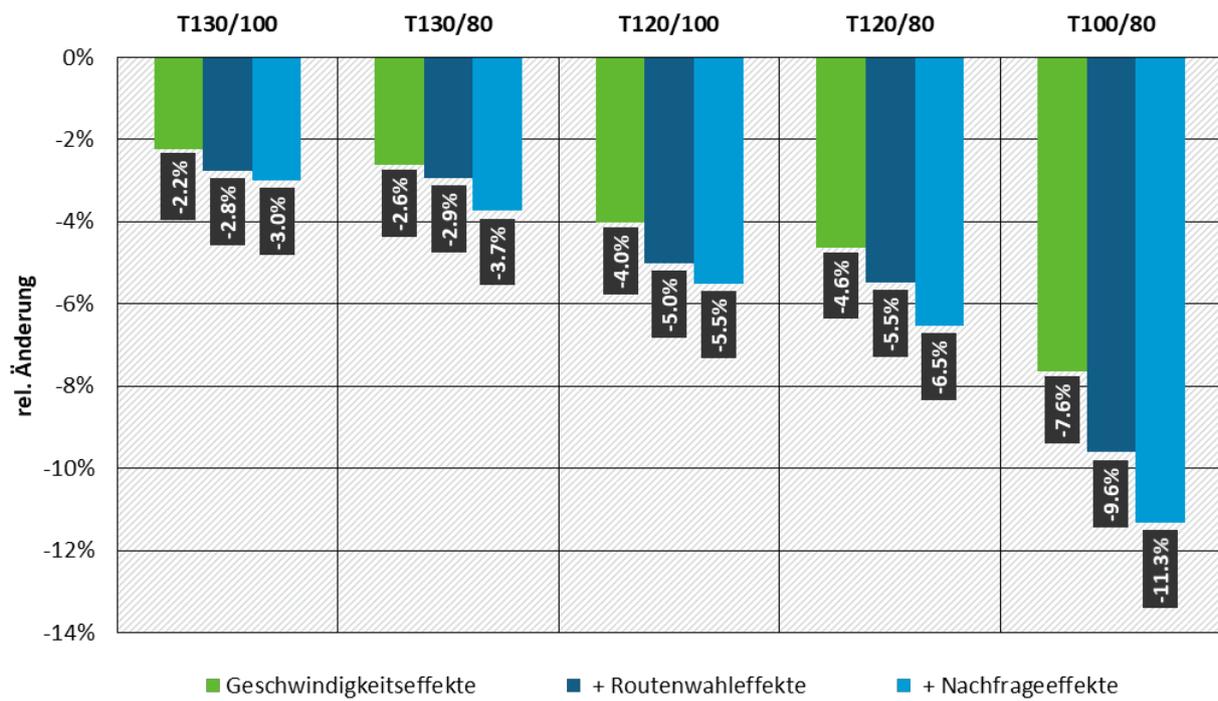
Quelle: eigene Darstellung, ISV (Universität Stuttgart)

### 3.3 Wirkung auf die THG-Emissionen

Die Veränderung der THG-Emissionen des Pkw-Verkehrs ist in Abbildung 6 zusammengefasst. Die größten Änderungen ergeben sich aus den Geschwindigkeitseffekten, also aus den veränderten Emissionsfaktoren aufgrund der langsameren Fahrgeschwindigkeiten. Bei einer Reduzierung der maximalen zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf Autobahnen auf 130 km/h geht der mittlere Emissionsfaktor des Pkw-Verkehrs um 2,2 % zurück (T130/100). Im Szenario T100/80 reduziert sich der Emissionsfaktor um 7,6 %.

Die Änderungen der THG-Emissionen aufgrund der Routenwahl- und Nachfrageeffekte ergeben sich primär aus der Änderung der Fahrleistung. Zu berücksichtigen ist, dass die gesamten Änderungen Ergebnis einer multiplikativen Verknüpfung von Emissionsfaktor und Fahrleistung sind, die Effekte also nicht aufaddiert werden können. Beispielsweise ergibt sich die Änderung der THG-Emissionen von -11,3 % im Szenario T100/80 aus dem Rückgang der Emissionsfaktoren um 7,6 % (Abbildung 6) und der Fahrleistung um 4,3 % (Abbildung 3). Die Multiplikation der neuen Emissionsfaktoren (92,4 %) und der neuen Fahrleistung (95,7 %) ergeben rechnerisch eine Minderung der Gesamtemissionen von 11,6 %. Die Abweichung der ausgewiesenen Minderung von 11,3 % zu diesem Wert ergibt sich daraus, dass der Fahrleistungsrückgang nicht gleichmäßig auf die HBEFA-Verkehrssituationen verteilt stattfindet.

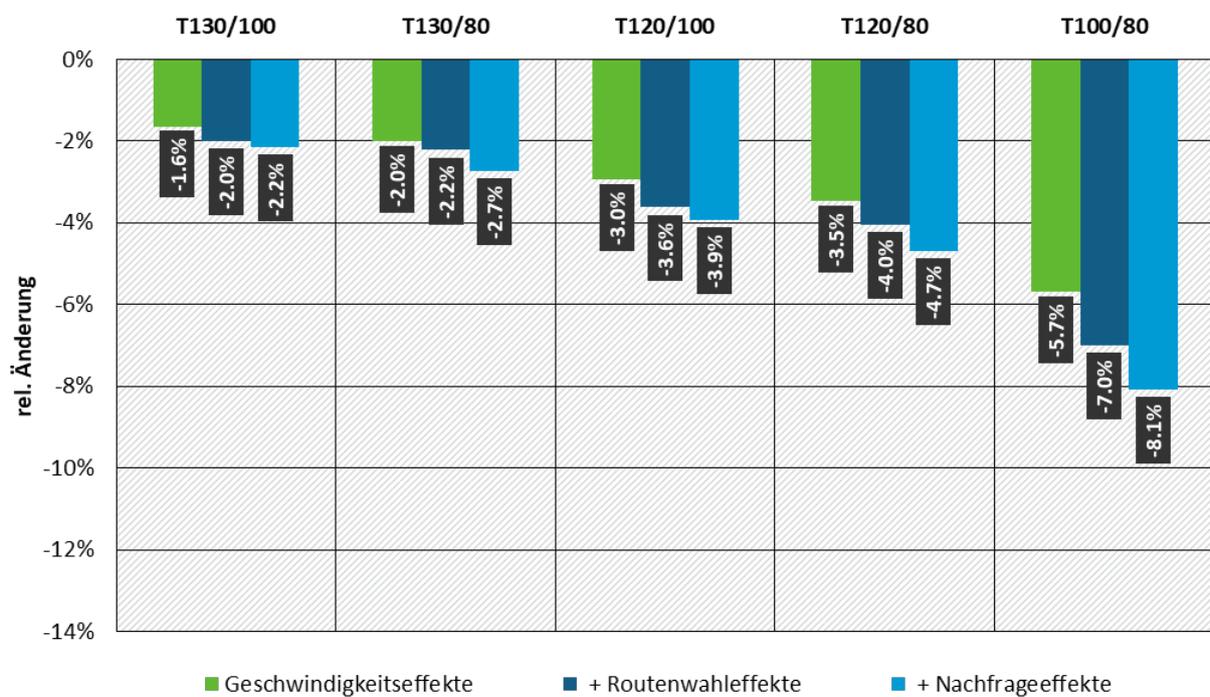
**Abbildung 6: Relative Änderung der THG-Emissionen des Pkw-Verkehrs**



Quelle: eigene Darstellung, ISV (Universität Stuttgart)

In Abbildung 7 sind die Änderungen der THG-Emissionen für den gesamten Straßenverkehr in Deutschland dargestellt, die für die einzelnen Szenarien berechnet wurden. Die Gesamtwirkung liegt zwischen -2,2 % (T130/100) und -8,1 % (T100/80). Eine Einordnung insbesondere dieser Werte erfolgt in Kapitel 4.

**Abbildung 7: Relative Änderung der THG-Emissionen des gesamten Straßenverkehrs**



Quelle: eigene Darstellung, ISV (Universität Stuttgart)

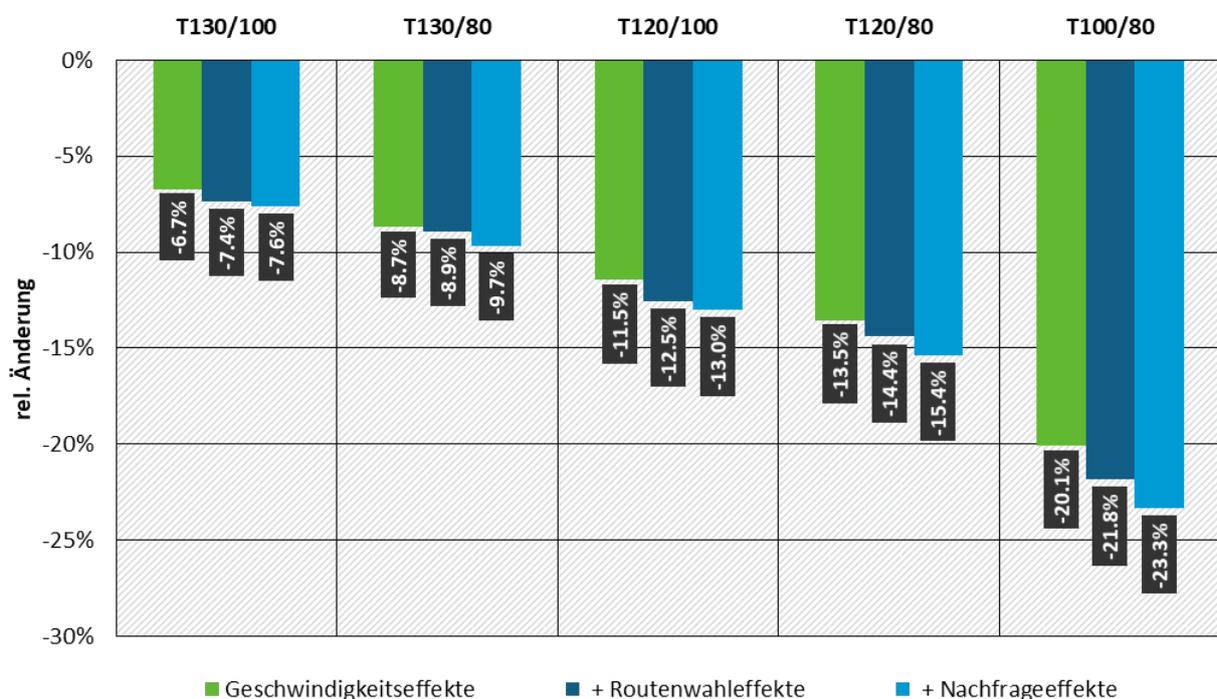
Der Unterschied zwischen den Ergebnissen für den gesamten Verkehr und den Ergebnissen für Pkw ist bei der Fahrleistung (vgl. Abbildung 3 und Abbildung 4) kleiner als bei den THG-Emissionen (vgl. Abbildung 6 und Abbildung 7). Das ergibt sich daraus, dass der SNF-Verkehr einen höheren Anteil der THG-Emissionen (26,4 % der gesamten THG-Emissionen im Ausgangszustand) verursacht, als sein Anteil an der Gesamtfahrleistung (8,1 % im Ausgangszustand) ausmacht. Da die Wirkung eines Tempolimits auf den SNF-Verkehr sehr gering ist, dämpft der SNF-Verkehr das Ergebnis der THG-Emissionen für den gesamten Straßenverkehr.

### 3.4 Wirkung auf die Luftschadstoffemissionen

An dieser Stelle werden die Wirkungen der Szenarien auf die NO<sub>x</sub>- und PM-Emissionen zusammengefasst betrachtet, da diese zu großen Teilen eine hohe Ähnlichkeit aufweisen. In Abbildung 8 sind die Änderungen der NO<sub>x</sub>-Emissionen, in Abbildung 9 die der PM-Emissionen des Pkw-Verkehrs dargestellt. Es zeigen sich hohe Änderungen (verglichen mit den Rückgängen bei den THG-Emissionen), die sich größtenteils direkt aus den Geschwindigkeitseffekten ergeben. Die zusätzlichen Effekte aus veränderter Routenwahl und Verkehrsnachfrage ergeben sich ebenso wie bei den THG-Emissionen größtenteils aus der reduzierten Fahrleistung (vgl. Kapitel 3.3).

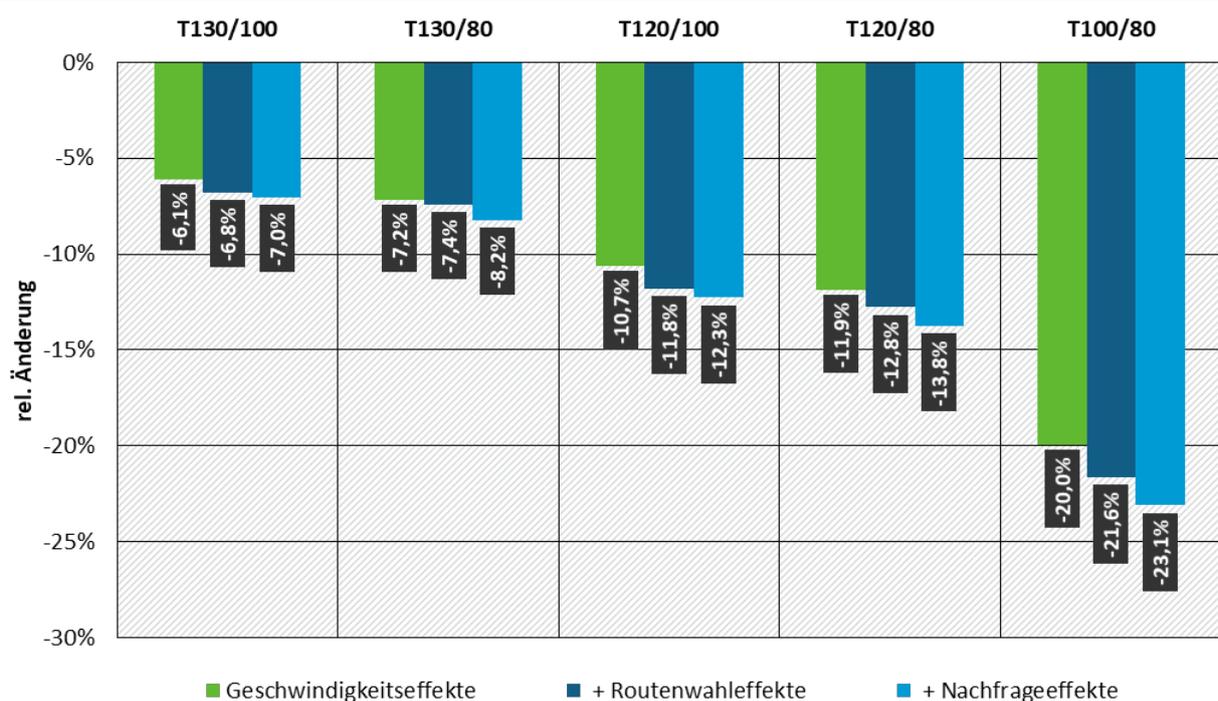
Insgesamt liegt der Rückgang der NO<sub>x</sub>-Emissionen zwischen 7,6 % und 23,3 %, der Rückgang der PM-Emissionen zwischen 7,0 % und 23,1 %. Die Abnahme der PM-Emissionen ist in allen Szenarien etwas geringer als die der NO<sub>x</sub>-Emissionen.

Abbildung 8: Relative Änderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Pkw-Verkehrs



Quelle: eigene Darstellung, ISV (Universität Stuttgart)

**Abbildung 9: Relative Änderung der PM-Emissionen des Pkw-Verkehrs**

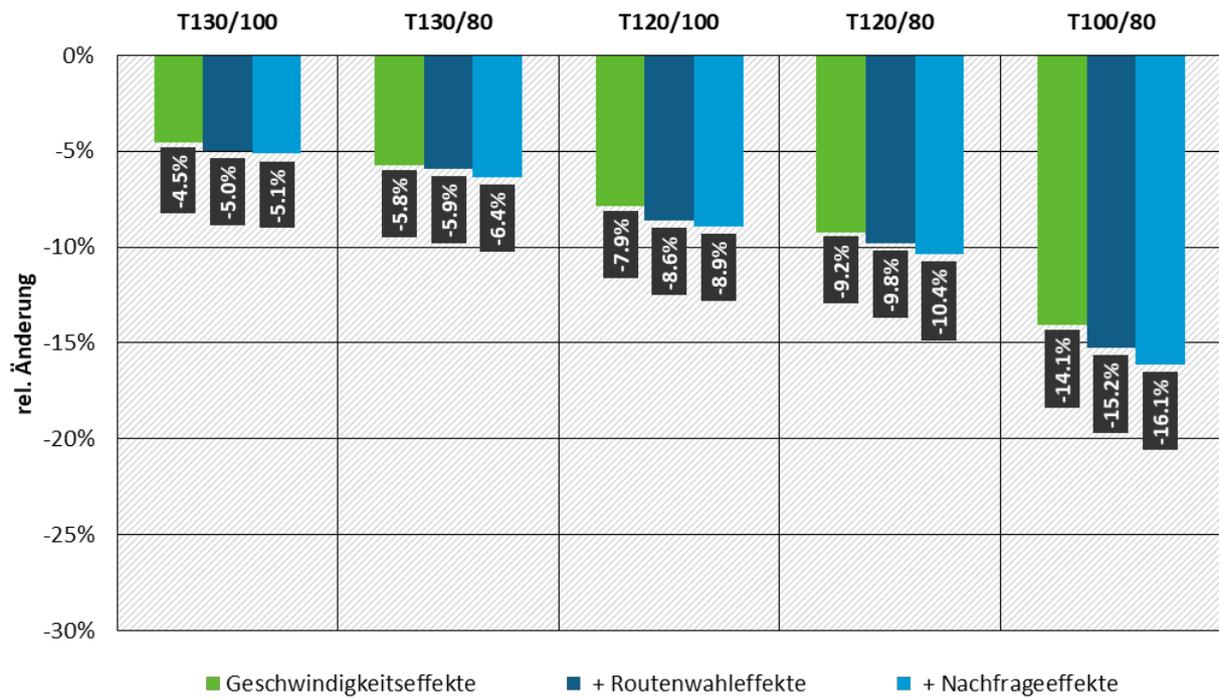


Quelle: eigene Darstellung, ISV (Universität Stuttgart)

In Abbildung 10 und Abbildung 11 sind die Änderungen der NO<sub>x</sub>- und PM-Emissionen des gesamten Straßenverkehrs dargestellt. Wie bei den THG-Emissionen ist die Wirkung der Szenarien bezogen auf den gesamten Straßenverkehr geringer als bei einer ausschließlichen Betrachtung des Pkw-Verkehrs. Der in Kapitel 3.3 beschriebene Effekt, dass die Emissionen der SNF die Wirkungen eines Tempolimits reduzieren, gilt hier gleichermaßen.

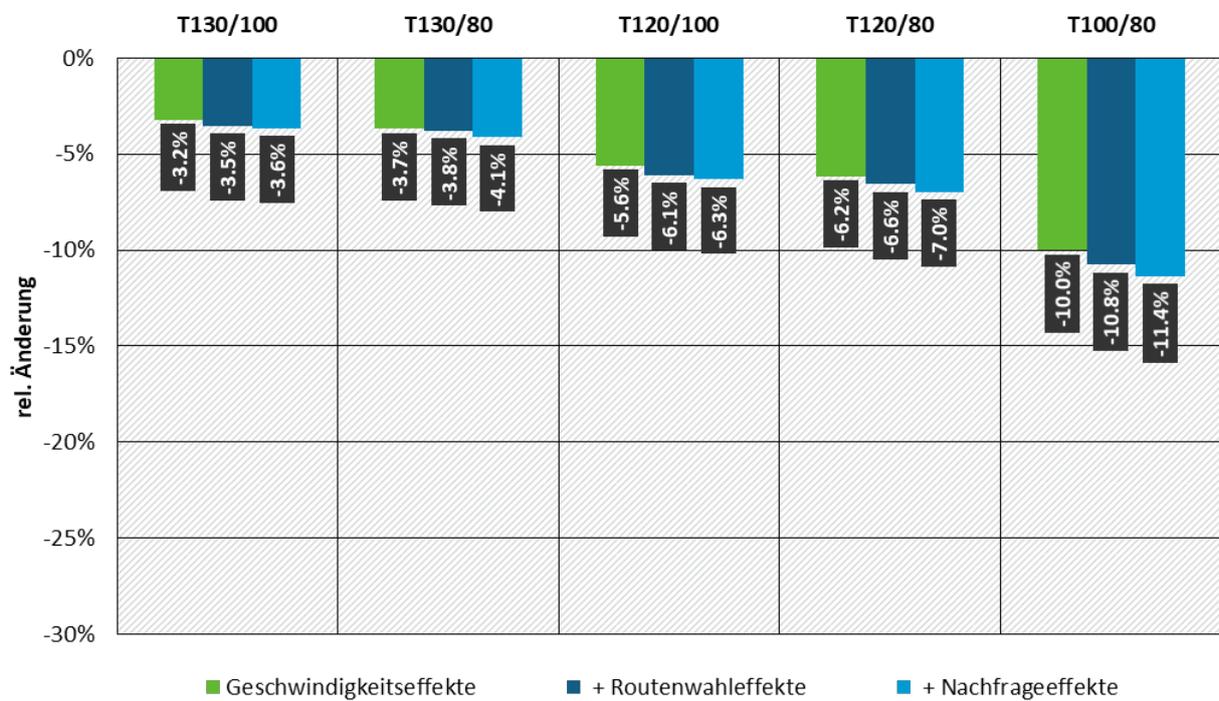
Zusätzlich zeigt sich, dass die Rückgänge bei PM gegenüber den Rückgängen bei NO<sub>x</sub> noch einmal abgeschwächt sind. Der Grund dafür ist, dass ein großer Anteil der PM-Emissionen (knapp 20 % des gesamten Straßenverkehrs) auf Krafträder zurückzuführen ist. Dabei spielt der Verkehr in hohen Geschwindigkeitsbereichen nur eine untergeordnete Rolle – die Emissionen werden vor allem durch Mofas und Motorroller verursacht. Da sich deren Nutzung zwischen dem Ausgangszustand und den Szenarien nicht verändert, bleiben die Emissionen hier konstant und wirken damit, vergleichbar mit den Emissionen der SNF, stabilisierend auf das Gesamtergebnis. Bei Betrachtung der PM-Emissionsminderungen ist zu berücksichtigen, dass in der Untersuchung nur die abgasbedingten Emissionen berücksichtigt wurden. Unter Berücksichtigung der durch Bremsen- und Reifenabrieb entstehenden Emissionen dürfte der hier beschriebene, durch Krafträder verursachte Effekt von untergeordneter Bedeutung sein.

Abbildung 10: Relative Änderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen des gesamten Straßenverkehrs



Quelle: eigene Darstellung, ISV (Universität Stuttgart)

Abbildung 11: Relative Änderung der PM-Emissionen des gesamten Straßenverkehrs



Quelle: eigene Darstellung, ISV (Universität Stuttgart)

## 4 Einordnung der Ergebnisse

### 4.1 Vergleich mit bisherigen Studienergebnissen

Bereits in der Studie Flüssiger Verkehr (Schmaus et al. 2023) wurden die Ergebnisse einer früheren Untersuchung des Umweltbundesamtes (Lange et al. 2020) gegenübergestellt. Die in der Studie Flüssiger Verkehr berechneten Werte waren deutlich höher als die Ergebnisse von Lange et al. (2020). Aufgrund der methodischen Veränderungen gegenüber der Studie Flüssiger Verkehr (siehe Kapitel 2) unterscheiden sich die Ergebnisse der vorliegenden Studie noch einmal geringfügig. In Tabelle 6 sind die Ergebnisse der jeweiligen Studien gegenübergestellt.

**Tabelle 6: Vergleich der THG-Wirkung der Szenarien mit bisherigen Untersuchungen**

Szenario	Wirkung Geschwindigkeitseffekte		Gesamtwirkung	
	Relativ	bezogen auf 157,7 Mio. $t_{CO_2\ddot{a}q}$ (Jahr 2018)	Relativ	bezogen auf 157,7 Mio. $t_{CO_2\ddot{a}q}$ (Jahr 2018)
<b>T130/100</b>	-1,6 %	-2,5 Mio. $t_{CO_2\ddot{a}q}$	-2,2 %	-3,5 Mio. $t_{CO_2\ddot{a}q}$
<i>Lange et al. 2020</i>		-2,2 Mio. $t_{CO_2\ddot{a}q}$		
<b>T120/100</b>	-3,0 %	-4,7 Mio. $t_{CO_2\ddot{a}q}$	-3,9 %	-6,2 Mio. $t_{CO_2\ddot{a}q}$
<i>Lange et al. 2020</i>		-2,9 Mio. $t_{CO_2\ddot{a}q}$		
<i>Schmaus et al. 2023</i>	-2,9 %	-4,6 Mio. $t_{CO_2\ddot{a}q}$	-4,2 %	-6,7 Mio. $t_{CO_2\ddot{a}q}$
<b>T120/80</b>	-3,5 %	-5,5 Mio. $t_{CO_2\ddot{a}q}$	-4,7 %	-7,4 Mio. $t_{CO_2\ddot{a}q}$
<i>Schmaus et al. 2023</i>	-3,4 %	-5,4 Mio. $t_{CO_2\ddot{a}q}$	-5,1 %	-8,1 Mio. $t_{CO_2\ddot{a}q}$

Die Gesamtwirkung umfasst die Geschwindigkeitseffekte sowie Routenwahl- und Nachfrageeffekte

Bei einem systematischen Vergleich der Ergebnisse gilt es zu berücksichtigen, dass bei Lange et al. (2020) keine Routenwahl- und Nachfrageeffekte berücksichtigt wurden. Sie berücksichtigen in ihrer Rechnung nur das veränderte Fahrverhalten, was in der vorliegenden Studie unter dem Aspekt der „Geschwindigkeitseffekte“ bilanziert wurde. Bei einem Vergleich dieser Werte zeigt sich, dass sich die Lücke zwischen der Studie von Lange et al. (2020) und der Studie Flüssiger Verkehr in der vorliegenden Studie geringfügig vergrößert hat. Verglichen wurde das Szenario T120/100, für das bei Lange et al. (2020) Einsparungen von 2,9 Mio.  $t_{CO_2\ddot{a}q}$ , in der Studie Flüssiger Verkehr Einsparungen von 4,6 Mio.  $t_{CO_2\ddot{a}q}$  (nur Geschwindigkeitseffekte) bezogen auf das Jahr 2018, ausgewiesen wurden. In der vorliegenden Studie wurde ein Wert von 4,7 Mio.  $t_{CO_2\ddot{a}q}$  berechnet. Der Unterschied zwischen der Studie flüssiger Verkehr und der vorliegenden Studie ergibt sich aus der Umstellung auf die aktualisierte Version des HBEFA (Version 4.2). Darin sind gegenüber der Version 4.1 die Emissionsfaktoren von SNF deutlich nach unten korrigiert worden, die Emissionsfaktoren von Pkw dagegen leicht angehoben. Somit nehmen die Pkw einen größeren Anteil an den Gesamtemissionen ein und die Maßnahme wirkt, bezogen auf den gesamten Kfz-Verkehr etwas stärker. Weitere methodische Unterschiede bestehen an dieser Stelle nicht, weshalb die Erklärung der Unterschiede in den Ergebnissen zu Lange et al. (2020) aus der Studie Flüssiger Verkehr für die vorliegende Untersuchung gleichermaßen gilt. Als Erklärung wurde in der Studie Flüssiger Verkehr folgende Aussage getroffen (Schmaus et al. 2023, S. 211):

*„Der Unterschied ist primär in der Methodik der Herleitung der Emissionsfaktoren begründet. Nach der bei Lange et. al (2020) verwendeten Methodik ergeben sich für Strecken ohne Tempolimit niedrigere, im Maßnahmenfall bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 120 km/h jedoch höhere Emissionsfaktoren, als die im Rahmen der vorliegenden Arbeit angesetzten HBEFA-Werte.“*

Im Gegensatz zu den Wirkungen durch Geschwindigkeitseffekte ist die berechnete Gesamtwirkung in der vorliegenden Studie etwas geringer als in der Studie Flüssiger Verkehr. Dies liegt an der veränderten Methodik im Bereich der Nachfrageberechnung. In der Studie Flüssiger Verkehr wurde ein pauschales Elastizitätenmodell verwendet, da kein multimodales Verkehrsmittelwahlmodell zur Verfügung stand (vgl. Friedrich und Schmaus 2023a). Diese Lücke wurde im aktuellen Forschungsvorhaben geschlossen, indem der öffentliche Verkehr als Verkehrsmittelalternative in das Modell integriert wurde. Die so berechneten Gesamtwirkungen (siehe Tabelle 6) sind geringer als die Ergebnisse der Studie Flüssiger Verkehr, da die Angebotsqualität im öffentlichen Verkehr berücksichtigt werden konnte.

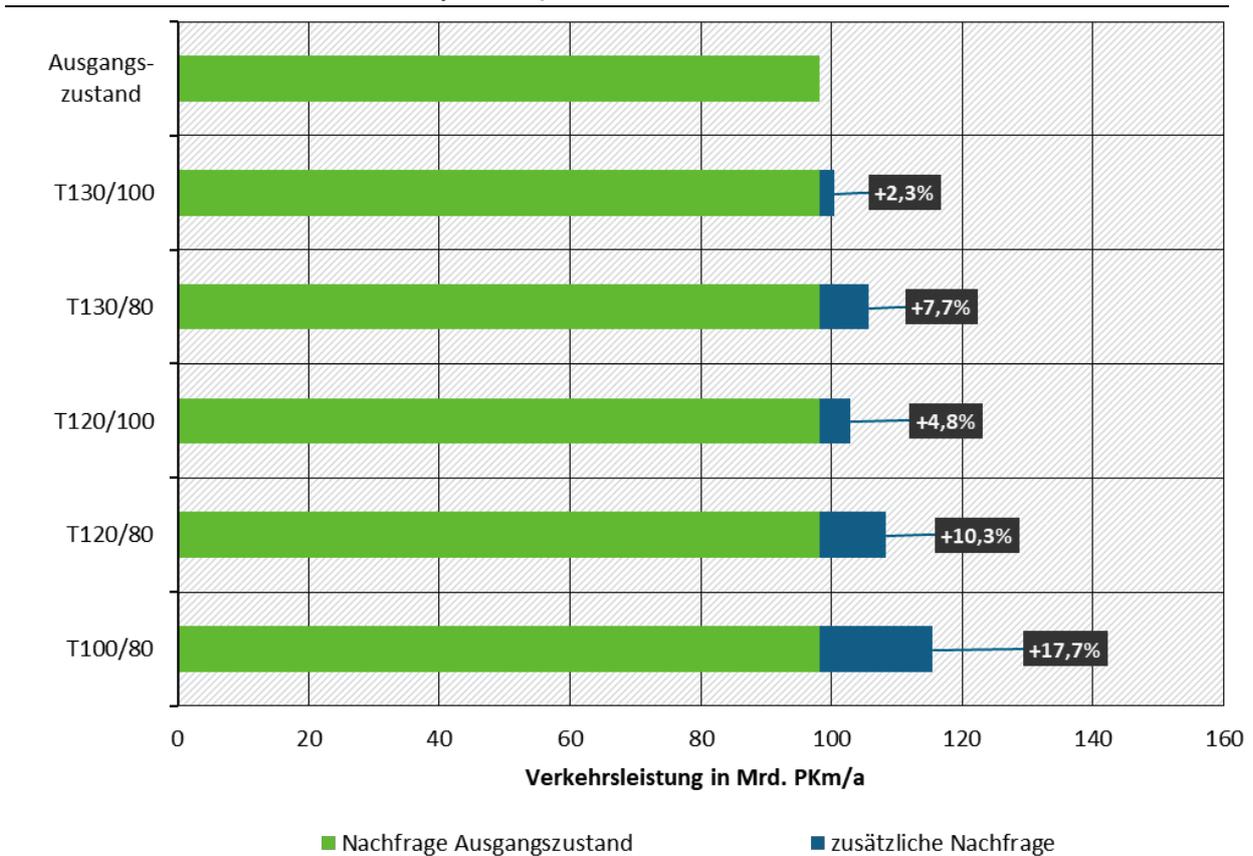
## 4.2 Wirkungen auf den Schienenverkehr

Die Tempolimits im Pkw-Verkehr werden dazu führen, dass ein Teil der Pkw-Nutzenden auf andere Verkehrsmittel wechselt oder dienstliche Aktivitäten in Form von Videokonferenzen durchführt. Verlagerungen der Verkehrsnachfrage vom Pkw auf den öffentlichen Verkehr werden wegen der Länge der betroffenen Wege vor allem den Schienenverkehr betreffen. Um die Auswirkungen auf das öffentliche Verkehrssystem zu überprüfen, wurden die Nachfragezuwächse im Schienenpersonenverkehr abgeschätzt. Dabei wurde berücksichtigt, dass bei einem Wechsel vom Pkw zum öffentlichen Verkehr neben den Selbstfahrenden auch die Mitfahrenden umsteigen. Nachfragerückgänge aufgrund unterlassener Reisen (z.B. Videokonferenzen) wurden für diese Betrachtung nicht einbezogen. Die Abschätzung geht vereinfachend davon aus, dass der gesamte Rückgang der Fahrleistung im Pkw-Verkehr (Abbildung 3) auf die Schiene verlagert wird. Die tatsächliche Zunahme kann etwas geringer ausfallen, da auch Fernbusangebote genutzt werden können oder Reisen unterlassen werden.

Die Ergebnisse der Abschätzung sind in Abbildung 12 dargestellt. Bezugsgröße für den Nachfragezuwachs ist die Verkehrsleistung im Schienenverkehr, die im Jahr 2018 98,2 Mrd. Personenkilometer betrug. Die relative Zunahme der Verkehrsleistung (Personenkilometer) im Schienenverkehr ist deutlich höher als die relative Abnahme der Verkehrsleistung im Pkw-Verkehr (Selbstfahrende und Mitfahrende). Das liegt daran, dass die Pkw-Verkehrsleistung im Ausgangszustand etwa 9-mal so hoch ist wie die Verkehrsleistung auf der Schiene.

Der Nachfragezuwachs liegt in den Szenarien mit einem Tempolimit auf Autobahnen von 130 km/h und oder 120 km/h zwischen 2 % (im Szenario T130/100) und 10 % (im Szenario T120/80). Für einen Zuwachs in dieser Größenordnung werden die vorhandenen Kapazitäten im Schienenverkehr auf den meisten Relationen ausreichen, auf einzelnen Relationen können zusätzliche Kapazitäten erforderlich sein. Ein Tempolimit auf Autobahnen von 100 km/h ändert das Reisezeitverhältnis Schiene / Pkw deutlich, so dass der öffentliche Verkehr für eine größere Anzahl von Reisenden eine Alternative darstellt. Die resultierenden Zuwächse von rund 18 % können auf einzelnen Linien zusätzliche Kapazitäten sowohl im Schienenfernverkehr als auch im Schienennahverkehr erfordern.

**Abbildung 12: Nachfrage und Nachfragezuwachs im Schienenpersonenverkehr (Mrd. Personenkilometer pro Jahr)**



Quelle: eigene Darstellung, ISV (Universität Stuttgart)

### 4.3 Übertragbarkeit der Ergebnisse

Wie in Kapitel 2.1 dargestellt, beziehen sich die berechneten Einsparungen auf den Ausgangszustand des Jahres 2018. Ein abweichendes Verkehrs- und Fahrverhalten sowie eine veränderte Fahrzeugflotte können zu Änderungen bei den Maßnahmenwirkungen führen.

Eine Umrechnung der relativen Werte in Absolutwerte, wie sie in Tabelle 6 erfolgt, ist prinzipiell nur für das Jahr 2018 zulässig. Dennoch können die berechneten relativen Änderungen für eine Abschätzung der Wirkungen bei einer abweichenden Gesamtemissionsmenge für ein anderes Jahr herangezogen werden. Dies liegt daran, dass die beiden zentralen Größen Fahrleistung und Emissionsfaktoren, bei der Berechnung der Maßnahmenwirkung multiplikativ verknüpft sind. Es spielt also keine Rolle, ob für eine veränderte Gesamtemissionsmenge eine Änderung der Flottenzusammensetzung (z.B. mehr Elektrofahrzeuge) oder eine Änderung der Pkw-Fahrleistung (z.B. aufgrund gesteigener Homeoffice-Nutzung) ursächlich ist.

Die Wirkungen eines Tempolimits auf die Emissionen im Pkw-Verkehr können für ein beliebiges Jahr  $j$  mit folgender Formel abgeschätzt werden:

$$\Delta E_j^{CO_2} = L_{Pkw,j} \cdot (1 - \alpha_{PkwBEV,j}) \cdot e_{PkwICEV,j}^{CO_2} \cdot f_s$$

mit

- $\Delta E_j^{CO_2}$  eingesparte CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr j
- $L_{Pkw,j}$  Fahrleistung Pkw im Jahr j
- $a_{PkwBEV,j}$  Anteil Fahrleistung batterieelektrische Pkw (BEV) im Jahr j
- $e_{PkwICEV,j}^{CO_2}$  mittlerer CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für konventionelle Pkw (ICEV) im Jahr j (z.B. 167 gCO<sub>2</sub>/km, HBEFA 4.2 Flotte DE 2018)
- $f_s$  Minderungswirkung des Szenarios s für die Pkw-Emissionen (Abbildung 6) im Jahr j

Ein Tempolimit wirkt auch auf den Energieverbrauch eines batterieelektrischen Pkw. Solange Strom nicht zu 100% aus erneuerbaren Quellen erzeugt wird, reduziert jede Energieeinsparung bei batterieelektrischen Pkw direkt die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Sektor Energiewirtschaft. Diese Einsparung lässt sich analog zu den Emissionseinsparungen bestimmen.

$$\Delta E_j^{Strom} = L_{Pkw,j} \cdot a_{PkwBEV,j} \cdot e_{PkwBEV,j}^{Strom} \cdot f_s$$

mit

- $\Delta E_j^{Strom}$  eingesparte Strommenge (Endenergieverbrauch) im Jahr j
- $e_{PkwBEV,j}^{Strom}$  mittlerer Stromverbrauch für batterieelektrische Pkw (BEV) im Jahr j (z.B. 0,2 kWh/km)

Die beiden Formeln berücksichtigen die Fahrleistung und die Flottenzusammensetzung für den Pkw-Verkehr. Eventuelle Änderungen des Fahrverhaltens sind bei dieser Betrachtung nicht enthalten. Es ist vorstellbar, dass beispielsweise aufgrund gestiegener Mineralölpreise geringere Geschwindigkeiten auf Autobahnen gewählt werden. Eine solche Verhaltensänderung würde die Wirkung eines Tempolimits in gewissem Maße reduzieren. Den Autoren stehen jedoch keine Untersuchungen zur Verfügung, die eine entsprechende Aussage bestätigen. Auswertungen aus dem Jahr 2022 (als die Kraftstoffpreise besonders hoch waren) deuten darauf hin, dass die Kraftstoffpreise zu diesem Zeitpunkt keine wahrnehmbare Auswirkung auf die Geschwindigkeitswahl hatten (RND/dpa 2022).

Zusätzlich zu den Einsparungen beim Pkw-Verkehr gibt es in kleinerem Umfang THG-Einsparungen bei den schweren und leichten Nutzfahrzeugen, die 2018 zwischen 0,4 Mio. t<sub>CO2äq</sub> (T130/100) und 1,4 Mio. t<sub>CO2äq</sub> (T100/80) lagen. Diese Einsparungen werden proportional zur Elektrifizierung der Nutzfahrzeuge sinken.

Basierend auf den Daten des Projektionsberichts 2024 (Öko-Institut e.V., Fraunhofer ISI, IREES, Thünen-Institut, 2024a) können mit der oben dargestellten Formel die eingesparten Treibhausgasemissionen für zukünftige Jahre abgeschätzt werden. Der Projektionsbericht liefert jährliche THG-Emissionsmengen im Sektor Verkehr für ein Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) für den Zeitraum 2024 bis 2050. Er weist außerdem die jährlichen Pkw-Fahrleistungen differenziert nach Pkw konventionell und Pkw batterieelektrisch aus. Das MMS-Szenario berücksichtigt Emissionsminderungen aus Maßnahmen, die als weitestgehend gesichert gelten, soweit die angenommenen Preisentwicklungen und weitere Rahmendaten eintreten. Die angenommenen Maßnahmen sind in einem eigenen Bericht beschrieben (Öko-Institut e.V., Fraunhofer ISI, IREES, Thünen-Institut, 2024b). Sie enthalten keine Maßnahme Tempolimit auf Autobahnen und Außerortsstraßen. Tabelle 7 zeigt eine Abschätzung der eingesparten Treibhausgasemissionen im Pkw-Verkehr für drei Zeiträume. In Tabelle 8 sind die eingesparten Treibhausgasemissionen für den gesamten Straßenverkehr dargestellt. Es ist erkennbar, dass der Anteil der

batterieelektrischen Fahrzeuge und fahrleistungsreduzierende Maßnahmen des MMS-Szenarios die Wirkungen eines Tempolimits im Laufe der Zeit reduzieren. Verzögert sich die Elektrifizierung des Straßenverkehrs sind die eingesparten Treibhausgasemissionen höher.

**Tabelle 7: Eingesparte Treibhausgasemissionen im Pkw-Verkehr für die Zeiträume 2025 – 2030 und 2031 – 2035 basierend auf dem MMS-Szenario des Projektionsberichtes 2024**

Szenario	Eingesparte Treibhausgasemissionen (Mio. t <sub>CO2äq</sub> )		
	2025 – 2030	2031 – 2035	2025 – 2035
T130/100	14	8	22
T130/80	17	10	27
T120/100	25	15	40
T120/80	30	18	48
T100/80	52	31	83
Anteil batterieelektrische Fahrleistung Pkw	14 %	34 %	23 %

Eigene Berechnung auf Grundlage basierend auf daten des Projektionsberichts 2024.

Anteil batterieelektrische Fahrleistung Pkw: mittlerer Fahrleistungsanteil batterieelektrischer Pkw für jeden Zeitraum.

**Tabelle 8: Eingesparte Treibhausgasemissionen im gesamten Straßenverkehr für die Zeiträume 2025 – 2030 und 2031 – 2035 basierend auf dem MMS-Szenario des Projektionsberichtes 2024**

Szenario	Eingesparte Treibhausgasemissionen (Mio. t <sub>CO2äq</sub> )		
	2025 – 2030	2031 – 2035	2025 – 2035
T130/100	15	9	24
T130/80	19	11	30
T120/100	28	16	44
T120/80	33	19	52
T100/80	57	33	90
Anteil batterieelektrische Fahrleistung Pkw	14 %	34 %	23 %
Anteil batterieelektrische Fahrleistung Lkw	13 %	49 %	30 %

Eigene Berechnung auf Grundlage basierend auf daten des Projektionsberichts 2024.

Anteil batterieelektrische Fahrleistung Pkw: mittlerer Fahrleistungsanteil batterieelektrischer Pkw für jeden Zeitraum.

Anteil batterieelektrische Fahrleistung Lkw: mittlerer Fahrleistungsanteil batterieelektrischer leichter und schwerer Nutzfahrzeuge für jeden Zeitraum.

## 5 Quellenverzeichnis

Agora Energiewende (2024): Die Energiewende in Deutschland: Stand der Dinge 2023. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2024.

Allekotte, M.; Biermann, K.; Heidt, C.; Colson, M.; Knörr, W. (2020): Aktualisierung der Modelle TREMOD/TREMOD-MM für die Emissionsberichterstattung 2020 (Berichtsperiode 1990-2018) – Berichtsteil „TREMOD“. TEXTE 116/2020. Herausgeber: Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.

BMDV - Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2022): Verkehr in Zahlen 2022/2023.

De Jong, G.; Gunn, H.F. (2001): Recent evidence on car cost and time elasticities of travel demand in Europe. Journal of Transport Economics and Policy, 35 (2). pp. 137-160. ISSN 0022-5258.

Friedrich, M.; Schmaus, M. (2023a): Umweltwirkung eines Tempolimits auf Autobahnen und Außerortsstraßen. Erläuterungen zum Forschungsvorhaben „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung“. Bericht, Stuttgart. Online [https://www.isv.uni-stuttgart.de/vuv/publikationen/downloads/ISV\\_2023\\_UBA-FV\\_Erlaeuterungen\\_Tempolimit\\_20230215.pdf](https://www.isv.uni-stuttgart.de/vuv/publikationen/downloads/ISV_2023_UBA-FV_Erlaeuterungen_Tempolimit_20230215.pdf) (abgerufen am 23.01.2024).

Friedrich, M.; Schmaus, M. (2023b): Umweltwirkung eines Tempolimits auf Autobahnen und Außerortsstraßen. Anmerkungen zur Kurzstudie im Auftrag der FDP-Bundestagsfraktion. Bericht, Stuttgart. Online [https://www.isv.uni-stuttgart.de/vuv/publikationen/downloads/ISV\\_2023\\_UBA-FV\\_Gutachten\\_FDP\\_Tempolimit\\_20230303.pdf](https://www.isv.uni-stuttgart.de/vuv/publikationen/downloads/ISV_2023_UBA-FV_Gutachten_FDP_Tempolimit_20230303.pdf) (abgerufen am 23.01.2024).

INFRAS AG (2024): HBEFA, Handbuch für Emissionsfaktoren im Straßenverkehr. Dokumentation der Methodik online <https://www.hbefa.net/de/methodik> (abgerufen am 07.03.2024).

KBA – Kraftfahrt-Bundesamt (2023): Fahrzeugzulassungen (FZ 27) – Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Bundesländern, Fahrzeugklassen und ausgewählten Merkmalen 1. Juli 2023. Flensburg, August 2023.

Lange, M.; Hendzlik, M.; Schmied, M. (2020): Klimaschutz durch Tempolimit – Wirkung eines generellen Tempolimits auf Bundesautobahnen auf die Treibhausgasemissionen. TEXTE 38/2020. Herausgeber: Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.

Öko-Institut e.V., Fraunhofer ISI, IREES, Thünen-Institut (2024a): Treibhausgasprojektionen für Deutschland. Kernindikatoren der Projektionen 2024 (Datentabelle). Im Auftrag des Umweltbundesamts. Online <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/datenanhang-kernindikatoren-projektionsbericht-2024> (abgerufen am 11.05.2024).

Öko-Institut e.V., Fraunhofer ISI, IREES, Thünen-Institut (2024b): Treibhausgasprojektionen für Deutschland - Instrumente. Im Auftrag des Umweltbundesamts. Online <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/treibhausgas-projektionen-2024-fuer-deutschland-0> (abgerufen am 11.05.2024).

RND/dpa – Redaktionsnetzwerk Deutschland / Deutsche Presse-Agentur (2022): Trotz steigender Spritpreise: Autofahrer fahren nicht langsamer. 15.03.2022. Online <https://www.rnd.de/wirtschaft/hohe-spritpreise-autofahrer-auf-autobahnen-trotzdem-nicht-langsam-unterswegs-XMWRC4N3FVADGCZQL6D7FDUFU.html> (abgerufen am 23.01.2024).

Schmaus, M.; Bawidamann, J.; Friedrich, M.; Haberl, M.; Trenkwalder, L.; Fellendorf, M.; Uhlig, J.; Lohse, R.; Pestel, E. (2023): Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung – Abschlussbericht. UBA-TEXTE 14/2023. Aktualisierte Fassung vom 20.07.2023. Hrsg. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

UBA – Umweltbundesamt (2023): Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990 – 2022. Arbeitsstand: 13.12.2023. Hrsg. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. Online <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen> (abgerufen am 20.02.2024).

## A Anhang

### A.1 Fahrleistungsanteile auf direkt betroffenen Straßenkategorien im Ausgangszustand

**Tabelle 9: Anteile der LNF-Fahrleistung auf von Maßnahmen betroffenen Autobahn-Straßenkategorien nach Verkehrszuständen**

Straßenkategorie (Gebietstyp, Straßentyp, zul. Höchstgeschwindigkeit)	flüssig	dicht	gesättigt	stop & go	stop & go II	Summe
La, Autobahn, 120 km/h	1,16%	0,98%	0,73%	0,06%	0,01%	<b>2,93%</b>
La, Autobahn, 130 km/h	0,59%	0,82%	0,90%	0,05%	0,00%	<b>2,37%</b>
La, Autobahn, ohne Tempolimit	3,60%	4,83%	4,70%	0,23%	0,01%	<b>13,38%</b>
La, autobahnähnlicher Ausbau, 120 km/h	0,12%	0,11%	0,07%	0,00%	0,00%	<b>0,31%</b>
La, autobahnähnlicher Ausbau, 130 km/h	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	<b>0,03%</b>
La, autobahnähnlicher Ausbau, ohne Tempolimit	0,02%	0,04%	0,04%	0,00%	0,00%	<b>0,10%</b>
Ag, Autobahn, 120 km/h	0,48%	0,41%	0,29%	0,03%	0,00%	<b>1,22%</b>
Ag, Autobahn, 130 km/h	0,19%	0,23%	0,31%	0,03%	0,00%	<b>0,78%</b>
Ag, Autobahn, ohne Tempolimit	0,50%	0,94%	1,35%	0,09%	0,01%	<b>2,89%</b>
Ag, Stadtautobahn, 120 km/h	0,03%	0,02%	0,02%	0,00%	0,00%	<b>0,08%</b>
<b>Summe</b>	<b>6,71%</b>	<b>8,40%</b>	<b>8,43%</b>	<b>0,51%</b>	<b>0,03%</b>	<b>24,09%</b>

Eigene Berechnung auf Grundlage von Schmaus et al. 2023 (Tabelle aus Anhang A.3)

**Tabelle 10: Anteile der LNF-Fahrleistung auf von Maßnahmen betroffenen Außerorts-Straßenkategorien nach Verkehrszuständen**

Straßenkategorie (Gebietstyp, Straßentyp, zul. Höchstgeschwindigkeit)	flüssig	dicht	gesättigt	stop & go	stop & go II	Summe
La, Hauptverkehrsstraße, 100 km/h	3,78%	4,97%	2,15%	0,24%	0,06%	<b>11,19%</b>
La, kurvige Hauptverkehrsstraße, 100 km/h	0,66%	1,21%	1,70%	0,35%	0,05%	<b>3,96%</b>
La, Sammelstraße, 100 km/h	0,57%	0,28%	0,29%	0,07%	0,02%	<b>1,24%</b>
La, kurvige Sammelstraße, 100 km/h	0,23%	0,23%	0,25%	0,06%	0,02%	<b>0,79%</b>
La, Erschließungsstraße, 100 km/h	0,12%	0,12%	0,13%	0,03%	0,01%	<b>0,42%</b>
Ag, Fern- und Bundesstraße, 100 km/h	0,10%	0,20%	0,21%	0,03%	0,00%	<b>0,54%</b>
<b>Summe</b>	<b>5,47%</b>	<b>7,01%</b>	<b>4,73%</b>	<b>0,79%</b>	<b>0,15%</b>	<b>18,14%</b>

Eigene Berechnung auf Grundlage von Schmaus et al. 2023 (Tabelle aus Anhang A.3)

**Tabelle 11: Anteile der SNF-Fahrleistung auf von Maßnahmen betroffenen Autobahn-Straßenkategorien nach Verkehrszuständen**

<b>Straßenkategorie (Gebietstyp, Straßentyp, zul. Höchstgeschwindigkeit)</b>	<b>flüssig</b>	<b>dicht</b>	<b>gesättigt</b>	<b>stop &amp; go</b>	<b>stop &amp; go II</b>	<b>Summe</b>
La, Autobahn, 120 km/h	2,34%	1,74%	1,50%	0,08%	0,01%	<b>5,67%</b>
La, Autobahn, 130 km/h	1,48%	1,85%	2,23%	0,10%	0,01%	<b>5,66%</b>
La, Autobahn, ohne Tempolimit	9,45%	12,10%	12,91%	0,51%	0,03%	<b>35,00%</b>
La, autobahnähnlicher Ausbau, 120 km/h	0,32%	0,27%	0,16%	0,01%	0,00%	<b>0,75%</b>
La, autobahnähnlicher Ausbau, 130 km/h	0,01%	0,02%	0,02%	0,00%	0,00%	<b>0,06%</b>
La, autobahnähnlicher Ausbau, ohne Tempolimit	0,10%	0,14%	0,14%	0,01%	0,00%	<b>0,39%</b>
Ag, Autobahn, 120 km/h	0,54%	0,45%	0,29%	0,03%	0,00%	<b>1,32%</b>
Ag, Autobahn, 130 km/h	0,25%	0,25%	0,36%	0,03%	0,00%	<b>0,89%</b>
Ag, Autobahn, ohne Tempolimit	0,72%	1,20%	1,65%	0,09%	0,00%	<b>3,66%</b>
Ag, Stadtautobahn, 120 km/h	0,08%	0,06%	0,04%	0,00%	0,00%	<b>0,19%</b>
<b>Summe</b>	<b>15,29%</b>	<b>18,09%</b>	<b>19,31%</b>	<b>0,84%</b>	<b>0,05%</b>	<b>53,58%</b>

Eigene Berechnung auf Grundlage von Schmaus et al. 2023 (Tabelle aus Anhang A.3)

**Tabelle 12: Anteile der SNF-Fahrleistung auf von Maßnahmen betroffenen Außerorts-Straßenkategorien nach Verkehrszuständen**

<b>Straßenkategorie (Gebietstyp, Straßentyp, zul. Höchstgeschwindigkeit)</b>	<b>flüssig</b>	<b>dicht</b>	<b>gesättigt</b>	<b>stop &amp; go</b>	<b>stop &amp; go II</b>	<b>Summe</b>
La, Hauptverkehrsstraße, 100 km/h	5,20%	5,29%	1,21%	0,08%	0,02%	<b>11,80%</b>
La, kurvige Hauptverkehrsstraße, 100 km/h	0,56%	0,82%	0,67%	0,06%	0,01%	<b>2,12%</b>
La, Sammelstraße, 100 km/h	0,45%	0,27%	0,19%	0,04%	0,01%	<b>0,96%</b>
La, kurvige Sammelstraße, 100 km/h	0,22%	0,21%	0,14%	0,02%	0,01%	<b>0,60%</b>
La, Erschließungsstraße, 100 km/h	0,12%	0,11%	0,07%	0,01%	0,00%	<b>0,31%</b>
Ag, Fern- und Bundesstraße, 100 km/h	0,24%	0,37%	0,20%	0,02%	0,00%	<b>0,82%</b>
<b>Summe</b>	<b>6,78%</b>	<b>7,07%</b>	<b>2,48%</b>	<b>0,23%</b>	<b>0,05%</b>	<b>16,61%</b>

Eigene Berechnung auf Grundlage von Schmaus et al. 2023 (Tabelle aus Anhang A.3)

**Tabelle 13: Anteile der RBus-Fahrleistung auf von Maßnahmen betroffenen Autobahn-Straßenkategorien nach Verkehrszuständen**

<b>Straßenkategorie (Gebietstyp, Straßentyp, zul. Höchstgeschwindigkeit)</b>	<b>flüssig</b>	<b>dicht</b>	<b>gesättigt</b>	<b>stop &amp; go</b>	<b>stop &amp; go II</b>	<b>Summe</b>
La, Autobahn, 120 km/h	1,69%	1,38%	0,99%	0,07%	0,01%	<b>4,14%</b>
La, Autobahn, 130 km/h	0,86%	1,16%	1,27%	0,07%	0,00%	<b>3,36%</b>
La, Autobahn, ohne Tempolimit	5,21%	6,84%	6,58%	0,30%	0,02%	<b>18,96%</b>
La, autobahnähnlicher Ausbau, 120 km/h	0,26%	0,24%	0,13%	0,01%	0,00%	<b>0,63%</b>
La, autobahnähnlicher Ausbau, 130 km/h	0,01%	0,02%	0,02%	0,00%	0,00%	<b>0,06%</b>
La, autobahnähnlicher Ausbau, ohne Tempolimit	0,04%	0,07%	0,08%	0,00%	0,00%	<b>0,21%</b>
Ag, Autobahn, 120 km/h	0,70%	0,56%	0,36%	0,04%	0,00%	<b>1,66%</b>
Ag, Autobahn, 130 km/h	0,28%	0,33%	0,42%	0,04%	0,00%	<b>1,07%</b>
Ag, Autobahn, ohne Tempolimit	0,73%	1,33%	1,83%	0,11%	0,01%	<b>4,02%</b>
Ag, Stadtautobahn, 120 km/h	0,02%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%	<b>0,05%</b>
<b>Summe</b>	<b>9,82%</b>	<b>11,96%</b>	<b>11,70%</b>	<b>0,64%</b>	<b>0,04%</b>	<b>34,16%</b>

Eigene Berechnung auf Grundlage von Schmaus et al. 2023 (Tabelle aus Anhang A.3)

**Tabelle 14: Anteile der RBus-Fahrleistung auf von Maßnahmen betroffenen Außerorts-Straßenkategorien nach Verkehrszuständen**

<b>Straßenkategorie (Gebietstyp, Straßentyp, zul. Höchstgeschwindigkeit)</b>	<b>flüssig</b>	<b>dicht</b>	<b>gesättigt</b>	<b>stop &amp; go</b>	<b>stop &amp; go II</b>	<b>Summe</b>
La, Hauptverkehrsstraße, 100 km/h	4,58%	5,86%	2,34%	0,24%	0,05%	<b>13,08%</b>
La, kurvige Hauptverkehrsstraße, 100 km/h	0,73%	1,26%	1,70%	0,36%	0,05%	<b>4,09%</b>
La, Sammelstraße, 100 km/h	0,16%	0,08%	0,09%	0,02%	0,01%	<b>0,37%</b>
La, kurvige Sammelstraße, 100 km/h	0,07%	0,07%	0,07%	0,02%	0,00%	<b>0,23%</b>
La, Erschließungsstraße, 100 km/h	0,03%	0,03%	0,03%	0,01%	0,00%	<b>0,11%</b>
Ag, Fern- und Bundesstraße, 100 km/h	0,07%	0,14%	0,14%	0,02%	0,00%	<b>0,38%</b>
<b>Summe</b>	<b>5,65%</b>	<b>7,44%</b>	<b>4,38%</b>	<b>0,67%</b>	<b>0,12%</b>	<b>18,26%</b>

Eigene Berechnung auf Grundlage von Schmaus et al. 2023 (Tabelle aus Anhang A.3)

**Tabelle 15: Anteile der LBus-Fahrleistung auf von Maßnahmen betroffenen Autobahn-Straßenkategorien nach Verkehrszuständen**

<b>Straßenkategorie (Gebietstyp, Straßentyp, zul. Höchstgeschwindigkeit)</b>	<b>flüssig</b>	<b>dicht</b>	<b>gesättigt</b>	<b>stop &amp; go</b>	<b>stop &amp; go II</b>	<b>Summe</b>
La, Autobahn, 120 km/h	0,35%	0,32%	0,34%	0,03%	0,00%	<b>1,04%</b>
La, Autobahn, 130 km/h	0,18%	0,26%	0,34%	0,02%	0,00%	<b>0,80%</b>
La, Autobahn, ohne Tempolimit	1,07%	1,45%	1,46%	0,08%	0,00%	<b>4,06%</b>
La, autobahnähnlicher Ausbau, 120 km/h	0,07%	0,08%	0,07%	0,01%	0,00%	<b>0,23%</b>
La, autobahnähnlicher Ausbau, 130 km/h	0,00%	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	<b>0,03%</b>
La, autobahnähnlicher Ausbau, ohne Tempolimit	0,01%	0,02%	0,05%	0,00%	0,00%	<b>0,09%</b>
Ag, Autobahn, 120 km/h	0,16%	0,17%	0,15%	0,01%	0,00%	<b>0,49%</b>
Ag, Autobahn, 130 km/h	0,06%	0,09%	0,13%	0,01%	0,00%	<b>0,30%</b>
Ag, Autobahn, ohne Tempolimit	0,15%	0,30%	0,49%	0,04%	0,00%	<b>0,99%</b>
Ag, Stadtautobahn, 120 km/h	0,01%	0,02%	0,02%	0,00%	0,00%	<b>0,05%</b>
<b>Summe</b>	<b>2,07%</b>	<b>2,72%</b>	<b>3,06%</b>	<b>0,20%</b>	<b>0,02%</b>	<b>8,07%</b>

Eigene Berechnung auf Grundlage von Schmaus et al. 2023 (Tabelle aus Anhang A.3)

**Tabelle 16: Anteile der LBus-Fahrleistung auf von Maßnahmen betroffenen Außerorts-Straßenkategorien nach Verkehrszuständen**

<b>Straßenkategorie (Gebietstyp, Straßentyp, zul. Höchstgeschwindigkeit)</b>	<b>flüssig</b>	<b>dicht</b>	<b>gesättigt</b>	<b>stop &amp; go</b>	<b>stop &amp; go II</b>	<b>Summe</b>
La, Hauptverkehrsstraße, 100 km/h	3,94%	5,35%	2,77%	0,37%	0,08%	<b>12,51%</b>
La, kurvige Hauptverkehrsstraße, 100 km/h	0,86%	1,66%	2,79%	0,58%	0,09%	<b>5,97%</b>
La, Sammelstraße, 100 km/h	0,20%	0,10%	0,11%	0,03%	0,01%	<b>0,45%</b>
La, kurvige Sammelstraße, 100 km/h	0,08%	0,08%	0,09%	0,02%	0,01%	<b>0,28%</b>
La, Erschließungsstraße, 100 km/h	0,04%	0,04%	0,04%	0,01%	0,00%	<b>0,12%</b>
Ag, Fern- und Bundesstraße, 100 km/h	0,05%	0,11%	0,11%	0,02%	0,00%	<b>0,30%</b>
<b>Summe</b>	<b>5,17%</b>	<b>7,33%</b>	<b>5,91%</b>	<b>1,03%</b>	<b>0,19%</b>	<b>19,63%</b>

Eigene Berechnung auf Grundlage von Schmaus et al. 2023 (Tabelle aus Anhang A.3)

**Tabelle 17: Anteile der KR/MR-Fahrleistung auf von Maßnahmen betroffenen Autobahn-Straßenkategorien nach Verkehrszuständen**

<b>Straßenkategorie (Gebietstyp, Straßentyp, zul. Höchstgeschwindigkeit)</b>	<b>flüssig</b>	<b>dicht</b>	<b>gesättigt</b>	<b>stop &amp; go</b>	<b>stop &amp; go II</b>	<b>Summe</b>
La, Autobahn, 120 km/h	0,40%	0,33%	0,26%	0,02%	0,00%	<b>1,01%</b>
La, Autobahn, 130 km/h	0,21%	0,28%	0,31%	0,02%	0,00%	<b>0,81%</b>
La, Autobahn, ohne Tempolimit	1,26%	1,65%	1,53%	0,07%	0,00%	<b>4,51%</b>
La, autobahnähnlicher Ausbau, 120 km/h	0,12%	0,11%	0,06%	0,00%	0,00%	<b>0,29%</b>
La, autobahnähnlicher Ausbau, 130 km/h	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	<b>0,03%</b>
La, autobahnähnlicher Ausbau, ohne Tempolimit	0,02%	0,04%	0,04%	0,00%	0,00%	<b>0,10%</b>
Ag, Autobahn, 120 km/h	0,17%	0,17%	0,15%	0,01%	0,00%	<b>0,50%</b>
Ag, Autobahn, 130 km/h	0,07%	0,09%	0,14%	0,01%	0,00%	<b>0,32%</b>
Ag, Autobahn, ohne Tempolimit	0,18%	0,33%	0,51%	0,03%	0,00%	<b>1,05%</b>
Ag, Stadtautobahn, 120 km/h	0,02%	0,02%	0,02%	0,00%	0,00%	<b>0,06%</b>
<b>Summe</b>	<b>2,45%</b>	<b>3,03%</b>	<b>3,02%</b>	<b>0,18%</b>	<b>0,01%</b>	<b>8,69%</b>

Eigene Berechnung auf Grundlage von Schmaus et al. 2023 (Tabelle aus Anhang A.3)

**Tabelle 18: Anteile der KR/MR-Fahrleistung auf von Maßnahmen betroffenen Außerorts-Straßenkategorien nach Verkehrszuständen**

<b>Straßenkategorie (Gebietstyp, Straßentyp, zul. Höchstgeschwindigkeit)</b>	<b>flüssig</b>	<b>dicht</b>	<b>gesättigt</b>	<b>stop &amp; go</b>	<b>stop &amp; go II</b>	<b>Summe</b>
La, Hauptverkehrsstraße, 100 km/h	4,94%	6,09%	2,56%	0,27%	0,07%	<b>13,92%</b>
La, kurvige Hauptverkehrsstraße, 100 km/h	0,86%	1,55%	2,09%	0,42%	0,05%	<b>4,97%</b>
La, Sammelstraße, 100 km/h	0,56%	0,26%	0,25%	0,06%	0,02%	<b>1,15%</b>
La, kurvige Sammelstraße, 100 km/h	0,23%	0,22%	0,24%	0,06%	0,02%	<b>0,76%</b>
La, Erschließungsstraße, 100 km/h	0,12%	0,12%	0,13%	0,03%	0,01%	<b>0,41%</b>
Ag, Fern- und Bundesstraße, 100 km/h	0,06%	0,12%	0,13%	0,02%	0,00%	<b>0,34%</b>
<b>Summe</b>	<b>6,77%</b>	<b>8,35%</b>	<b>5,41%</b>	<b>0,86%</b>	<b>0,16%</b>	<b>21,56%</b>

Eigene Berechnung auf Grundlage von Schmaus et al. 2023 (Tabelle aus Anhang A.3)

## A.2 Ergebnisse der Tempolimit-Szenarien

Tabelle 19: Wirkung der Szenarien auf die Fahrleistung (in %)

Szenario	Pkw			SNF			LNF			Gesamter Straßenverkehr		
	Geschwindigkeits- effekte	+ Routenwahl- effekte	+ Nachfrage- effekte									
T130/100	0,0	-0,5	-0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,2	0,0	-0,4	-0,6
T130/080	0,0	-0,4	-1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,2	0,0	-0,3	-1,0
T120/100	0,0	-1,0	-1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,4	-0,4	0,0	-0,8	-1,3
T120/080	0,0	-0,9	-2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,5	-0,4	0,0	-0,8	-1,7
T100/080	0,0	-2,4	-4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,9	-0,9	0,0	-2,0	-3,6

Tabelle 20: Wirkung der Szenarien auf die THG-Emissionen (in %)

Szenario	Pkw			SNF			LNF			Gesamter Straßenverkehr		
	Geschwindigkeits- effekte	+ Routenwahl- effekte	+ Nachfrage- effekte									
T130/100	-2,2	-2,8	-3,0	-0,2	-0,2	-0,2	-2,4	-2,8	-2,7	-1,6	-2,0	-2,2
T130/080	-2,6	-2,9	-3,7	-0,4	-0,4	-0,4	-3,3	-3,5	-3,5	-2,0	-2,2	-2,7
T120/100	-4,0	-5,0	-5,5	-0,2	-0,2	-0,2	-4,7	-5,3	-5,3	-3,0	-3,6	-3,9
T120/080	-4,6	-5,5	-6,5	-0,4	-0,4	-0,4	-5,6	-6,2	-6,1	-3,5	-4,0	-4,7
T100/080	-7,6	-9,6	-11,3	-0,4	-0,4	-0,4	-10,0	-10,8	-10,8	-5,7	-7,0	-8,1

**Tabelle 21: Wirkung der Szenarien auf die NO<sub>x</sub>-Emissionen (in %)**

Szenario	Pkw			SNF			LNF			Gesamter Straßenverkehr		
	Geschwindigkeits- effekte	+ Routenwahl- effekte	+ Nachfrage- effekte									
T130/100	-6,7	-7,4	-7,6	0,0	0,0	0,0	-4,3	-4,9	-4,8	-4,5	-5,0	-5,1
T130/080	-8,7	-8,9	-9,7	0,6	0,6	0,6	-6,5	-6,6	-6,6	-5,8	-5,9	-6,4
T120/100	-11,5	-12,5	-13,0	0,0	0,0	0,0	-8,8	-9,6	-9,6	-7,9	-8,6	-8,9
T120/080	-13,5	-14,4	-15,4	0,6	0,6	0,6	-10,9	-11,5	-11,5	-9,2	-9,8	-10,4
T100/080	-20,1	-21,8	-23,3	0,7	0,7	0,7	-19,1	-20,0	-20,0	-14,1	-15,2	-16,1

**Tabelle 22: Wirkung der Szenarien auf die PM-Emissionen (in %)**

Szenario	Pkw			SNF			LNF			Gesamter Straßenverkehr		
	Geschwindigkeits- effekte	+ Routenwahl- effekte	+ Nachfrage- effekte									
T130/100	-6,1	-6,8	-7,0	0,1	0,1	0,1	-5,5	-5,9	-5,9	-3,2	-3,5	-3,6
T130/080	-7,2	-7,4	-8,2	0,8	0,8	0,8	-6,8	-6,9	-6,9	-3,7	-3,8	-4,1
T120/100	-10,7	-11,8	-12,3	0,1	0,1	0,1	-9,5	-10,0	-10,0	-5,6	-6,1	-6,3
T120/080	-11,9	-12,8	-13,8	0,8	0,8	0,8	-10,8	-11,2	-11,2	-6,2	-6,6	-7,0
T100/080	-20,0	-21,6	-23,1	0,9	0,9	0,9	-15,3	-16,0	-16,0	-10,0	-10,8	-11,4