

UNTERSUCHUNG DER DEKARBONISIERUNG DURCH GESCHWINDIGKEITS-HARMONISIERUNG AM A+S-NETZ

A+S-Decarb - Ermittlung des Potenzials für eine nachhaltige Reduktion der fahrzeugbezogenen Kohlendioxidemissionen auf dem Autobahn- und Schnellstraßennetz der ASFINAG

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Im Hinblick auf die Dekarbonisierung im höherrangigen Straßenverkehr wurden Realwelt-Untersuchungen an acht unterschiedlichen Pkw und Lkw durchgeführt, um den Einfluss einer harmonisierten Geschwindigkeit zu ermitteln. Im Rahmen der Analysen wurden die Fahrzeuge auf zuvor festgelegten, unterschiedlichen Autobahnabschnitten unter genau definierten Fahrzuständen betrieben und mittels modernster Abgasmesstechnik die dabei anfallenden CO₂-Emissionen erfasst.

Weiters wurden, basierend auf 600.000 Datensätzen eine neue Methodik zur Untersuchung des Steigungseinflusses auf den Kraftstoffverbrauch und damit die CO₂-Emissionen angewandt. Die Analysen zeigten, dass bei Pkw praktisch kein signifikanter Einfluss von üblichen Steigungs- und Gefällestrrecken, relativ zu der Fahrt in der Ebene, existiert. Bei Schwerfahrzeugen ist jedoch ein solcher gegeben.

Maßnahmen zur Emissionsreduktion, die Einfluss auf die Fahrgeschwindigkeiten haben, stehen vor allem bei Geschwindigkeitsreduzierungen im direkten Zusammenhang mit Zeitkosten. Wesentlich ist, dass bei bisher durchgeführten Projekten die Harmonisierung des Verkehrsflusses zu überwiegend positiven Ergebnissen führte. Das höchste Potenzial zur Emissionseinsparung auf dem Autobahnen und Schnellstraßennetz liegt bei der Reduktion des Schwerverkehrsanteils.

Facts:

- Laufzeit: 04/2018-11/2019
- Forschungskonsortium:
 - TU Wien** - Institut für Fahrzeugantriebe und Automobiltechnik
E. Pucher, A. Gruber, C. Spitzwieser
 - TU Wien** - Fachbereich für Verkehrssystemplanung, Department für Raumplanung
G. Hauger, S. Krauze, A. Angelini
 - nast consulting ZT GmbH**
D. Elias, R. Vanek
- Realwelt Messungen von acht Pkw und Lkw auf Autobahnen
- Analyse von 600.000 Messdaten
- Modellrechnungen für das Autobahnnetz

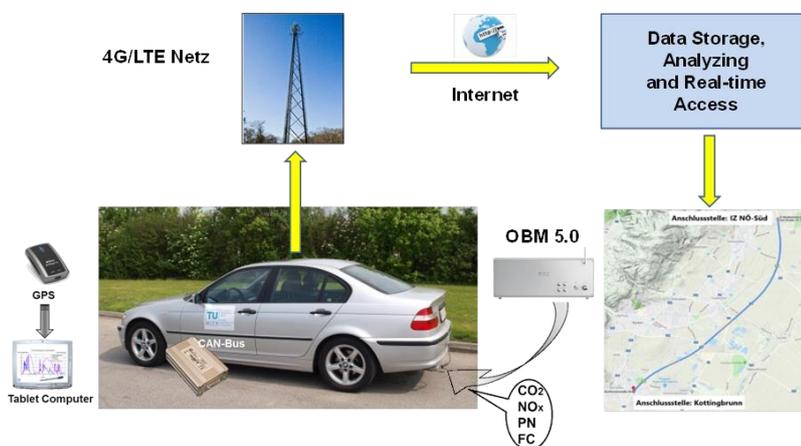


ABB 1. Experimentalmethodik der Realwelt CO₂-Messungen

Kurzzusammenfassung

Problem

Kann eine Geschwindigkeitsharmonisierung im österreichischen Autobahnnetz zu einer Dekarbonisierung des Straßenverkehrs beitragen?

Gewählte Methodik

Realwelt CO₂-Messungen von acht unterschiedlichen Pkw und Lkw auf typischen Autobahnen. Detaillierte Analyse von 600.000 Messdaten zur Verifizierung der Geschwindigkeits- und Streckeneinflüsse. Modellrechnungen für das Autobahnnetz. Einordnung relativ zu vorangegangenen Studien.

Ergebnisse

Die Analysen zeigten, dass bei Pkw praktisch kein signifikanter Einfluss von üblichen Steigungs- und Gefällestrrecken, relativ zu der Fahrt in der Ebene, existiert. Bei Schwerfahrzeugen jedoch ist ein solcher gegeben. Maßnahmen zur Emissionsreduktion, die Einfluss auf die Fahrgeschwindigkeiten haben, stehen vor allem bei Geschwindigkeitsreduzierungen im direkten Zusammenhang mit Zeitkosten.

Schlussfolgerungen

Es kann keine pauschale Aussage getroffen werden kann, dass tiefer angesetzte Tempolimits automatisch zu einer geringeren Schadstoffbelastung führen. Wesentlich ist, dass bei bisher durchgeführten Projekten die Harmonisierung des Verkehrsflusses zu überwiegend positiven Ergebnissen führt. Das höchste Potenzial zur Emissionseinsparung liegt in der Reduktion des Schwerverkehranteils.

English Abstract

Regarding decarbonisation in higher-ranking road transport, real-world studies were carried out on eight different cars and trucks to determine the impact of harmonized speed. As part of the analysis, the vehicles were operated on previously defined, different motorway sections under precisely defined driving conditions, and the resulting CO₂ emissions were recorded using state-of-the-art exhaust gas measuring technology.

Furthermore, based on 600,000 data sets, a new methodology was used to study the slope effect on fuel consumption and thus CO₂ emissions. The analysis showed that there is virtually no significant impact of conventional uphill and downhill gradients on passenger cars relative to in-plane travel. In heavy vehicles, however, such is given.

Measures for reducing emissions, which have an impact on the driving speeds, are directly related to time costs, above all in the case of speed reductions. It is essential that the harmonization of the traffic flow in previously implemented projects led to predominantly positive results. The highest potential for emission reduction on the motorways and expressway network lies in the reduction of the heavy traffic share.

Impressum:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

DI Dr. Johann Horvatits
Abt. IV/ST 2 Technik und Verkehrssicherheit
johann.horvatits@bmvit.gv.at

DI (FH) Andreas Blust
Abt. III/14 Mobilitäts- und Verkehrstechnologien
andreas.blust@bmvit.gv.at
www.bmvit.gv.at

ÖBB-Infrastruktur AG

Ing. Wolfgang Zottl, SAE
Streckenmanagement und Anlagenentwicklung
Stab LCM und Innovationen
wolfgang.zottl@oebb.at
www.oebb.at

ASFINAG

DI Eva Hackl
Manager International Relations und Innovation
eva.hackl@asfinag.at

DI (FH) René Moser
Leiter Strategie, Internationales und Innovation
rene.moser@asfinag.at
www.asfinag.at

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH

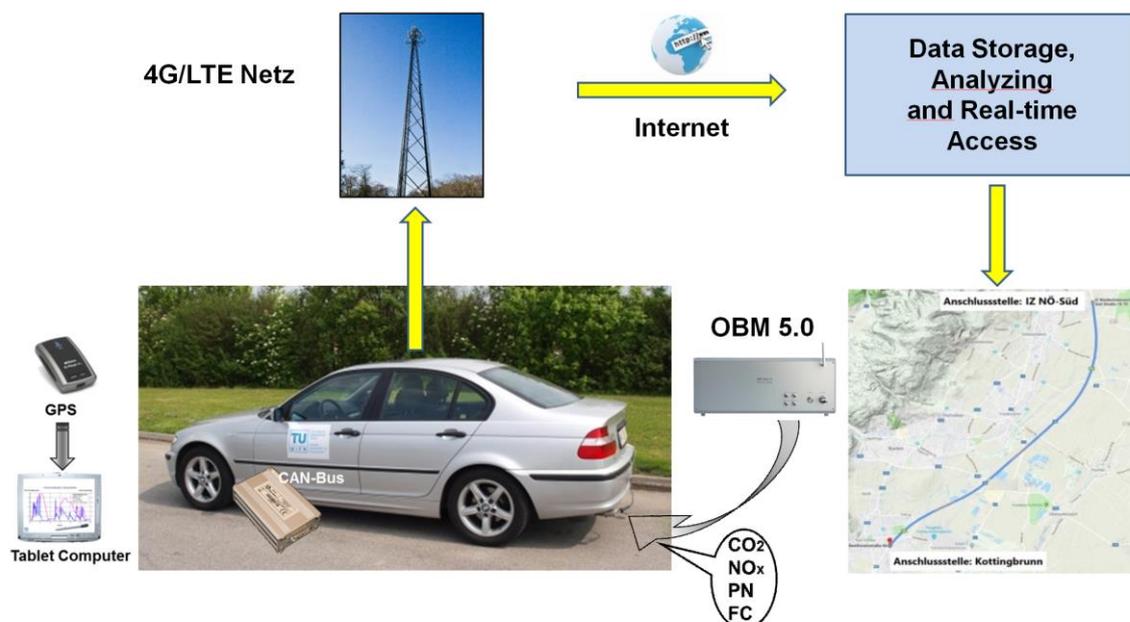
DI Dr. Christian Pecharda
Programtleitung Mobilität
Sensengasse 1, 1090 Wien
christian.pecharda@ffg.at
www.ffg.at

November, 2019

Untersuchung der Dekarbonisierung durch Geschwindigkeitsharmonisierung am A+S-Netz A+S-Decarb

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung 2017
(VIF2017)

November 2019



Impressum:

Herausgeber und Programmverantwortung:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Abteilung Mobilitäts- und Verkehrstechnologien
Radetzkystraße 2
A – 1030 Wien



ÖBB-Infrastruktur AG
Nordbahnstraße 50
A – 1020 Wien



Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-
Aktiengesellschaft
Rotenturmstraße 5-9
A – 1010 Wien



Für den Inhalt verantwortlich:

Technische Universität Wien
Institut für Fahrzeugantriebe und Automobiltechnik
FB Verkehrssystemplanung
nast consulting ZT GmbH
c/o Getreidemarkt 9/315
A – 1060 Wien



nast consulting

Programmmanagement:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH
Thematische Programme
Sensengasse 1
A – 1090 Wien



Untersuchung der Dekarbonisierung durch Geschwindigkeitsharmonisie- rung am A+S-Netz A+S-Decarb

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung (VIF2017)

AutorInnen:

DI Daniel ELIAS

DI Andreas GRUBER

Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Georg HAUGER

Mag. Sara KRAUZE

Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ernst PUCHER

Christian SPITZWIESER, B.Sc.

DI Richard VANEK

Auftraggeber:

BMVIT - Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

ASFINAG - Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

Auftragnehmer:

Technische Universität Wien, Institut für Fahrzeugantriebe und Automobiltechnik

nast consulting TZ GmbH

Technische Universität Wien, FB Verkehrssystemplanung

INHALTSVERZEICHNIS

Kurzfassung	7
1. Einleitung	8
2. Auswahl der Versuchsfahrzeuge und Messstrecken	9
2.1. Auswahl der Versuchsfahrzeuge	9
2.1.1. Bestandsstatistik im Untersuchungszeitraum	9
2.1.2. PKW-Bestand in Österreich im Detail	10
2.1.3. LKW-Bestand in Österreich	11
2.1.4. Einteilung in Fahrzeugklassen	12
2.2. Streckenauswahl	14
2.2.1. Streckenabschnitt Ebene	14
2.2.2. Streckenabschnitt Steigung und Gefälle	16
3. Zeitlich und örtlich aufgelöste Real-Welt Messungen von Kraftstoffverbrauch und CO ₂ -Emissionen mit modernstem Car-to-Infrastructure Kommunikation- fähigem On-board Messsystem	18
3.1. Methode und wissenschaftlicher Lösungsansatz	18
3.2. Vorbereitung der Real-Welt Messungen	21
3.2.1. Vorabtestfahrt auf den Teststrecken	21
3.2.2. Checkliste für Messungen	21
3.3. Geschwindigkeitsprofile	22
3.4. Ergebnisse der Real-Welt Messfahrten	22
3.4.1. Einzelberichterstellung der Abgasmessungen	22
3.4.2. Streckenbezogene Emissionsfaktoren der untersuchten Fahrzeugklassen	24
4. Modellunterstützte Abschätzung des Streckenbezogenen CO ₂ Ausstoßes der Fahrzeuge bei unterschiedlichen Geschwindigkeitsprofilen am Autobahn- und Schnellstraßennetz	28
4.1. Aufgabenstellung	28
4.2. Datengrundlagen	29
4.2.1. Beschreibung der Datengrundlagen	29
4.2.2. Verknüpfung der Datengrundlagen	31
4.2.3. Studien zu CO ₂ -Emissionen auf dem Autobahnnetz	37

4.3.	Simulation.....	39
4.3.1.	Basisdaten für Simulation	39
4.3.2.	Eingangsgrößen	40
4.3.3.	Berechnung des CO ₂ -Ausstoßes.....	41
4.3.4.	Szenarien	44
4.3.4.1.	Bestandsituation.....	44
4.3.4.2.	Szenario höchstzulässige Geschwindigkeit 110 km/h / 80 km/h	44
4.3.4.3.	Szenario höchstzulässige Geschwindigkeit 100 km/h / 70 km/h	44
4.3.5.	Untersuchungsstrecken.....	45
4.3.5.1.	Wechselnde Geschwindigkeitsbeschränkungen.....	45
4.3.5.1.1.	A02 Süd Autobahn km 292-203	45
4.3.5.1.2.	A08 Innkreis Autobahn km 0-11	46
4.3.5.1.3.	A09 Pyhrn Autobahn km 0-11	47
4.3.5.2.	Aufhebung einer Geschwindigkeitsbegrenzung vor großer Längsneigung	49
4.3.5.2.1.	A01 West Autobahn/A21 Wiener Außenring Autobahn Kn Steinhäusl.....	49
4.3.5.2.2.	A10 Tauern Autobahn km 38-54.....	50
4.4.	Ergebnisse der Simulation	52
4.4.1.	Untersuchungsfall wechselnde Geschwindigkeitsbeschränkungen	52
4.4.1.1.	Szenario 110 km/h / 80 km/h zu Bestand	52
4.4.1.2.	Szenario 100 km/h / 70 km/h zu Bestand	55
4.4.1.3.	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	57
4.4.2.	Untersuchungsfall Aufhebung einer Geschwindigkeitsbegrenzung vor großer Längsneigung	58
4.4.2.1.	Szenario 110 km/h / 80 km/h zu Bestand	58
4.4.2.2.	Szenario 100 km/h / 70 km/h zu Bestand	59
4.4.2.3.	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	61
4.5.	Umlegung auf Teilabschnitte des österreichischen Autobahnnetzes.....	62
4.6.	Conclusio und Zusammenfassung.....	64
4.7.	Weiterer Forschungsbedarf.....	66
5.	Bewertung der Szenarien und Gesamtbetrachtung von Dekarbonisierungsmassnahmen am A+S-Netz	69
5.1.	Ziele, Inhalte und methodische Herangehensweise	69

5.2.	Bewertung geschwindigkeitsbezogener Untersuchungsszenarien.....	71
5.2.1.	Schadstoffausstoß.....	71
5.2.2.	Reisezeit	74
5.2.3.	Betriebskosten.....	79
5.2.4.	Unfallkosten	87
5.2.5.	Monetäre Bewertung der Faktoren	87
5.3.	Gesamtbetrachtung von unterschiedlichen Dekarbonisierungsmaßnahmen	91
5.3.1.	Vorstellung und Zusammenfassung der Ergebnisse relevanter nationaler und internationaler Projekte.....	91
5.3.1.1	Projekte der Kategorie Geschwindigkeit.....	92
5.3.1.2	Projekte der Kategorie Infrastruktur	95
5.3.1.3	Projekte der Kategorie Daten/Information/Software	97
5.4.	Bewertungsmatrix.....	100
6.	Quellenverzeichnis	103

KURZFASSUNG

Im Hinblick auf die Dekarbonisierung im höherrangigen Straßenverkehr wurden im Zuge des Projektvorhabens Realwelt-Untersuchungen an acht unterschiedlichen Kraftfahrzeugen, Pkw und Lkw durchgeführt, um den Einfluss einer harmonisierten Geschwindigkeit zu ermitteln. Im Rahmen der Analysen werden die Fahrzeuge auf zuvor festgelegten, unterschiedlichen Autobahnabschnitten unter genau definierten Fahrzuständen betrieben. Mittels modernster Abgasmesstechnik wurden die dabei anfallenden CO₂-Emissionen erfasst und unter Zuhilfenahme von GPS-Daten, sowie Daten aus dem fahrzeugspezifischen Motorsteuerungssystem in Echtzeit auf strecken- oder zeitbezogene Größen umgerechnet. Die so generierten Daten dienen in weiterer Folge für die kalkulatorische Abschätzung der real zu erwartenden Änderung des CO₂-Ausstoßes. Weiters wurden, basierend auf 600.000 Datensätzen der hoch zeitaufgelöster Realwelt Abgasmessungen, eine neue Methodik zur Untersuchung des Steigungseinflusses auf den Kraftstoffverbrauch und damit die CO₂-Emissionen angewandt. Die Analysen zeigten, dass bei Pkw praktisch kein signifikanter Einfluss von üblichen Steigungs- und Gefällestrrecken, relativ zu der Fahrt in der Ebene, existiert. Bei Schwerfahrzeugen jedoch ein solcher gegeben ist.

Maßnahmen zur Emissionsreduktion, die Einfluss auf die Fahrgeschwindigkeiten haben, stehen vor allem bei Geschwindigkeitsreduzierungen im direkten Zusammenhang mit Zeitkosten. Hinzu kommt, dass keine pauschale Aussage getroffen werden kann, dass tiefer angesetzte Tempolimits automatisch zu einer geringeren Schadstoffbelastung führen. Wesentlich ist, dass bei bisher durchgeführten Projekten die Harmonisierung des Verkehrsflusses zu überwiegend positiven Ergebnissen führt. Das höchste Potenzial zur Emissionseinsparung auf dem Autobahnen und Schnellstraßennetz liegt bei der Reduktion des Schwerverkehrsanteils.

Die Evaluierung von Maßnahmen im Bereich der Infrastruktur, basierend auf vorangegangenen Projekten zeigt einen Zusammenhang mit hohen Investitions- und Instandhaltungskosten. Beispielsweise haben eine Reduktion des Rollwiderstandes oder der Einsatz des innovativen Straßenbelages nur einen geringen Einfluss auf die CO₂-Emissionen. Außerdem wurde deutlich, dass im Bereich der Infrastrukturentwicklung das Potenzial vor allem in deren Herstellungsverfahren liegt. Eine weitere Methode, die zur Harmonisierung und Verbesserung des Verkehrsflusses beiträgt, scheint die Entwicklung von entsprechenden Softwareprodukten wie Spurwechselassistenten oder intelligenten Systemen zur Routenwahl bzw. individuell angepassten Fahrgeschwindigkeiten zu sein.

1. EINLEITUNG

Die zunehmende Forderung der Gesellschaft zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes in allen Bereichen, wirtschaftlich, wie auch privat, wird auch auf den Straßenverkehr übertragen. Hier ist es offensichtlich, dass man mit innovativen Lösungsansätzen ganz beträchtliche Einsparungspotentiale freilegen kann. Die Dekarbonisierung auf dem höherrangigen Straßennetze kann hierzu einen erheblichen Beitrag leisten. Der Ausstoß von Kohlendioxid auf Österreichs Autobahnen- und Schnellstraßennetz ist, bedingt durch die stark variierenden Tempolimits und den dadurch zwangsläufig erforderlichen Beschleunigungs- und Bremsvorgängen der Fahrzeuge, erhöht.

Im Bereich der Personenkraftwagen generiert die dynamische Fahrweise mit den Beschleunigungsvorgängen, welche nach dem Aufheben der lokalen Geschwindigkeitsbegrenzungen von den FahrzeuglenkerInnen durchgeführt werden, einen deutlichen Mehrausstoß an CO₂-Emissionen, als dies bei annähernd konstanter, harmonisierter Geschwindigkeit wäre.

Die Lastentransporte des Schwerverkehrssektors werden hauptsächlich durch die Topografie der Straßenführung beeinflusst. Die örtlichen Geschwindigkeitsbeschränkungen haben aufgrund der allgemein gültigen Höchstgeschwindigkeit für LKWs keinen Einfluss. Hier muss ein Großteil der Antriebsenergie für das Überwinden von Steigungen aufgewendet werden, und im Gegenzug bei den Gefällestrrecken wieder stark gebremst werden.

Im Hinblick auf die weitere Dekarbonisierung am höherrangigen Straßenverkehr werden im Zuge des Projektvorhabens Real-Untersuchungen an acht unterschiedlichen Kraftfahrzeugtypen durchgeführt, um den Einfluss einer harmonisierten Geschwindigkeit zu analysieren. Im Rahmen der Analysen werden die Fahrzeuge auf zuvor festgelegten, unterschiedlichen Routenabschnitten unter genau definierten Fahrzuständen betrieben. Mittels modernster Abgasmesstechnik werden die dabei anfallenden Emissionen analysiert, und unter Zuhilfenahme von GPS-Daten, sowie Daten aus dem fahrzeugspezifischem Motorsteuerungssystem in Echtzeit auf strecken- oder zeitbezogene Größen umgerechnet. Die so generierten Daten dienen in weiterer Folge für die kalkulatorische Abschätzung der real zu erwartenden Senkung des CO₂-Ausstoßes, welche sich aus der flexiblen Geschwindigkeitsanpassung für die jeweiligen Fahrzeugtypen ergeben.

2. AUSWAHL DER VERSUCHSFAHRZEUGE UND MESSSTRECKEN

2.1. Auswahl der Versuchsfahrzeuge

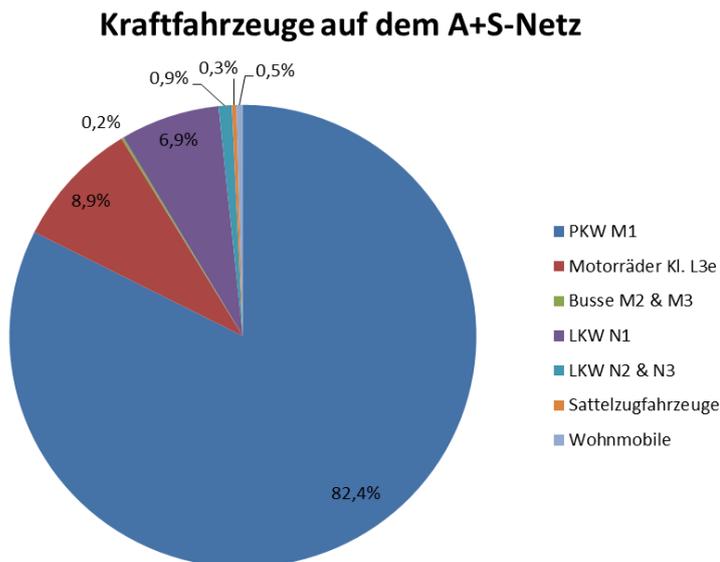
2.1.1. Bestandsstatistik im Untersuchungszeitraum

Für die Real-Welt Abgasuntersuchungen galt es acht verschiedene Fahrzeugtypen modernster Bauart auszuwählen. Auf Grund der zugrunde gelegten Daten der Statistik Österreich und der Erhebungen der Autofahrerklubs konnte eine Abschätzung für repräsentative Fahrzeuge getroffen werden. Diese Abschätzung soll eine Bewertung der am weitesten verbreiteten Antriebsarten, sowie einen Querschnitt der in Österreich zugelassenen Volumenmodelle der unterschiedlichen Hersteller darstellen.

Im Rahmen von Vorarbeiten wurden Fahrzeuge gemäß Bestandsstatistik analysiert. Die aktuellste, vollständige Statistik stammt aus dem Jahre 2016. Aus diesem Grund wurde als erster Schritt eine Hochrechnung der Fahrzeugbestände und Altersverteilungen auf das Bezugsjahr 2018 vorgenommen.

In Abbildung 1 sind die Anteile der jeweiligen Fahrzeugtypen im österreichischen Autobahn- und Schnellstraßennetz aufgelistet. PKW Klasse M1 und leichte Nutzfahrzeuge bis 3,5t der Klasse N1 machen fast 90% des Verkehrs aus.

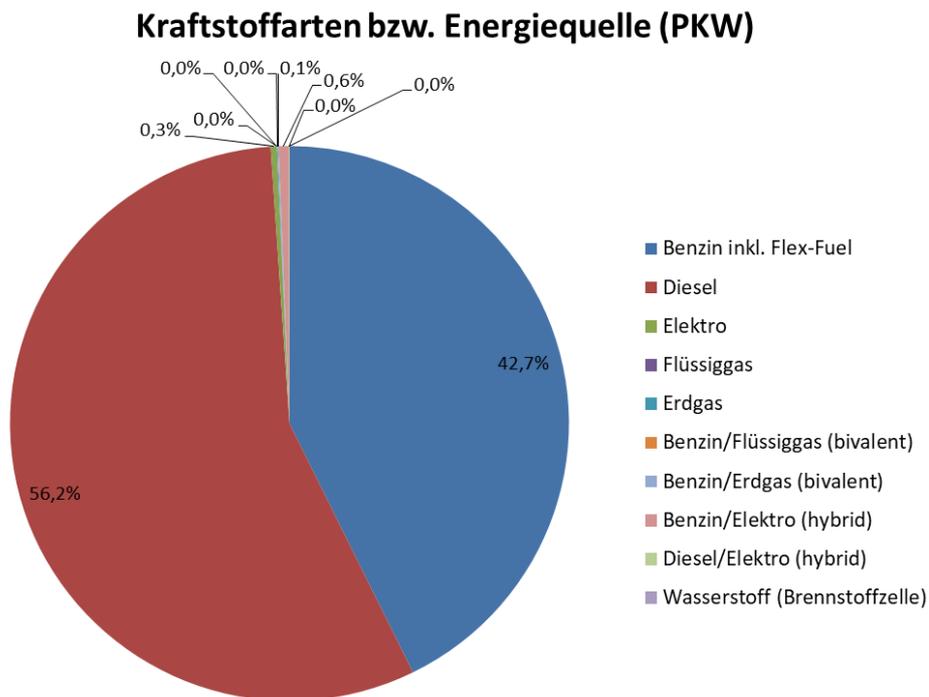
Abbildung 1: Kraftfahrzeuge auf dem A+S-Netz



2.1.2. PKW-Bestand in Österreich im Detail

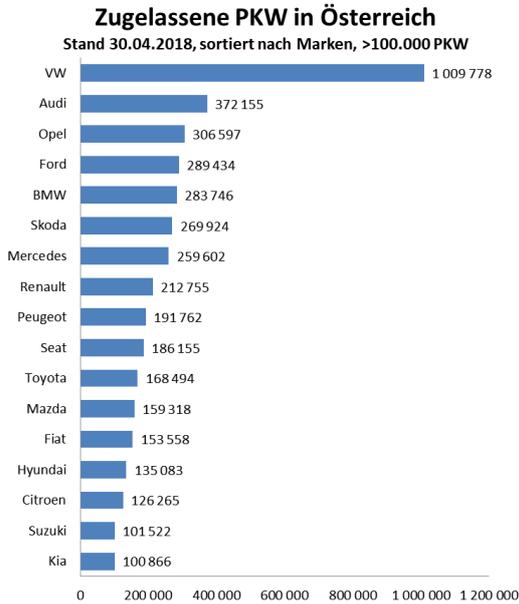
Neben der Auswertung hinsichtlich der einzelnen Fahrzeugtypen wurde auch die Zusammensetzung der PKW-Fahrzeugflotte bezüglich der verwendeten Kraftstoffarten beziehungsweise Energiequellen, gemacht. Dieseldieselfkraftstoff macht einen Anteil von 56% aus, Benzin von 43% und alle sonstigen zusammengerechnet 1%. Diese Werte sind in Abbildung 2 zu sehen.

Abbildung 2: Anteil der Kraftstoffen an der PKW-Flotte



Um einen Überblick zu erhalten, welche Fahrzeuge in Österreich zugelassen sind, wurde die Statistik des Fahrzeugbestands sortiert nach Marken herangezogen. Diese ist in Abbildung 3 ersichtlich. Daraus erkennt man, dass im Schnitt jedes fünfte Fahrzeug ein Volkswagen ist. Die nachfolgenden Hersteller haben bereits nur noch einen Anteil von jeweils unter 8 %. Audi und Opel folgen VW auf den Plätzen 2 und 3 mit einem Anteil von 7,6 % und 6,2 %. Dahinter reihen sich die Fahrzeughersteller Ford, BMW, Skoda und Mercedes ein, die noch jeweils einen Anteil von über 5 % am PKW-Bestand in Österreich haben.

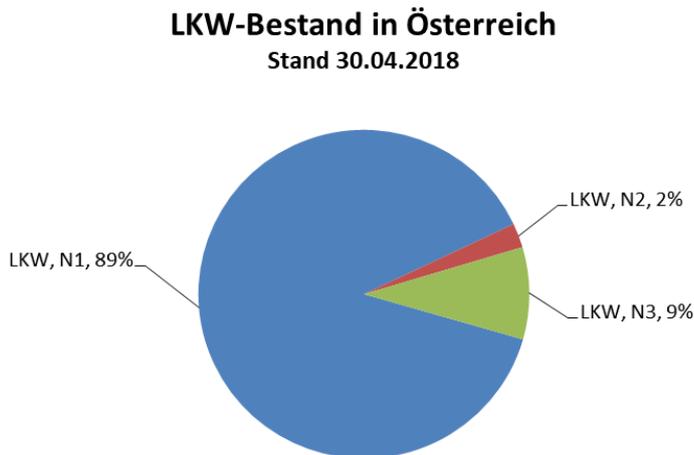
Abbildung 3: Zugelassene PKW in Österreich



2.1.3. LKW-Bestand in Österreich

Rund 7 % aller zugelassenen Fahrzeuge in Österreich entfallen auf die Fahrzeugart der Lastkraftwagen, wobei von diesen ca. 89 % auf die Klasse N1 entfällt, also auf die Fahrzeuge bis 3,5 t Gesamtgewicht. Die Klasse N2 beinhaltet Fahrzeuge mit einem Gesamtgewicht von 3,5–12 t und über 12 t werden sie der Klasse N3 zugeordnet. Diese Aufteilung ist in **Abbildung 4** ersichtlich.

Abbildung 4: LKW-Bestand in Österreich



2.1.4. Einteilung in Fahrzeugklassen

Ausgehend von diesen Daten wurde eine Einteilung der zu untersuchenden Fahrzeuge getroffen. Eine Berücksichtigung verschiedener Abgasklassen erfolgte nicht. Es wurden nur Fahrzeuge zu den Messungen ausgewählt, welche neuesten Abgasrichtlinien (Euro 6 für PKW und Euro VI für Nutzfahrzeuge) entsprechen. Diese sind im Folgenden aufgelistet:

- PKW Kleinwagen Benzin
- PKW Mittelklasse Benzin Leistungssegment \approx 100 kW, Hubraum $<$ 2,0 l
- PKW Mittelklasse Diesel Leistungssegment \approx 110 kW, Hubraum \geq 2,0 l
- PKW SUV Diesel Leistungssegment \approx 130 kW, Hubraum \geq 2,0 l
- LKW N1 hzG $<$ 2500 kg Diesel
- LKW N1 hzG $>$ 2500 kg Diesel
- LKW N2 hzG $<$ 12000kg Diesel
- LKW N3 hzG $<$ 40000kg Diesel

Abbildung 5: PKW M1 Benzin

PKW Kleinwagen



Skoda Fabia

Leistung: 70 kW
HzG : 1596 kg

PKW Mittelklasse



Seat Leon

Leistung: 92 kW
HzG : 1770 kg

Abbildung 6: PKW M1 Diesel

PKW Mittelklasse



Audi A4

Leistung: 90 kW
HzG : 2145 kg

PKW SUV



BMW X4

Leistung: 140 kW
HzG : 2335 kg

Abbildung 7: LKW N1

LKW N1 HzG < 2500kg



Nissan NV 200

Leistung: 81 kW
HzG : 2000 kg

LKW N1 HzG > 2500kg



Renault Master

Leistung: 96 kW
HzG : 3300 kg

Abbildung 8: LKW N2 und N3 Diesel

LKW N2 HzG < 12000kg



Scania P250

Leistung: 184 kW
HzG : 12000 kg

LKW N3 HzG < 40000kg



Mercedes Actros + Anhänger

Leistung: 310 kW
HzG : 40000 kg

2.2. Streckenauswahl

Für die Durchführung dieses Projektes war eine sorgfältige Auswahl der Strecken, die bei den Real-Welt Abgasmessungen zu befahren waren, sehr wichtig. In Absprache der Projektpartner wurden vier Streckenabschnitte im österreichischen Autobahn- und Schnellstraßennetz in die engere Auswahl genommen. Diese waren:

- Autobahn A1 zwischen den Anschlussstellen Öd und Haid; Streckenkilometer 131 bis 175.
- Schnellstraße S33 und S5 zwischen den Anschlussstellen Knoten St.Pölten und Grafenwörth; Streckenkilometer 0 auf der S33 bis Streckenkilometer 100 auf der S5.
- Autobahn A21 zwischen dem Knoten Steinhäusl und der Anschlussstelle Brunn am Gebirge; Streckenkilometer 0 bis 36.
- Autobahn A2 zwischen den Anschlussstellen Industriezentrum NÖ-Süd und Pinkafeld; Streckenkilometer 11 bis 100.

2.2.1. Streckenabschnitt Ebene

Wichtig für die Auswahl der Messstrecke in der Ebene war eine möglichst geringe Fahrbahnlängsneigung über die gesamte Distanz. Dafür bot sich ein Teilstück auf der Autobahn A2 zwischen den Anschlussstellen Industriezentrum NÖ-Süd (km 11) und Kottlingbrunn (km 26) am besten an. Die zu untersuchenden Geschwindigkeitsbereiche wurden aufeinander folgend in Abschnitten von etwa 5 km auf dieser Strecke gemessen.

In Abbildung 9 ist der Streckenverlauf, in Abbildung 10 und Abbildung 11 das Höhen- und das Steigungsprofil abgebildet. Der Höhenunterschied zwischen Beginn und Ende beträgt nur 75 m auf einer Strecke von 16 Kilometer, was einer durchschnittlichen Fahrbahnlängsneigung von 0,4% entspricht. Wichtig ist auch, dass auf dieser Strecke die maximale Fahrbahnlängsneigung nur 1,8% beträgt und nur auf einem kurzen Abschnitt vorkommt. Somit sind gute Bedingungen für Real-Welt Abgasmessungen auf einer ebenen Strecke gegeben. Um trotzdem auch geringe Steigungs- und Windeinflüsse zu eliminieren, wurde die Strecke in beide Richtungen befahren.

Abbildung 9: Streckenverlauf Autobahn A2



Abbildung 10: Höhenprofil Autobahn A2

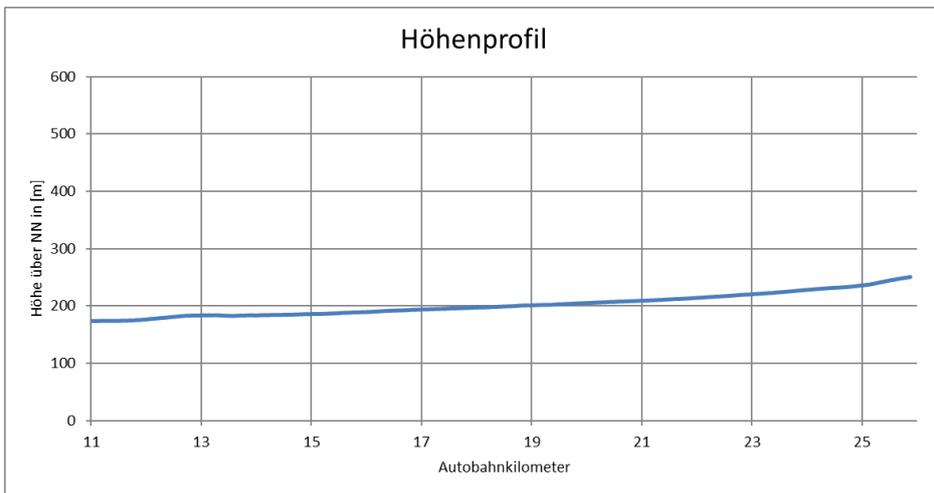
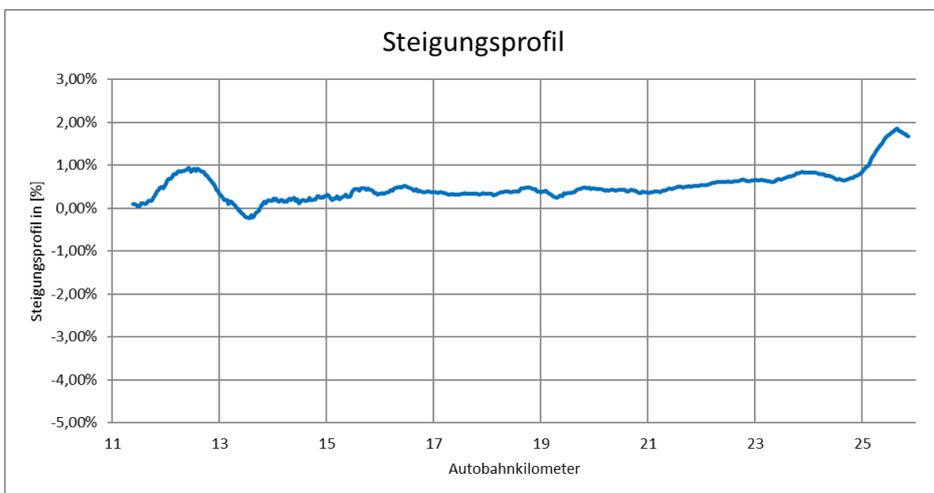


Abbildung 11: Steigungsprofil Autobahn A2



2.2.2. Streckenabschnitt Steigung und Gefälle

Nach einer Analyse der Verkehrsbedingungen unter Einbeziehung der geltenden Geschwindigkeitsbeschränkungen auf den jeweiligen Teilstrecken, wurde ein Abschnitt auf der A21 als Steigungs- und Gefällestrecke ausgewählt. Der Abschnitt zwischen den Anschlussstellen Hochstraß (km 4) und Alland (km 15), siehe Abbildung 12, wurde am geeignetsten erachtet. Die Messungen wurden dann zwischen Autobahnkilometer 4 und 12,5 durchgeführt. Die Höhendifferenz beträgt 190 m auf 8,5 km, siehe Abbildung 13. Das entspricht einer durchschnittlichen Fahrbahnlängsneigung von 2,2 %. Aus dem Steigungsprofil, Abbildung 14, ist zu entnehmen, dass die maximale Fahrbahnlängsneigung 4,5 % beträgt. Es ist auch gut zu erkennen, dass auf der gesamten Strecke ein Gefälle, bzw. je nach Fahrtrichtung eine Steigung, vorherrscht. Es gibt keinen Wechsel zwischen Steigung und Gefälle. Für die Real-Welt Abgasmessungen wurde die gesamte Strecke jeweils mit der zu untersuchenden Geschwindigkeit in beide Fahrtrichtungen befahren.

Abbildung 12: Streckenverlauf Autobahn A21



Abbildung 13: Höhenprofil Autobahn A21

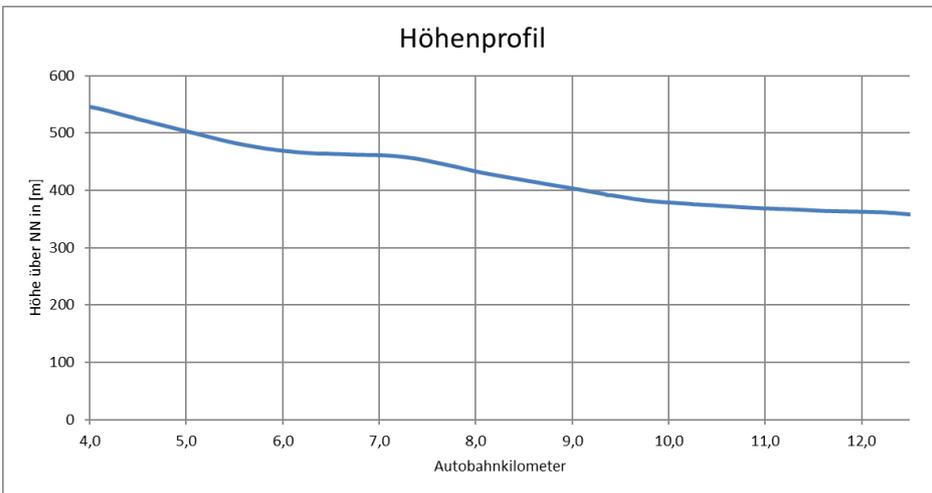
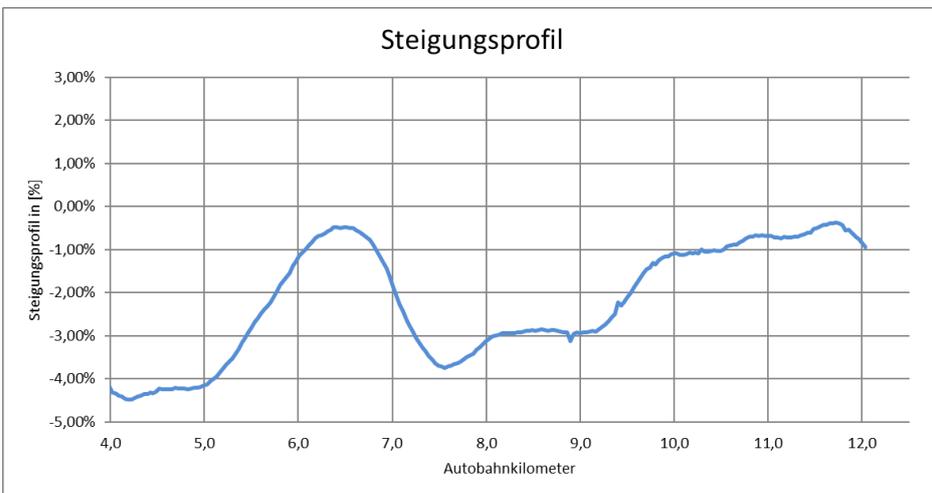


Abbildung 14: Höhenprofil Autobahn A21



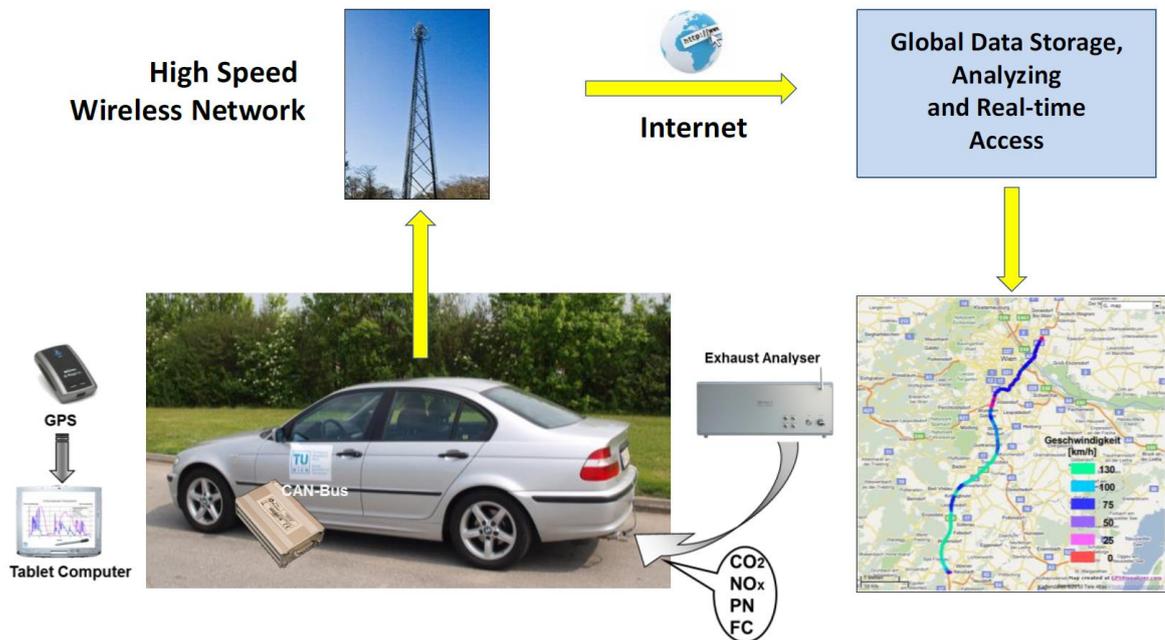
3. ZEITLICH UND ÖRTLICH AUFGELOSTE REAL-WELT MESSUNGEN VON KRAFTSTOFFVERBRAUCH UND CO₂-EMISSIONEN MIT MODERNSTEM CAR-TO-INFRASTRUCTURE KOMMUNIKATION- FÄHIGEM ON-BOARD MESSSYSTEM

Im Zuge von Real-Driving-Untersuchungen wurde die derzeitige Situation an ausgewählten Autobahn-Streckenabschnitten aufgezeigt. Unter Berücksichtigung auf die häufig variierenden Höchstgeschwindigkeiten und den sich daraus ergebenden Beschleunigungs- und Schubphasen, sowie erstmals den differenzierten Einfluss der Gradienten der Fahrbahnabschnitte (z.B. Fahrbahnlängsneigung), wurden die Bandbreiten der realen CO₂-Ausstöße an acht Fahrzeugtypen ermittelt. Um die Auswirkungen der gezielten Anpassung der Geschwindigkeitsbeschränkung auf die Kohlendioxidemissionen darzustellen, wurden die Pkw und Lkw-Typen bei einerseits wechselnden und andererseits weitestgehend harmonisierten Geschwindigkeiten auf zwei Autobahnabschnitten mit unterschiedlichen Charakteristiken geprüft. Durch den Einsatz fortschrittlichster Abgasmesstechnik mit Anbindung an C2I, wurde eine Echtzeit- Emissionsauswertung bezogen auf den gefahrenen Streckenabschnitt beziehungsweise eine zeitliche Auflösung ermöglicht. Zusätzlich wurden die Komponenten CO, HC, NO, NO_x und O₂ sowie die Partikelanzahl und Größenverteilung als Stichmessung ermittelt.

3.1. Methode und wissenschaftlicher Lösungsansatz

Es wurden abgastechische Untersuchungen an acht unterschiedliche Krafffahrzeugtypen (PKW/LKW) durchgeführt. Die Fahrzeuge wurden hierzu bei verschiedenen genau definierten Fahrzyklen betrieben, um den CO₂-Ausstoß bei konstanter Fahrt und bei wechselnden Geschwindigkeiten festzustellen. Zusätzlich wurden die Einflüsse auf ebenen Streckenabschnitten sowie auf Steigungs- und Gefällestrecken eruiert. Die verwendete Messtechnik, Abbildung 15, liefert in Echtzeit mit einer Frequenz von einem Hertz die Massenemissionen des evaluierten Fahrzeugtypus und übergibt diese per Car-to-Infrastructure Datenübertragung (C2I) an einen Server, von dem die Daten zur weiteren Bearbeitung herangezogen werden können.

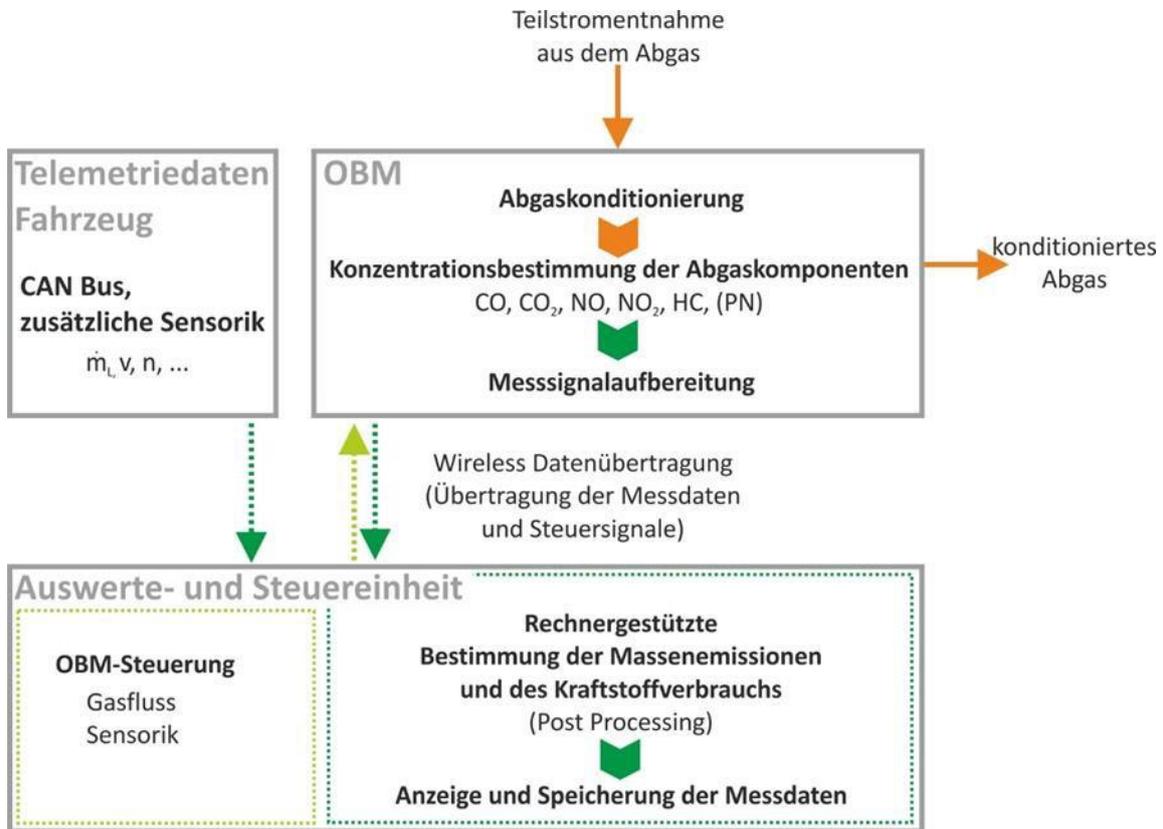
Abbildung 15: OBM 5.0 Real-time V2I Emission Measurement System



Das eingesetzte Messsystem ist eine, am Institut für Fahrzeugantriebe und Automobiltechnik entwickelte, Experimentaleinrichtung, die aus einer Analyseeinheit zur Erfassung der Emissionen und einer davon getrennten Aufzeichnungs- und Auswerteeinheit besteht. Man ist damit in der Lage kontinuierlich Abgaskonzentrationen zu messen und die emittierten Schadstoffmassen sowie den Kraftstoffverbrauch in Echtzeit zu berechnen. Aufgrund der kompakten Abmessungen und des geringen Gewichts ist dieses System besonders für den mobilen Einsatz in Fahrzeugen geeignet. Die eigentliche Messeinrichtung, beinhaltet die Abgaskonditionierung und die Messsensorik zur Abgasanalyse.

Bedingt durch den hohen Entwicklungsstand des Systems ist es nicht, wie bei anderen mobilen Abgastestgeräten, erforderlich das gesamte Abgas durch das Messgerät zu leiten, sondern lediglich einen Teilvolumenstrom mittels einer Abgassonde aus dem Endrohr des Abgastraktes abzusaugen, schematisch dargestellt in Abbildung 16. Anhand dieser Probe wird eine kontinuierliche Konzentrationsbestimmung der Abgaskomponenten CO₂, CO, HC, NO, NO_x und O₂ durchgeführt, sowie eine qualifizierende Partikelanzahl und eine mittlere Größenverteilung bestimmt. Die Datenübertragung zwischen der Analyseeinheit an das Endgerät erfolgt dabei über leistungsstarke Wireless Verbindungen, welche eine sichere und stabile Weitergabe der Messwerte und Steuerbefehle garantieren.

Abbildung 16: Schema Real-World Emissionsmessung



Um die Emissionen den jeweiligen Fahrtstrecken beziehungsweise Betriebszuständen des Antriebsstranges zuzuordnen, werden zeitlich hoch aufgelöste GPS-Koordinaten und die Auswertedaten des Feldbus-Systems der Fahrzeugelektronik erfasst und multimodal verknüpft. So lässt sich beispielsweise Fahrzeuggeschwindigkeit, Motordrehzahl oder die angesaugte Luftmasse ermitteln. Letztere ist eine zentrale Einflussgröße bei der Berechnung der Massenemissionen.

Durch die Ermittlung der exakten Position und der Fahrzeuggeschwindigkeit, beziehungsweise der Änderung der Geschwindigkeit, können Rückschlüsse auf die Höhenprofile der Teststrecken und die Dynamik der Testfahrt gezogen werden.

Die streckenbezogene Emissionsberechnung pro Gramm Schadstoff bildet unter anderem die Grundlage für die Kalkulation des momentanen Kraftstoffverbrauchs, welche auf der Richtlinie 93/116/EG beruht. Bei der Entnahme und der Konditionierung des Abgasteilstromes wird dieser für die Gasanalyse nicht verdünnt. Man benötigt zur Massenemissionsbestimmung in erster Linie den Luftdurchsatz durch den Verbrennungsmotor und die Luftzahl λ im Abgas. Diese Größen werden üblicherweise vom Feldbussystem des Fahrzeugs zur Verfügung gestellt und dem Rechner zur weiteren Kalkulation übergeben.

Die Berechnung der Massenemissionen von HC, CO und CO₂ ermöglicht nun, unter der Beachtung eingangs erwähnten Richtlinie 93/116/EG und mit Einbindung der Kohlenstoffbilanz, die exakte Ermittlung des Kraftstoffverbrauches.

Der Einsatz unterschiedlicher Kraftstoffzusammensetzungen in Bezug auf deren Kohlen- und Wasserstoffanteil wird durch den Faktor CH_f berücksichtigt.

$$KSV = \frac{CH_f}{\delta} \cdot (0,866 \cdot HC + 0,429 \cdot CO + 0,273 \cdot CO_2)$$

KSV...Kraftstoffverbrauch [l/100km]

CH_f...Faktor zur Berücksichtigung des Wasserstoff- u. Kohlenstoffanteils im Kraftstoff

HC, CO, CO₂ ...Massenemissionen [g/km]

ρ...Dichte des Kraftstoffes in g/cm³ bei 15°C

3.2. Vorbereitung der Real-Welt Messungen

3.2.1. Vorabtestfahrt auf den Teststrecken

Die Vorabtestfahrt auf den Teststrecken mit einem Versuchsfahrzeug zur Ablaufkontrolle für die Messfahrten wurden am 26. September 2018 durchgeführt. Dazu wurden mit einem Versuchsfahrzeug die Teststrecken in voller Abgas-Messausrüstung abgefahren und die Vorgangsweise erprobt.

Hierbei sollten die lokalen Gegebenheiten, sowie die möglichen Halte- beziehungsweise Umkehrpunkte, welche mit den Testfahrzeugen anzufahren sind, festgelegt werden. Ebenso wurden die Vorabuntersuchungen zum Erstellen einer für diese Anwendung strukturierten Checkliste herangezogen.

3.2.2. Checkliste für Messungen

Nach erfolgter Vorabtestfahrt wurde eine für diese Untersuchung adaptierte Checkliste für die Real-Welt Messfahrten erarbeitet. Darin sind sämtliche qualitätsrelevanten Vorgänge gelistet und wurden entsprechend kontrolliert. Um die komplexen Arbeitsschritte der Messdurchführung auf den zu untersuchenden Teilstrecken konsistent abzuarbeiten wurden diese Checklisten für die einzelnen Fahrzeugtypen selektiv erstellt. Es wurden die

unterschiedlichen Anforderungen, welche sich durch die große Bandbreite an Fahrzeugtypen ergeben, für den Einzelfall erarbeitet. Einerseits für den Messtechniker als Hilfestellung, andererseits um die konsistente Dokumentation der Messdurchführung zu gewährleisten.

3.3. Geschwindigkeitsprofile

Für das vorliegende Projekt wurden für die Fahrzeugklasse PKW M1 und leichte Nutzfahrzeuge < 3,5 t N1 Geschwindigkeitsprofile von 100 km/h und 120 km/h konstant und Tempolimit 130 km/h im Fließverkehr gewählt. Dadurch ist eine Änderung des Abgasverhaltens der Fahrzeuge durch Geschwindigkeitsharmonisierung nachzuvollziehen.

Für die Fahrzeugklassen LKW > 3,5 t N2 und N3 wurden die Geschwindigkeitsprofile 60 km/h und 70 km/h konstant und Tempolimit 80 km/h im Fließverkehr gewählt. Auch dadurch ist eine Änderung des Abgasverhaltens der Fahrzeuge durch Geschwindigkeitsharmonisierung nachzuvollziehen.

3.4. Ergebnisse der Real-Welt Messfahrten

Im Rahmen der Gesamtberichterstellung erfolgte die Zusammenführung der Einzelfahrzeugmesswerte und die Berechnung des CO₂-Ausstoßes in Abhängigkeit von Steigung und Gefälle für jede Fahrzeugkategorie. In dieser Form wurden die Daten dann an die Projektpartner zur weiteren Verarbeitung übergeben.

3.4.1. Einzelberichterstellung der Abgasmessungen

Die Ergebnisse der Messungen wurden für jedes der acht Fahrzeuge, nach eingehender Qualitätskontrolle, in standardisierte Dateien übertragen. Beispielhaft sind in Abbildung 17 und Abbildung 18 Ausschnitte aus den Einzelberichten der durchgeführten Untersuchungen gezeigt.

Abbildung 17: Beispielhaftes Einzelbericht-Deckblatt

**Real-world Abgasemissionsmessung auf Autobahnen mit
Messsystem OBM 5.0 am Testfahrzeug Seat Leon 1,4 TSI am 05.10.2018**

Benzin, 92 kW, Euro 6, 250 km Laufleistung





Prof. Pucher, DI Gruber, Ch. Spitzwieser

RDE Fahrzeugmessung mit OBM 5.0

20181005

1 von 5

Abbildung 18: Beispielhafter Einzelbericht Messergebnisse

Ergebnisse Autobahn A2 Seat Leon 1,4 TSI am 05.10.2018

Benzin, 92 kW, Euro 6, 250 km Laufleistung

100 km/h										
	CO ₂	CO	HC	NO _x	NO	NO ₂	PN	Weg	v _{mittel}	Verbrauch
	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[#/km]	[km]	[km/h]	[l/100km]
05.10.2018	119	0,01	0,03	0,007	0,001	0,005	4,50E+11	9,7	100,5	5,05

120 km/h										
	CO ₂	CO	HC	NO _x	NO	NO ₂	PN	Weg	v _{mittel}	Verbrauch
	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[#/km]	[km]	[km/h]	[l/100km]
05.10.2018	152	0,04	0,04	0,003	0,000	0,003	6,68E+11	9,4	120,0	6,41

130 km/h										
	CO ₂	CO	HC	NO _x	NO	NO ₂	PN	Weg	v _{mittel}	Verbrauch
	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[#/km]	[km]	[km/h]	[l/100km]
05.10.2018	156	0,16	0,04	0,012	0,004	0,007	1,07E+12	10,7	125,9	6,58



Prof. Pucher, DI Gruber, Ch. Spitzwieser

RDE Fahrzeugmessung mit OBM 5.0

20181005

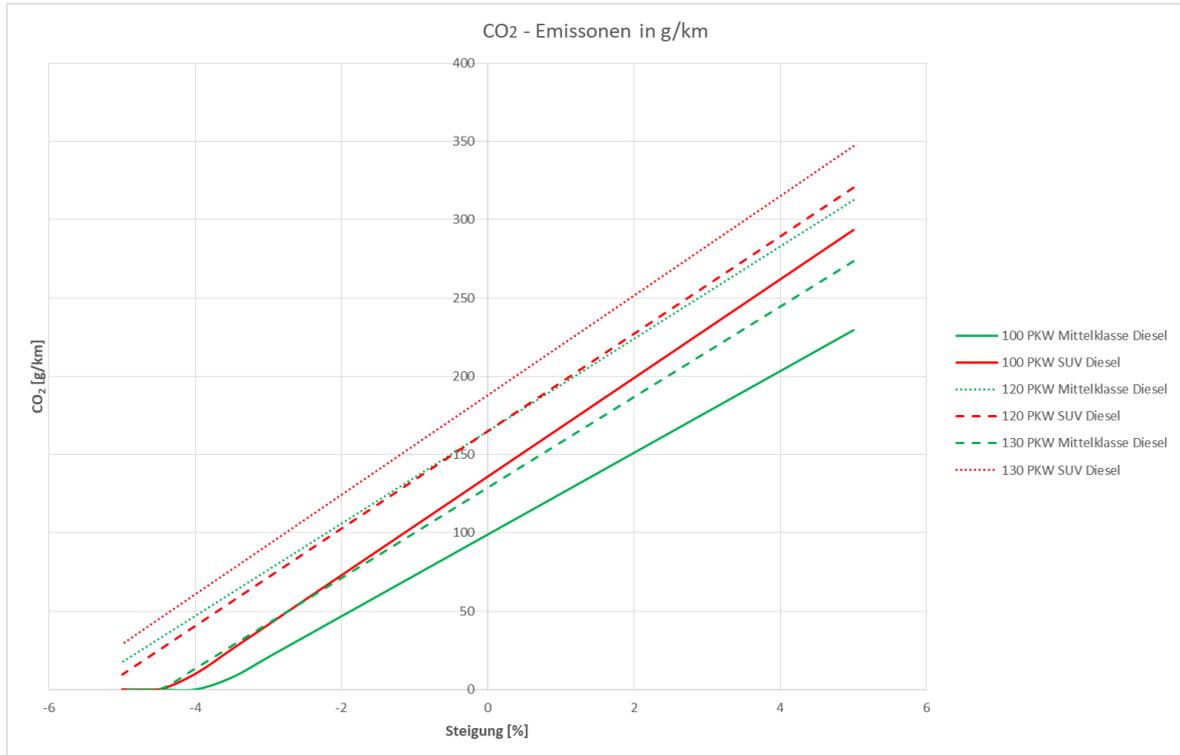
4 von 5

3.4.2. Streckenbezogene Emissionsfaktoren der untersuchten Fahrzeugklassen

Aus den Messdaten eines jeden Fahrzeugtypen auf den Messstrecken in der Ebene und auf den Steigungsstrecken wurde die Abhängigkeit des CO₂-Ausstoßes berechnet. Durch die hohe Anzahl an Messdaten pro Fahrzeug, Strecke und Geschwindigkeitsprofil konnten lineare Zusammenhänge zwischen den streckenbezogenen CO₂-Emissionen und Steigung beziehungsweise Gefälle dargestellt werden. Dies deckt sich auch mit der Fahrwiderstandsgleichung ($F_W = F_L + F_R + F_{ST}$), in die der Luft-, Roll-, und Steigungswiderstand linear eingehen. Das gilt bei konstanter Geschwindigkeit. Deswegen wurden die einzelnen Geschwindigkeitsprofile getrennt betrachtet. Aus diesen Daten wurden dann Diagramme erstellt, die nach Fahrzeugtypen gegliedert wurden und nachfolgend dargestellt sind.

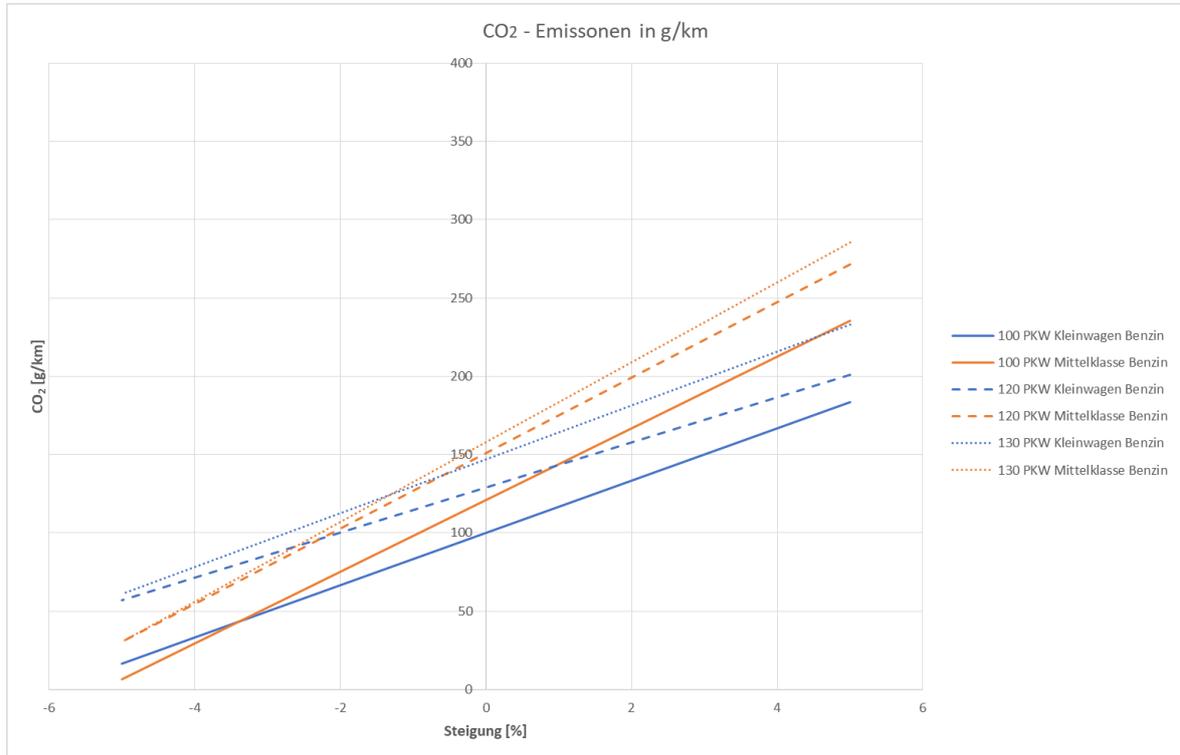
In den folgenden drei Diagrammen sind die streckenbezogenen CO₂-Emissionen der gemessenen Fahrzeuge zu sehen. Jedem Fahrzeug sind die drei Geschwindigkeitsprofile 100, 120 und 130 km/h, beziehungsweise 60, 70 und 80 km/h für die Fahrzeuge der Kategorien N2 und N3, zugeordnet. So sind die Emissionen der bei Unterschiedlichen Geschwindigkeiten leicht zu erkennen. Auf der X-Achse ist die Steigung in % dargestellt. Die Y-Achse weißt die CO₂-Emissionen in g/km aus. In Abbildung 19 wird die Kategorie PKW M1 Diesel dargestellt. Man kann den höheren CO₂-Ausstoß des SUVs gut erkennen, genauso wie den höheren Einfluss der Steigung auf den CO₂-Ausstoß im Vergleich zum Mittelklasse PKW. Der Effekt, dass die Steigung einen größeren Einfluss auf die CO₂-Emissionen bei höherer Geschwindigkeit hat, tritt bei beiden Fahrzeugen auf. Erkennbar ist das durch die größere Neigung der Geraden bei steigender Geschwindigkeit. Für 100 und 120 km/h beim PKW und für 100 km/h beim SUV ist außerdem zu sehen, dass sich die Geraden an den Nullpunkt annähern. Dies bedeutet, dass die Fahrzeuge vollständig durch die Hangabtriebskraft angetrieben werden und keine Motorleistung aufgewendet werden muss. Um die Geschwindigkeit konstant zu halten muss ab einem solchen Gefälle gebremst werden. Für 130 km/h ist im untersuchten Steigungsbereich zwischen -5% und +5% auf Grund des höheren Luftwiderstandes immer Motorleistung nötig um die Geschwindigkeit konstant zu halten.

Abbildung 19: CO₂-Emissionen in Abhängigkeit der Steigung für PKW M1 Diesel



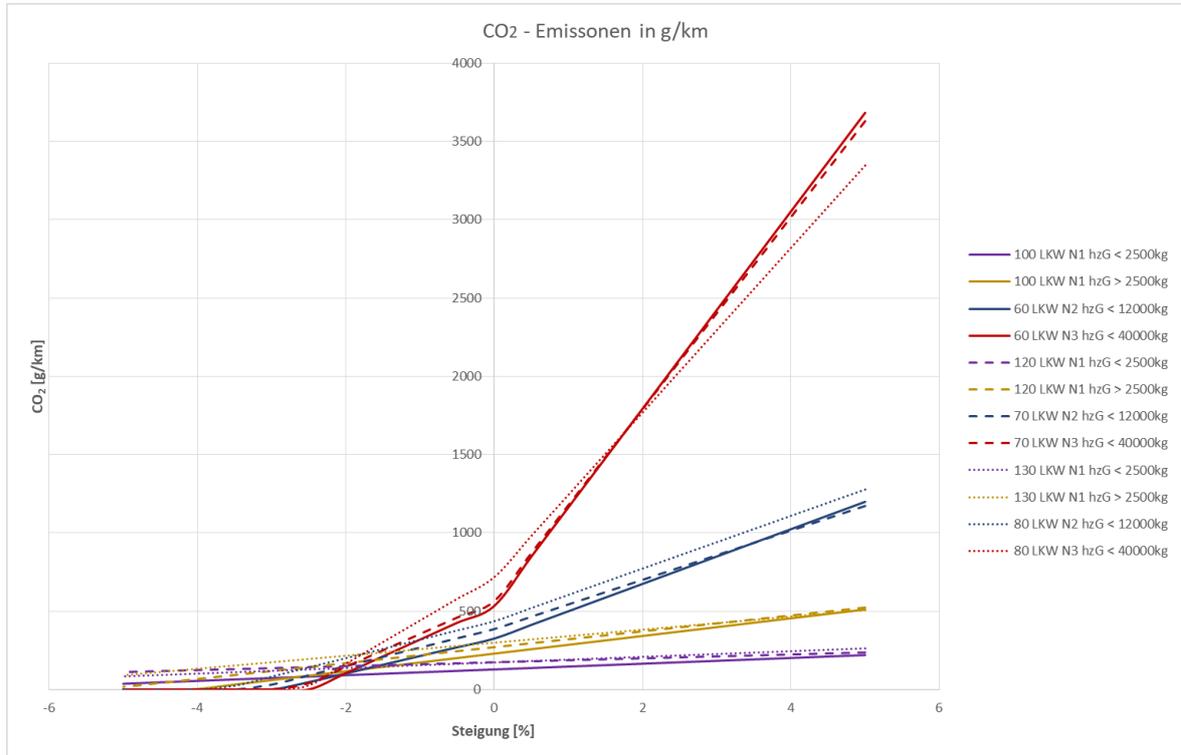
Als nächstes sind die Fahrzeuge der Kategorie PKW M1 Benzin aufgeführt. Die streckenbezogenen CO₂-Emissionen sind in Abbildung 20 ersichtlich. Erkennbar ist ein flacherer Verlauf der Geraden im Vergleich zu den Diesel-PKW und auch ein geringer werdenden Einfluss der Steigung bei höherer Geschwindigkeit. Dieser Effekt ist der Tatsache geschuldet, dass bei Ottomotoren oftmals die Effizienz bei höheren Lasten steigt. Dieselmotoren weisen ihre beste Effizienz meist im Teillastbereich auf.

Abbildung 20: CO₂-Emissionen in Abhängigkeit der Steigung für PKW M1 Benzin



Abschließend sind in Abbildung 21 die CO₂-Emissionen der Fahrzeugkategorie LKW N1, N2 und N3 dargestellt. Als erstes fällt auf, dass der CO₂-Ausstoß des LKWs N3 bei etwa dem zehnfachen eines PKWs M1 liegt; begründet durch das höchstzulässige Gesamtgewicht von 40t. Beim LKW N2 mit hzGG <12t handelt es sich etwa um Faktor 4. Bei diesen zwei Fahrzeugklassen wurden die Geraden im Diagramm in zwei Bereiche unterteilt. Steigungen stellen einen gesonderten Bereich dar und Gefälle ebenso. Man sieht, dass Gefälle weniger starke Einflüsse auf die Emissionen haben, als Steigungen. Eine Besonderheit dieser beiden Fahrzeugkategorien ist auch, dass die CO₂-Emissionen bei höheren Geschwindigkeiten ab bestimmten Steigungen niedriger sind, als solche bei kleineren Geschwindigkeiten. Das rührt daher, dass der gesamte Antriebsstrang auf die Geschwindigkeit des Tempolimits von 80 km/h abgestimmt ist. Bei geringeren Geschwindigkeiten können Steigungen nicht mehr mit dem höchsten Gang befahren werden und das Fahrzeug muss nun mit höheren Drehzahlen in einem niedrigeren Gang fahren. Das führt zu höheren Verbäuchen.

Abbildung 21: CO₂-Emissionen in Abhängigkeit der Steigung für LKW N1, N2 und N3



4. MODELLUNTERSTÜTZE ABSCHÄTZUNG DES STRECKENBEZOGENEN CO₂ AUSSTOßES DER FAHRZEUGE BEI UNTERSCHIEDLICHEN GESCHWINDIGKEITSPROFILIEN AM AUTOBAHN- UND SCHNELLSTRAßENNETZ

4.1. Aufgabenstellung

Der Kraftstoffverbrauch und die streckenbezogenen Abgasemissionen aus den erfolgten Messungen für die unterschiedlichen Kfz-Typen im Arbeitspaket 3 bilden die Eingangsdaten für die durchgeführten Untersuchungen und Berechnungen des vorliegenden Berichts zum Arbeitspaket 4.

Es wurden abschnittsweise Schadstoffemissionen für das ASFINAG Netz berechnet. Als Grundlage dienten Daten der ASFINAG, insbesondere durchschnittliche Längsneigungen zwischen Anschlussstellen, Verkehrsstärken und zulässige Höchstgeschwindigkeiten, die als Datenbank bzw. Verkehrsgraph aufbereitet wurden.

Weiters erfolgte eine Aufteilung der Gesamtverkehrsstärken nach den definierten acht unterschiedlichen Kfz-Typen der Messungen.

Entsprechend den Vorgaben des Auftraggebers wurden für fünf Untersuchungsstrecken Mikrosimulationen mit unterschiedlichen höchstzulässigen Geschwindigkeiten durchgeführt. Die Erkenntnisse der Simulationen dienen als Basis für das Aufzeigen von Schwankungen der CO₂-Schadstoffbelastungen bei unterschiedlichen Geschwindigkeitsverteilungen und Fahrzeuginteraktionen.

Abschließend wurde für Abschnitte mit verfügbaren Eingangsdaten eine abschnittsweise Berechnung des CO₂-Ausstoßes der Fahrzeuge für den Jahresdurchschnittlichen täglichen Verkehr (JDTV) durchgeführt.

4.2. Datengrundlagen

4.2.1. Beschreibung der Datengrundlagen

Die folgende Tabelle enthält eine Übersicht der verwendeten Datengrundlagen.

Tabelle 1: Übersicht der verwendeten Datengrundlagen

Datengrundlage	Quelle
Abschnittsverzeichnis	ASFINAG
Statistik höchstzulässige Geschwindigkeiten	ASFINAG
Längsneigungen	ASFINAG
Verkehrsstärken DAUZ (Kfz)	ASFINAG
VBA Bereiche (veraltet)	ASFINAG
Messdaten	Forschungsgruppe Prof. Pucher
Gleichungen für CO ₂ -Emissionsberechnungen	Forschungsgruppe Prof. Pucher
Pkw-Neuzulassungen nach Kilowatt-Klassen 2017 und 2018	Statistik Austria

Die Geschwindigkeitseinschränkungen in der folgenden Tabelle werden bei den Berechnungen berücksichtigt.

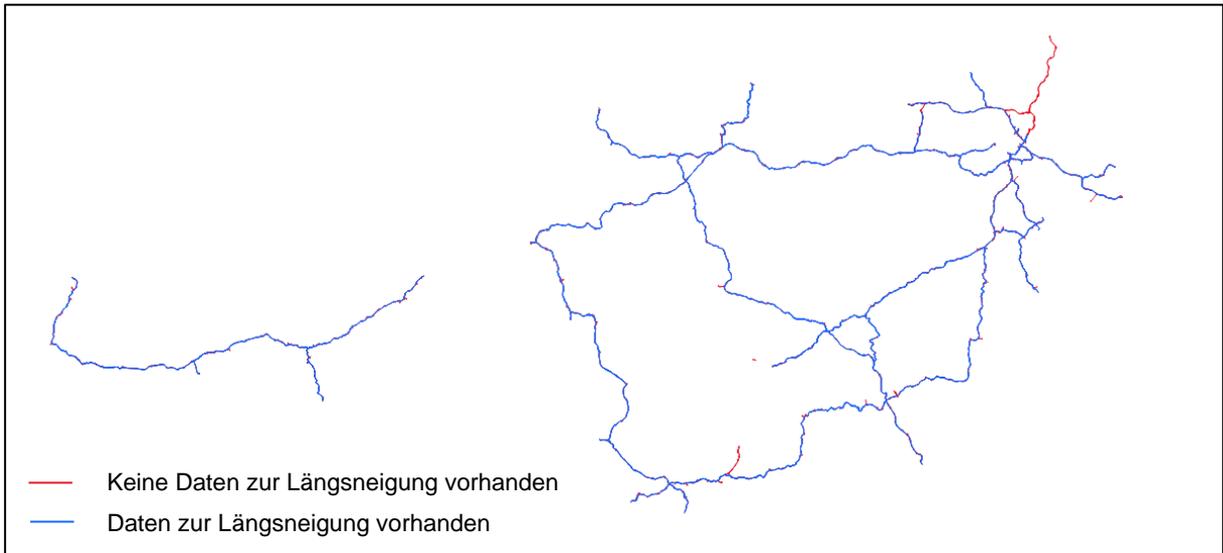
Tabelle 2: Berücksichtigte Geschwindigkeitseinschränkungen

Zusatztafeln der verordneten Geschwindigkeiten
keine Zusatztafel vorhanden
für LKW mit >7,5 t höchstem zulässigen Gesamtgewicht
für LKW
für LKW und Bus
IG-L
für Lkw > 7,5t
für Lkw über 7,5t

Erläuterung: Auswahl auf Basis der verordneten Zusatztafeln
 Quelle: Daten ASFINAG, Eigene Darstellung

Andere Grundlagen für Geschwindigkeitsbeschränkungen wurden nicht berücksichtigt.
Daten zur Längsneigung stehen derzeit nicht für das gesamte A+S Streckennetz zur Verfügung (siehe folgende Abbildung).

Abbildung 22: Vergleich Datenverfügbarkeit Streckennetz und Längsneigungen



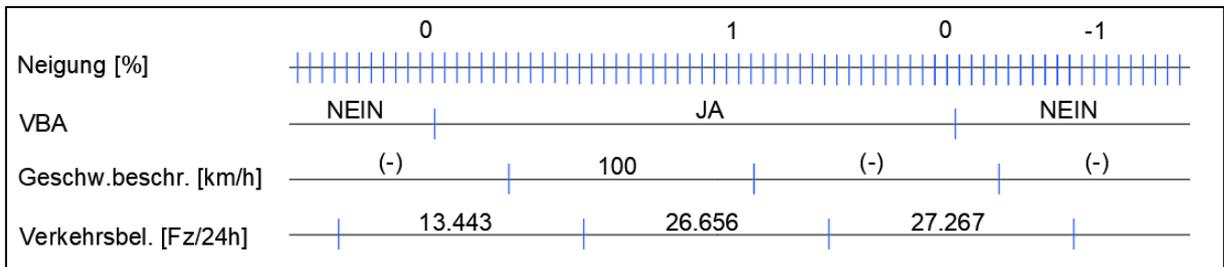
Quelle: Daten ASFINAG, Eigene Darstellung

4.2.2. Verknüpfung der Datengrundlagen

Auf GIS-Ebene können die unterschiedlichen Daten aufgrund unterschiedlicher Streckenelemente nur unter hohem Aufwand verheiratet werden. Aus diesem Grund wurden die unterschiedlichen Datengrundlagen mit einem eigens dafür erstellten MS Excel VBA Makro verknüpft. Ein theoretisches Beispiel für den Aufbau der einzelnen Datengrundlagen mit unterschiedlichen Abschnittslängen ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

Die Herausforderung ist in der Zusammenführung unterschiedlicher Abschnittslängen und Detaillierungsgrade der verschiedenen Daten gelegen. Zähldaten und Standorte von Verkehrszeichen sowie VBA-Anlagen sind als Standort verortet. Diese Information bezieht sich jedoch auch Streckenabschnitte bzw. zwischen Anschlussstellen. Die Längsneigung ist streckenbezogen. In der folgenden Abbildung wird ein Beispiel mit unterschiedlichen Daten visualisiert.

Abbildung 23: Vergleich unterschiedlicher Abschnittslängen der Datengrundlagen



Quelle: Eigene Darstellung

Als Ergebnis der Verknüpfung steht eine Liste für jede hochrangige Strecke pro Richtungsfahrbahn in 1 km-Abschnitten zur Verfügung. Es wurde für jeden Abschnitt eine durchschnittliche Längsneigung sowie bei Vorhandensein einer Geschwindigkeitsbeschränkung diese auf den gesamten Abschnitt übertragen. Mit dieser Vereinfachung wurden die folgenden Berechnungen durchgeführt.

Tabelle 3: Übersicht der verknüpften Datengrundlagen

Datengrundlage	Wertebereich
Höchstzulässige Geschwindigkeit Pkw	30 km/h bis 140 km/h
Höchstzulässige Geschwindigkeit Lkw	30 km/h bis 80 km/h
Längsneigungen	- 6 % bis + 6 %
Verkehrsbeeinflussungsanlagen	vorhanden / nicht vorhanden
Verkehrsbeeinflussungsanlagen Umwelt	vorhanden / nicht vorhanden
Verkehrsstärken 2018 8+1 Fahrzeugkategorien (Pkw, Motorrad, Pkw mit Anhänger, Lieferwagen, Lkw ohne/mit Anhänger, Bus, Sattelschlepper, nicht klassifizierbare Fahrzeuge) Dauerzählstellwerte der ASFINAG Homepage	5.000 bis 100.000 Kfz/Tag (2018) JDTV MO-SO
Gleichungen für CO ₂ -Emissionsberechnungen verfügbar für Geschwindigkeiten 100 km/h, 120 km und 130 km/h für folgende Fahrzeugarten: PKW Kleinwagen Benzin PKW Mittelklasse Benzin Leistung 100kW PKW Mittelklasse Diesel Leistung 110kW PKW SUV Diesel Leistung 130kW LKW N1 hzG < 2500kg Diesel (Lieferwagen) LKW N1 hzG > 2500kg Diesel (Lkw ohne Anhänger)	Lineare Gleichungen in Abhängigkeit der jeweiligen Längsneigung

Quelle: Daten ASFINAG, Forschungsgruppe Prof. Pucher, Statistik Austria, Eigene Darstellung

Die folgende Tabelle enthält die Zuordnung der einzelnen Fahrzeugkategorien der Dauerzählstellendaten mit durchgeführten Real Driving Emissions (RDE)-Messungen.

Tabelle 4: Übersicht der verknüpften Datengrundlagen

8+1 Fahrzeugkategorien	Fahrzeugarten der RDE Messungen
Pkw, Pkw mit Anhänger, nicht klassifizierbare Fahrzeuge	Mischsatz aus: PKW Kleinwagen Benzin PKW Mittelklasse Benzin Leistung 100kW PKW Mittelklasse Diesel Leistung 110kW PKW SUV Diesel Leistung 130kW
Motorrad	keine Zuordnung möglich
Lieferwagen	LKW N1 hzG < 2500kg Diesel (50%) LKW N1 hzG > 2500kg Diesel (50%)
Lkw ohne Anhänger	LKW N2 12to
Lkw mit Anhänger, Bus, Sattelschlepper	LKW N2 40to

Quelle: Daten ASFINAG, Forschungsgruppe Prof. Pucher, Eigene Darstellung

Die folgende Tabelle zeigt die Aufteilung des Mischsatzes der PKW. Als Basis wurde der Bestand der deutschen PKW-Flotte mit Stand 1. Januar 2018 herangezogen.

Dieser wird regelmäßig vom Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) in Deutschland veröffentlicht und enthält eine Kategorisierung der zugelassenen Fahrzeuge in Minis, Kleinwagen, Kompaktklasse, Mittelklasse, Obere Mittelklasse, Oberklasse, SUVs, Geländewagen, Sportwagen und weitere. Dabei wurde dieser Datensatz als Grundlage für den Fahrzeugbestand verwendet. In Österreich wird in der Zulassungsstatistik Bestand gesondert nach Kraftstoffart bzw. Energiequelle, Marke und Fahrzeugart nach dem Kraftfahrgesetz veröffentlicht. Der Datensatz der Klasse M1 wird jedoch nicht weiter unterteilt. Es wird, nachdem keine entsprechenden Daten in Österreich verfügbar sind, daher auf den Datensatz des KBA zurückgegriffen.

Die folgende Tabelle zeigt die Aufteilung des Datensatzes des KBA für die Berechnung. Im Datensatz des KBA sind weitere Kategorien enthalten, für die kein entsprechendes Referenzfahrzeug der RDE-Messungen existiert oder anderen Kategorien bei der 8+1 Zählmethode zugerechnet werden. Diese werden im Mischsatz ausgeschlossen.

Tabelle 5: Aufteilung des Mischsatzes PKW

Referenzfahrzeug	Kategorie im Bestand	%-Anteil im Datensatz des Kraftfahrt-Bundesamt	%-Anteil bei der Emissionsberechnung (exkl. Restlichen Fahrzeuge)
PKW Kleinwagen Benzin	Minis Kleinwagen	7 % <u>19 %</u> 26 %	8 % <u>23 %</u> 31 %
PKW Mittelklasse Benzin Leistung 100kW	Kompaktklasse	26 %	32 %
PKW Mittelklasse Diesel Leistung 110kW	Mittelklasse Obere Mittelklasse Oberklasse	14 % 4 % <u>1 %</u> 19 %	18 % 5 % <u>1 %</u> 24 %
PKW SUV Diesel Leistung 130kW	SUVs Geländewagen	6 % <u>5 %</u> 11 %	7 % <u>6 %</u> 13 %
Restliche Kraftfahrzeuge	Sportwagen, Mini-Vans, Großraum-Vans, Utilities, Wohnmobile und Sonstige	18 %	0 % Auf andere Fahrzeugklassen aufgeteilt

Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt Deutschland

Die folgenden Tabellen zeigen die Merkmalsausprägungen der höchstzulässigen Geschwindigkeiten für Autobahnen und Schnellstraßen.

Tabelle 6: Anteil der Geschwindigkeitsbeschränkungen an 1 km-Autobahnabschnitten

Strecke	Streckenabschnitte mit...		Relativer Anteil der Streckenabschnitte mit v_{hzi} abweichend 130 km/h
	v_{hzi} 130 km/h	v_{hzi} abweichend 130 km/h ¹⁾	
A01	200 km	94 km ²⁾	32%
A02	283 km	96 km	25%
A03	38 km	0 km	0%
A04	54 km	12 km	18%
A05	56 km	2 km	3%
A06	19 km	3 km	14%
A07	11 km	16 km	59%
A08	65 km	12 km	16%
A09	147 km	84 km	36%
A10	109 km	75 km	41%
A11	10 km	12 km	55%
A12	32 km	114 km	78%
A13	18 km	17 km	49%
A14	42 km	20 km	32%
A21	30 km	9 km	23%
A22	20 km	10 km	33%
A23	0 km	17 km	100%
A25	16 km	4 km	20%
A26*			

¹⁾ teilweise für alle bzw. einzelne Fahrzeugkategorien; ²⁾ inkl. 140 Teststrecke; * in Bau;

v_{hzi} : höchstzulässige Geschwindigkeit

Quelle: Daten ASFINAG, Eigene Darstellung

Tabelle 7: Anteil der Geschwindigkeitsbeschränkungen an 1 km-Schnellstraßenabschnitten

Strecke	Streckenabschnitte mit...		Relativer Anteil der Streckenabschnitte mit v_{hzi} abweichend 130 km/h
	v_{hzi} 130 km/h	v_{hzi} abweichend 130 km/h ¹⁾	
S01	26 km	33 km	55%
S02	7 km	0 km	0%
S03	22 km	0 km	0%
S04	17 km	0 km	0%
S05	43 km	2 km	4%
S06	79 km	27 km	25%
S07*			
S08*			
S10	9 km	14 km	61%
S16	63 km	0 km	0%
S18*			
S31	52 km	0 km	0%
S33	26 km	2 km	7%
S34	10 km	0 km	0%
S35	37 km	0 km	0%
S36	35 km	3 km	5%
S37**	37 km	0 km	0%

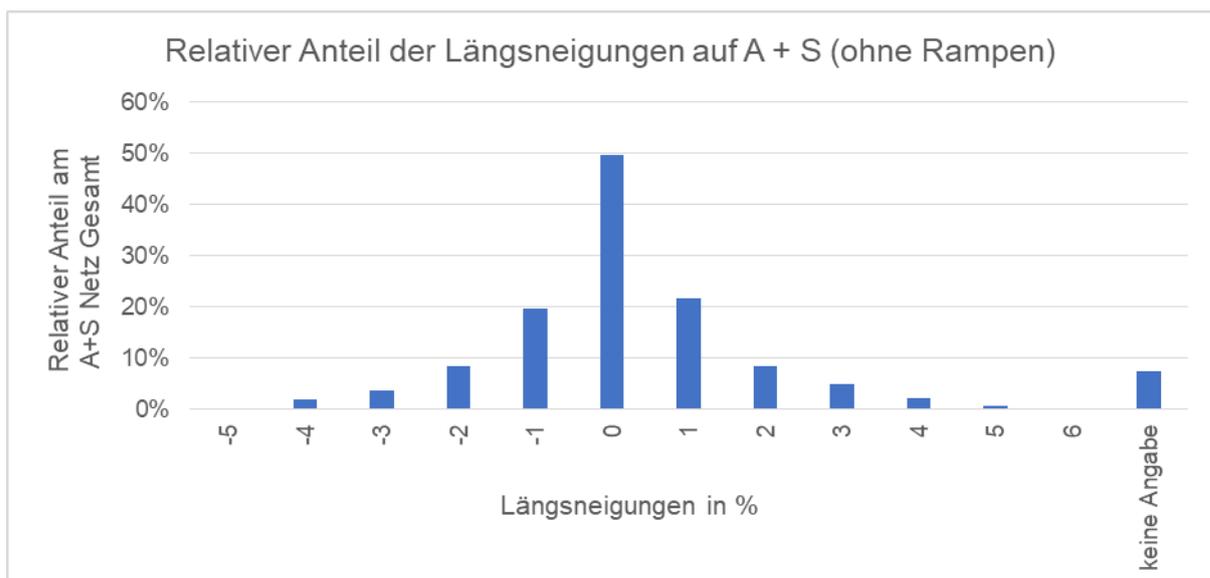
* in Bau oder Planung; ** teilweise in Planung (nur fertiggestellte Teile wurden ausgewertet);

v_{hzi} : höchstzulässige Geschwindigkeit

Quelle: Daten ASFINAG, Eigene Darstellung

Die folgende Abbildung zeigt die Merkmalsausprägungen der Längsneigungen.

Abbildung 24: Relativer Anteil der Längsneigungen an 1 km-Autobahn- und Schnellstraßenabschnitten



Quelle: Daten ASFINAG, Eigene Darstellung

Die folgenden Tabellen zeigen die Datenverfügbarkeit an von der ASFINAG veröffentlichten Verkehrsdaten von Dauerzählstellen mit 8+1 Fahrzeugkategorien aus dem Jahr 2018 unterteilt nach Autobahnen und Schnellstraßen. Zur Auswertung wurden die Anschlussstellen in die Auswertung miteingezogen. Die Zählstellen wurden auf Streckenabschnitte zwischen Anschlussstellen umgelegt und zugeordnet. Die Tabelle zeigt die Strecken an, bei denen zwischen den Anschlussstellen keine Verkehrsdaten vorliegen. Die folgende Tabelle zeigt die Verfügbarkeit von Zählstellen.

Tabelle 8: Anteil der 1km-Autobahnabschnitte mit 8+1 Verkehrsdaten 2018

Strecke	8+1 Verkehrsdaten vorhanden	keine 8+1 Daten vorhanden	Relativer Anteil der Abschnitte mit 8+1 Verkehrsdaten
A01	122 km	172 km	41%
A02	173 km	206 km	46%
A03	12 km	22 km	35%
A04	40 km	26 km	61%
A05	0 km	58 km	0%
A06	10 km	12 km	45%
A07	3 km	24 km	11%
A08	52 km	25 km	68%
A09	122 km	109 km	53%
A10	77 km	107 km	42%
A11	15 km	7 km	68%
A12	83 km	63 km	57%
A13	18 km	17 km	51%
A14	34 km	28 km	55%
A21	8 km	31 km	21%
A22	18 km	12 km	60%
A23	8 km	9 km	47%
A25	3 km	17 km	15%
A26*			

* in Bau

Quelle: Daten ASFINAG, Eigene Darstellung

Tabelle 9: Anteil der 1km-Schnellstraßenabschnitte mit 8+1 Verkehrsdaten 2018

Strecke	8+1 Verkehrsdaten vorhanden	keine 8+1 Daten vorhanden	Relativer Anteil der Abschnitte mit 8+1 Verkehrsdaten
S01	25 km	34 km	42%
S02	3 km	4 km	43%
S03	6 km	16 km	27%
S04	7 km	10 km	41%
S05	16 km	29 km	36%
S06	50 km	56 km	47%
S07*			
S08*			
S10	0 km	23 km	0%
S16	43 km	20 km	68%
S18*			
S31	29 km	23 km	56%
S33	21 km	7 km	75%
S34*			
S35	20 km	17 km	54%
S36	16 km	22 km	42%
S37**	0 km	18 km	0%

* in Bau oder in Planung; ** teilweise in Planung (nur fertiggestellte Teile wurden ausgewertet)

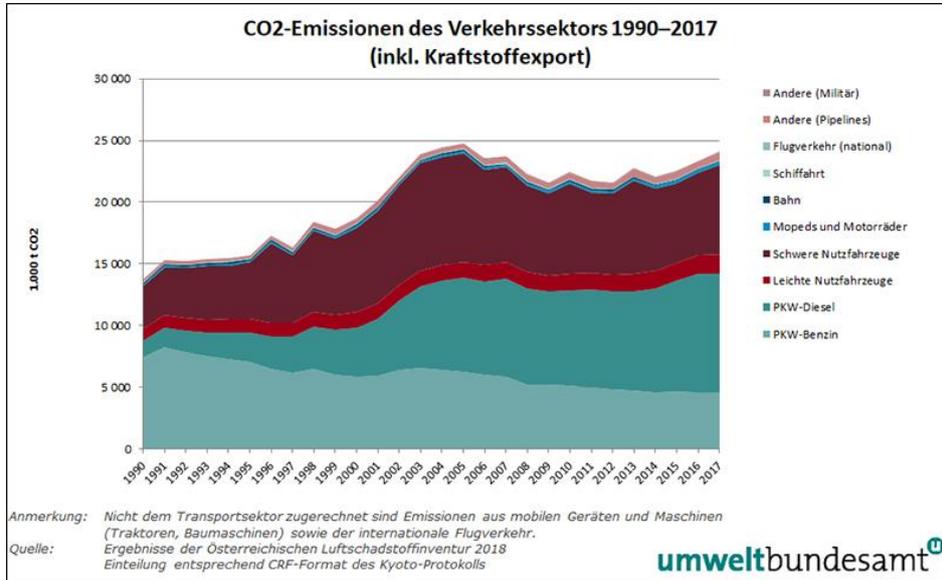
Quelle: Daten ASFINAG, Eigene Darstellung

4.2.3. Studien zu CO₂-Emissionen auf dem Autobahnnetz

Das Umweltbundesamt berechnet jährlich die Österreichische Luftinventur und ermittelt die CO₂-Emissionen sortiert nach Sektor. Im Sektor Verkehr wurden im Jahr 2017 23 Kilotonnen (kt) CO₂ emittiert. Die Berechnung erfolgt anhand der Daten des Treibstoffverkaufs. Die folgende Abbildung verdeutlicht die Emissionen der einzelnen Verkehrsmittel. Die Hälfte der CO₂-Emissionen ist laut Statistik dem PKW-Verkehr zugeordnet. Zusammen mit leichten und schweren Nutzfahrzeugen verursacht der Straßenverkehr den überwiegenden Anteil an CO₂-Emissionen im Verkehrssektor.¹

¹ (Umweltbundesamt, 2019)

Abbildung 25: CO₂-Emissionen des Verkehrssektors 1990-2017 (inkl. Kraftstoffexport)



Quelle: Umweltbundesamt

Des Weiteren werden vom Umweltbundesamt direkte CO₂-Emissionen je Fahrzeugkilometer angegeben. Diese betragen im Jahr 2017 für den PKW Durchschnitt aus Benzin und Diesel 167 g/Fzkm. Die Berechnung bezieht sich auf einen Mittelwert, der sowohl Stadt- als auch Freilandverkehr umfasst. Sie bietet keine spezifischen Daten für die Verwendung auf Autobahnen. Eine Umlegung auf die Fahrleistung im Autobahnnetz ist daher nicht möglich.² Der Einfluss von Geschwindigkeit und Längsneigung kann ebenfalls nicht abgebildet werden.

Eine Berechnung für CO₂-Emissionen auf dem Autobahnnetz für das österreichische Autobahnnetz wurde bisher nicht durchgeführt. In Deutschland beschäftigte 1999 sich das Umweltbundesamt mit den Umweltauswirkungen im Falle einer Einführung eines Geschwindigkeitslimits der erlaubten Höchstgeschwindigkeit auf Bundesautobahnen. Diese Studie wird sowohl bei Gegnern als auch Befürwortern eines generellen Tempolimits zitiert wie beim Verband der Automobilindustrie (VDA) im Jahr 2008, dem Verkehrsclub Deutschland e.V. (VCD) im Jahr 2007 und 2019, als auch beim wissenschaftlichen Dienst im Deutschen Bundestag im Jahr 2007. Die Berechnung der CO₂-Emissionen erfolgte für das Bezugsjahr 1996 mit Hilfe des „Handbuch für Emissionen des Straßenverkehrs“ Version 1.1. Die Studie ist jedoch veraltet.

² (Umweltbundesamt, 2019)

4.3. Simulation

Für ausgewählte Streckenabschnitte im A+S Netz in Österreich wurden Mikrosimulationen mit dem Programm VISSIM der PTV AG durchgeführt. Ziel dieser Simulationen ist die Berechnung von Schadstoffemissionen in Form von Szenarien mit unterschiedlichen Fahrzeugkategorien und theoretischen Geschwindigkeitsverteilungen, die im Kapitel 4.3.1 beschrieben werden. Die Szenarien wurden entsprechend den Vorgaben des Auftraggebers definiert und werden im Kapitel 4.3.4 detailliert beschrieben:

- Bestandssituation mit verordneter höchstzulässiger Geschwindigkeit
- Szenario mit 110 km/h für PKW und 80 km/h für LKW
- Szenario mit 100 km/h für PKW und 70 km/h für LKW

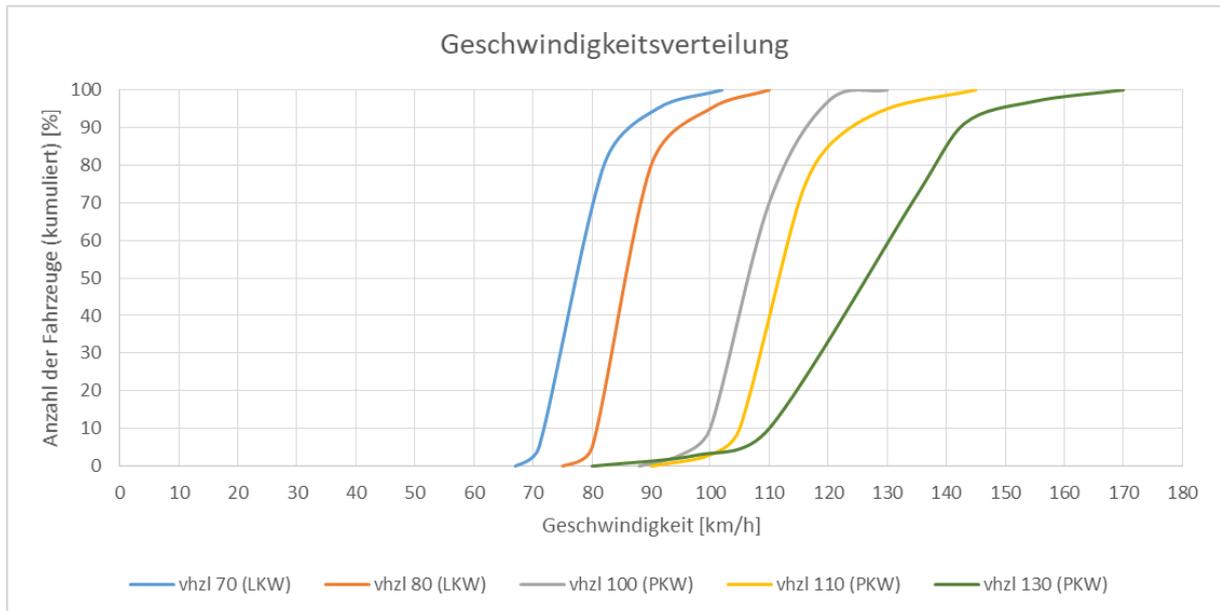
Die Erkenntnisse der Simulationen dienen als Basis für das Aufzeigen von Schwankungen der Schadstoffe bei unterschiedlichen Geschwindigkeitsverteilungen und Fahrzeuginteraktionen. In der Simulation wird das Fahrverhalten der einzelnen Fahrzeuge berücksichtigt. Für die Simulationen wurden fünf Streckenabschnitte festgelegt. Diese werden im Folgenden detailliert beschrieben.

4.3.1. Basisdaten für Simulation

Die Untersuchungsstrecken wurden im Simulationsprogramm VISSIM von PTV AG modelliert. Jeder Strecke wurde die reale Fahrstreifenanzahl, Verkehrsstärke sowie eine theoretische Wunschgeschwindigkeitsverteilung zugeordnet. Als Längsneigung wurden die in Kapitel 4.3.5.1.1 bis 4.3.5.2 angeführten Längsneigungen verwendet. Die Strecke wurde in 1 km-Abschnitte unterteilt. Auf allen Abschnitten wurde in der Mitte der einzelnen Abschnitte ein Messquerschnitt eingefügt, der in der Simulation die Geschwindigkeit der Einzelfahrzeuge registriert.

Als Grundlage für die Szenarienbetrachtung wurden aufgrund fehlender Datenverfügbarkeit zur realen Geschwindigkeitsverteilung bei unterschiedlichen höchstzulässigen Geschwindigkeiten theoretische Wunschgeschwindigkeitsverteilungen angesetzt. In der folgenden Tabelle wird die Verteilung der Wunschgeschwindigkeit dargestellt:

Abbildung 26: Übersicht der Wunschgeschwindigkeitsverteilungen der Szenarien



Quelle: VISSIM, Eigene Annahmen

Als Referenzgrundlage für die Definition der Wunschgeschwindigkeitsverteilungen bei einer höchstzulässigen Geschwindigkeit von 100 km/h und 130 km/h dienen für PKW die Auswertungen der Technischen Universität Graz (2006). Für den LKW-Verkehr bei einer höchstzulässigen Geschwindigkeit von 80 km/h wurden Auswertungen von Geistefeldt (2008) und Pumberger et.al. (2010) in Deutschland und Österreich verwendet.

Für die Szenarien mit höchstzulässigen Geschwindigkeiten 70 km/h und 110 km/h sind keine realen Geschwindigkeitsverteilungen bekannt. Nachdem die Geschwindigkeitswahl neben der höchstzulässigen Geschwindigkeit z.B. von der Geometrie der Strecke, der optischen Führung und Überwachung durch die Exekutive abhängt, müssten für realistische Aussagen reale Geschwindigkeitsmessungen durchgeführt werden.

4.3.2. Eingangsgrößen

Als Eingangsgrößen wurden die Verkehrsstärken der Dauerzählstellen der ASFINAG verwendet. Liegen zwischen zwei Anschlussstellen keine Verkehrsdaten vor, wurde das Verkehrsaufkommen anhand der vor- und nachgelagerten Zählstellen abgeschätzt. Die Verkehrsstärken der einzelnen Untersuchungsstrecken sind im Kapitel 4.3.5.1.1 bis 4.3.5.2.2 angeführt. Die Stundenwerte wurden anhand der Tagesganglinien, die von der ASFINAG für dieses Projekt zur Verfügung gestellt wurde, berechnet. Dazu wurden Zähl-

daten aus mehreren Abschnitten im ASFINAG-Netz als Datengrundlage verwendet. Die Tagesganglinien wurden für jede Tagesstunde übernommen. Dabei wurde das Autobahn-Netz in drei Typen eingeteilt: Ballungsraum, Pendlerstrecke und Freilandbereiche. Tagesganglinien wurden zwischen Fahrzeugen (alle KFZ) und Schwerverkehr (LKW) unterschieden und bei der Modellierung berücksichtigt. Damit konnte ein theoretisches Verkehrsaufkommen über den Zeitraum des durchschnittlichen Tages im Jahr simuliert werden. Grundsätzlich wäre – aufgrund unterschiedlicher Verkehrsverhältnisse – eine Simulation aller Jahresstunden erforderlich um die Geschwindigkeiten und Verkehrsstärken festzulegen und daraus die Luftschadstoffemissionen berechnen zu können. Aufgrund des äußerst hohen Aufwands wurde die durchschnittliche Tagesganglinie verwendet, auch wenn Abweichungen dadurch möglich sind. Als Fahrzeuge werden die Fahrzeugtypen der 8+1 Zählstelle verwendet: Pkw, Lieferwagen, Pkw mit Anhänger, Lkw ohne Anhänger, Lkw mit Anhänger, Sattelzug, Bus, Motorrad und nicht-klassifizierte Fahrzeuge.

Liegen Anschlussstellen oder Knoten im Untersuchungsbereich, so wurde der Zu- und Abfluss abgeschätzt und ebenfalls in der Simulation hinterlegt, da dadurch Interaktionen zwischen ab- und zufahrenden Fahrzeugen sowie Fahrzeugen auf der Hauptfahrbahn berücksichtigt werden können und eine realistischere Geschwindigkeitsverteilung abgeleitet werden kann.

4.3.3. Berechnung des CO₂-Ausstoßes

Die Berechnung erfolgte anhand der simulierten Ergebnisse der Einzelfahrzeugdaten aus VISSIM. Dazu wurden die Ergebnisse des Messquerschnitts, der im vorgehenden Kapitel beschrieben wurde, verwendet. Die Ausgabe erfolgt im Textformat. Für jedes simulierte Fahrzeug wird die Nummer des Messquerschnitts, die Einfahrtszeit, die Fahrzeugnummer, der Fahrzeugtyp und die aktuelle Geschwindigkeit ausgegeben. Die Fahrzeuge jeder Kategorie wurden für den Untersuchungszeitraum von 24 Stunden mittels Histogramms in 10 km/h-Schritten zusammengefasst. Dabei wurde der Bereich zwischen 80 km/h und 150 km/h für PKWs und leichte Nutzfahrzeuge, 60 km/h bis 100 km/h für schwere Nutzfahrzeuge und Busse ausgewählt. Alle darunter und darüber liegenden Werte wurden der am nächsten liegenden Klasse zugeordnet.

Die Aufteilung der Fahrzeugklassen zu den einzelnen Messfahrzeugen wurde entsprechend der Tabelle 5 durchgeführt. Mithilfe der Formel wird der CO₂-Ausstoß in g/km be-

rechnet. Als x dient die Eingangsgröße Längsneigung in Prozent. Der CO_2 -Ausstoß für die fehlenden Geschwindigkeitsklassen wurde durch Interpolation der RDE Messdaten berechnet.

Der CO_2 -Ausstoß wurde unter Berücksichtigung der Längsneigung mit der entsprechenden Formel berechnet und mit der Anzahl der Fahrzeuge unter Zuordnung einzelner Geschwindigkeitsklassen multipliziert. Die Summe ergibt den gesamten CO_2 -Ausstoß auf einem 1 km-Abschnitt für den Jahresdurchschnittstag.

Tabelle 10: Berechnung des CO₂-Ausstoßes anhand der durchgeführten RDE Messungen

PKW Kleinwagen Benzin		PKW Mittelklasse Benzin	
80 km/h: $y = 16,182x + 80,5$		80 km/h: $y = 21,132x + 69,5$	
90 km/h: $y = 16,161x + 89,3$		90 km/h: $y = 21,961x + 97,7$	
100 km/h: $y = 16,7x + 100$		100 km/h: $y = 22,9x + 121$	
110 km/h: $y = 16,119x + 113,7$		110 km/h: $y = 23,619x + 138,3$	
120 km/h: $y = 14,4x + 129$		120 km/h: $y = 24,1x + 151$	
130 km/h: $y = 17,2x + 147$		130 km/h: $y = 25,5x + 158$	
140 km/h: $y = 16,056x + 168,0$		140 km/h: $y = 26,106x + 159,0$	
150 km/h: $y = 16,035x + 190,7$		150 km/h: $y = 26,935x + 155,3$	
PKW Mittelklasse Diesel		PKW SUV Diesel	
80 km/h: $y = 24,231x + 78,8$		80 km/h: $y = 31,256x + 129,5$	
90 km/h: $y = 25,164x + 88,9$		90 km/h: $y = 31,313x + 129,7$	
100 km/h: $y = 26,1x + 98,9$		100 km/h: $y = 31,5x + 138$	
110 km/h: $y = 31,427x + 147,3$		110 km/h: $y = 31,427x + 147,3$	
120 km/h: $y = 29,5x + 165$		120 km/h: $y = 31,1x + 165$	
130 km/h: $y = 28,9x + 129$		130 km/h: $y = 31,8x + 188$	
140 km/h: $y = 31,598x + 216,0$		140 km/h: $y = 31,598x + 216,0$	
150 km/h: $y = 31,655x + 250,3$		150 km/h: $y = 31,655x + 250,3$	
LKW N1 hzG < 2500kg		LKW N1 hzG > 2500kg	
80 km/h: $y = 18,569x + 98$		80 km/h: $y = 66,562x + 210,5$	
90 km/h: $y = 18,436x + 113$		90 km/h: $y = 61,926x + 216,7$	
100 km/h: $y = 18,3x + 128$		100 km/h: $y = 56,4x + 229$	
110 km/h: $y = 18,17x + 143$		110 km/h: $y = 52,654x + 246,3$	
120 km/h: $y = 12,5x + 174$		120 km/h: $y = 50,7x + 270$	
130 km/h: $y = 17,9x + 173$		130 km/h: $y = 41,6x + 299$	
140 km/h: $y = 17,771x + 188$		140 km/h: $y = 38,746x + 333,0$	
150 km/h: $y = 17,638x + 203$		150 km/h: $y = 34,11x + 373,3$	
LKW N2 hzG > 12000kg		LKW N2 hzG > 40000kg	
Steigungsstrecken	Gefällestrecken	Steigungsstrecken	Gefällestrecken
60 km/h: $y = 174,7x + 325$	$y = 111,2x + 325$	60 km/h: $y = 630,0x + 533$	$y = 214,4x + 533$
70 km/h: $y = 157,2x + 386$	$y = 118,3x + 386$	70 km/h: $y = 613,1x + 564$	$y = 209,6x + 564$
80 km/h: $y = 168,2x + 436$	$y = 117,9x + 436$	80 km/h: $y = 525,8x + 717$	$y = 276,4x + 717$
90 km/h: $y = 160,2x + 475$	$y = 122,5x + 475$	90 km/h: $y = 485,4x + 992$	$y = 295,5x + 992$
100 km/h: $y = 157,0x + 503$	$y = 125,9x + 503$	100 km/h: $y = 433,3x + 1389$	$y = 326,47x + 1389$
Legende: x: Längsneigung [%]; y: CO ₂ -Ausstoß [g/km] Datengrundlage: Abgeleitete Formeln auf Basis der RDE Messdaten Prof. Pucher <i>Lineare Interpolation bzw. Extrapolation nast consulting</i>			

Quelle: RDE Messdaten Prof. Pucher, Lineare Interpolation bzw. Extrapolation nast consulting

4.3.4. Szenarien

In Absprache mit dem Auftraggeber wurden mehrere Szenarien definiert. Anhand dieser Szenarien soll die Änderung des CO₂-Ausstoßes über den gesamten Streckenabschnitt betrachtet werden.

4.3.4.1. Bestandsituation

Der Bestand dient als Referenzszenario. Es kann als Nullvariante angesehen werden. Dabei werden alle bestehenden Geschwindigkeitsbegrenzungen für die Simulation übernommen. In den ausgewählten Beispielen wurden Strecken ausgewählt, auf denen die erlaubte Höchstgeschwindigkeit bei 100 km/h oder 130 km/h für PKW oder leichte LKW (N1) liegt.

4.3.4.2. Szenario höchstzulässige Geschwindigkeit 110 km/h / 80 km/h

Bei Szenario 110/80 wurde die erlaubte Höchstgeschwindigkeit für PKW und leichte LKW (N1) auf 110 km/h geändert. Für schwere LKWs und Busse (N2 und N3) gibt es hingegen keine Veränderung der erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h.

Diese erlaubte Höchstgeschwindigkeit wurde für den gesamten Streckenabschnitt bzw. Steigungsabschnitte mit großen Längsneigungen angewendet. Im Falle von häufig wechselnden Geschwindigkeitsbegrenzungen wurde für den gesamten Abschnitt 110 km/h erlaubte Höchstgeschwindigkeit für PKW und leichte LKW (N1) angenommen.

4.3.4.3. Szenario höchstzulässige Geschwindigkeit 100 km/h / 70 km/h

Bei dem Szenario 100/70 wurde die erlaubte Höchstgeschwindigkeit für PKW und leichte LKW (N1) auf 100 km/h festgelegt. Für schwere LKW (N2 und N3) und Busse wurde die erlaubte Höchstgeschwindigkeit auf 70 km/h festgelegt.

Diese erlaubte Höchstgeschwindigkeit wurde für den gesamten Streckenabschnitt angewendet. Dieses Szenario dient als Vergleich zum Szenario 110/80 und um die zusätzlichen Auswirkungen einer Geschwindigkeitsreduktion für LKWs zu untersuchen.

4.3.5. Untersuchungsstrecken

Die Simulationen haben untersucht, wie sich der CO₂-Ausstoß durch die verschiedenen Szenarien auswirkt. Das begutachtete Kriterium ist einzig der CO₂-Ausstoß. Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit, andere Luftschadstoffe, Lärmentwicklung und ähnliches wurden explizit nicht berücksichtigt.

4.3.5.1. Wechselnde Geschwindigkeitsbeschränkungen

Bei diesem Untersuchungsfall wurden Strecken untersucht, bei denen es häufige Wechsel der erlaubten Höchstgeschwindigkeit gibt. Auf Grund von Tunneln, Einhausungen, Lärm- oder Umweltschutz wird die erlaubte Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h auf 100 km/h gesenkt. Die Simulationen untersuchten wie sich der CO₂-Ausstoß durch die verschiedenen Szenarien auswirkt. Das einzig begutachtete Kriterium war der CO₂-Ausstoß. Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit, andere Luftschadstoffe, Lärmentwicklung und ähnliches wurden explizit nicht berücksichtigt.

Für diesen Untersuchungsfall wurden folgende Untersuchungsstrecken herangezogen:

- A02 Süd Autobahn km 292-303
- A08 Innkreis Autobahn km 0-11 und
- A09 Pyhrn Autobahn km 0-11

4.3.5.1.1. A02 Süd Autobahn km 292-203

Die Strecke liegt auf der A02 zwischen km 292 und km 303. Auf der Strecke befindet sich die Anschlussstelle Grafenstein und mehrere Unterflurtrassen. Auf dem Streckenabschnitt befinden sich mehrere Wechsel der erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h und 130 km/h, da in den Unterflurtrassen die erlaubte Höchstgeschwindigkeit gesenkt wird. Die Längsneigung liegt zwischen 1 % und -2 %. Der DTV beträgt in beide Fahrtrichtungen jeweils rund 11.500 Fahrzeuge/Tag. Der Schwerverkehrsanteil beträgt rund 14 %.

Abbildung 27: Streckenabschnitt A02 km 292-203

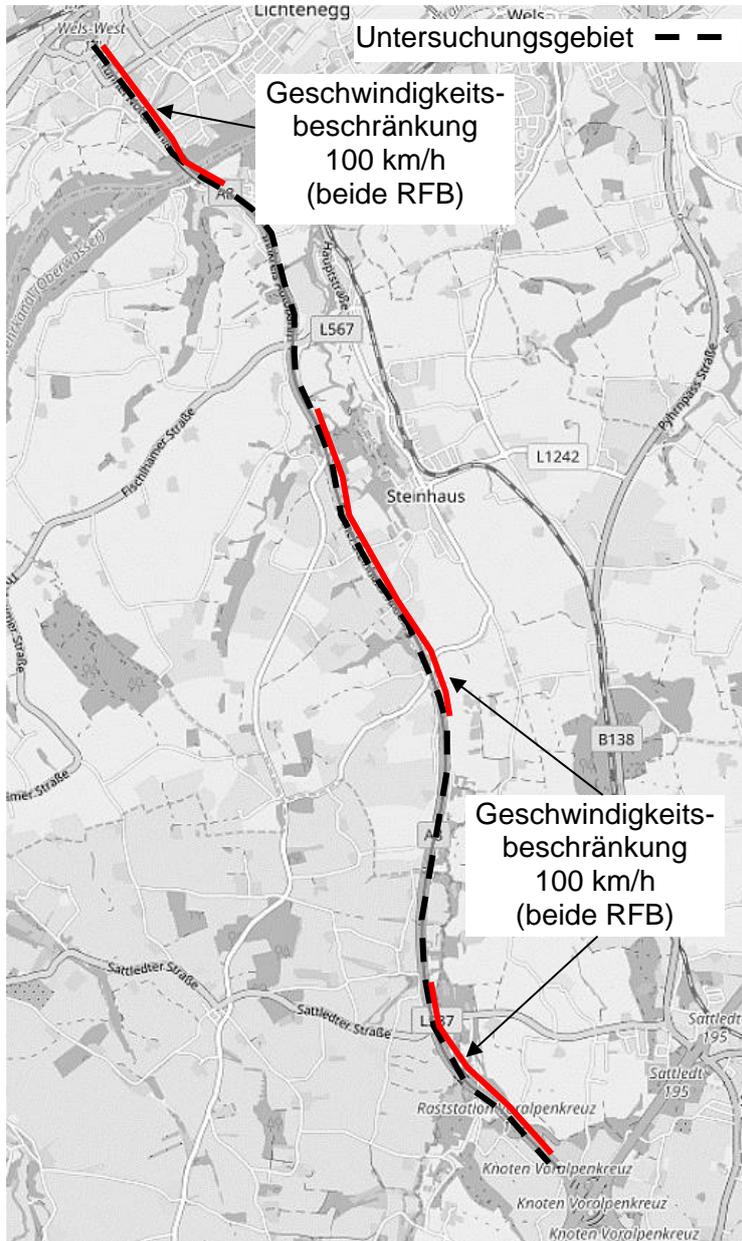


Quelle: openstreetmap

4.3.5.1.2. A08 Innkreis Autobahn km 0-11

Die Strecke liegt auf der A08 zwischen dem Knoten Voralpenkreuz und der Anschlussstelle Wels-West. Auf diesem Streckenabschnitt befinden sich mehrere Einhausungen sowie ein Tunnel unter der Traun. Unmittelbar nach dem Knoten Voralpenkreuz, dem Tunnel Traun und vor der ASt Wels-West gilt eine erlaubte Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h. In den Streckenabschnitten dazwischen gilt eine erlaubte Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h. Die Längsneigung beträgt zwischen 2 % und -2 %. Der DTV beträgt in beiden Fahrtrichtungen je rund 11.500 Fahrzeuge/Tag. Der Schwerverkehrsanteil beträgt zirka 16 %.

Abbildung 28: Streckenabschnitt A08 km 0-11

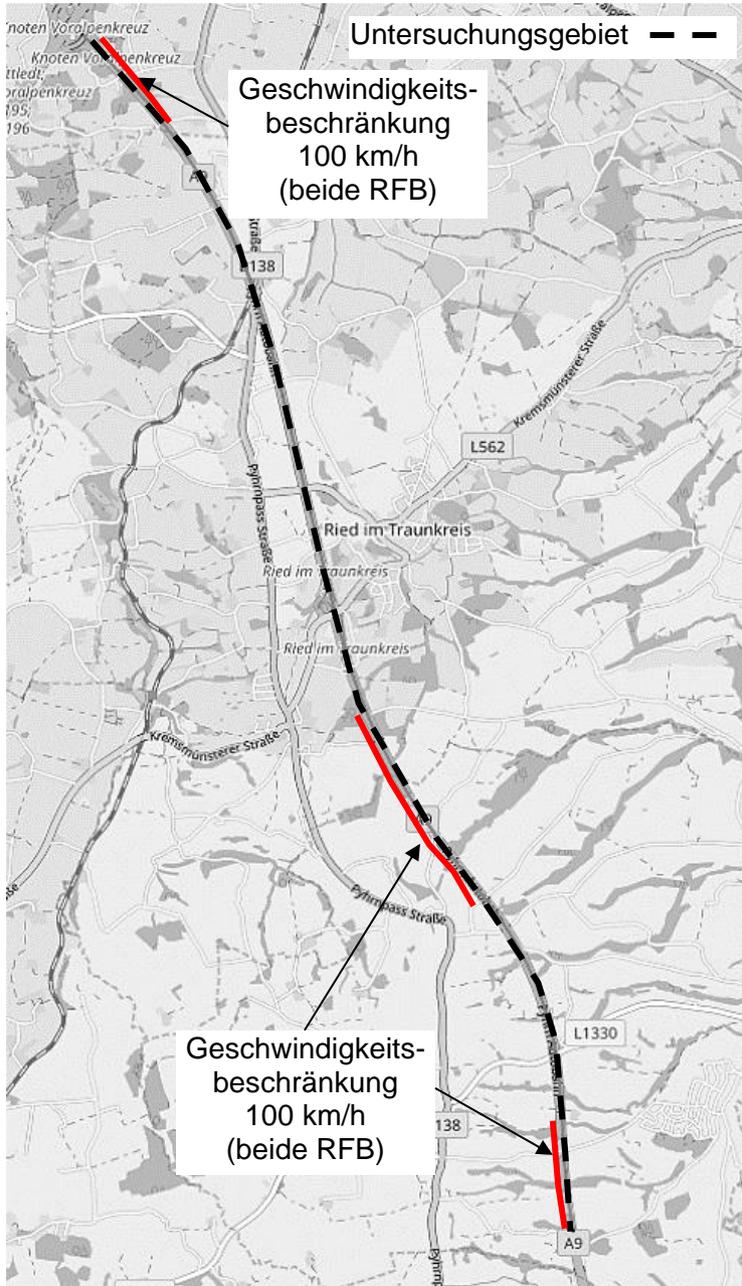


Quelle: openstreetmap

4.3.5.1.3. A09 Pyhrn Autobahn km 0-11

Die Strecke liegt auf der A09 zwischen dem Knoten Voralpenkreuz und km 11. Unmittelbar nach dem Knoten Voralpenkreuz sowie auf dem Streckenbereich ist an einigen Stellen die erlaubte Höchstgeschwindigkeit auf 100 km/h begrenzt. In den restlichen Streckenabschnitten gilt eine erlaubte Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h. Die Längsneigung beträgt zwischen 2 % und -3 %. Der DTV beträgt in beide Fahrtrichtungen je rund 14.400 Fahrzeuge/Tag. Der Schwerverkehrsanteil beträgt zirka 16 %.

Abbildung 29: Streckenabschnitt A09 km 0-11



Quelle: openstreetmap

4.3.5.2. Aufhebung einer Geschwindigkeitsbegrenzung vor großer Längsneigung

Bei diesem Untersuchungsfall wurden Strecken untersucht, bei denen die erlaubte Höchstgeschwindigkeit vor Beginn einer Steigung von 100 km/h auf 130 km/h erhöht wird. In den ausgewählten Fällen wurde die Geschwindigkeitsbeschränkung aufgrund der Verkehrssicherheit verordnet, der sich jeweils vor dem Steigungsabschnitt befindet. Es wird in den Simulationen geprüft, ob und wie stark sich eine Veränderung der erlaubten Höchstgeschwindigkeit bis zum Scheitelpunkt der Steigung auf den CO₂-Ausstoß auswirkt. Auf diesen Untersuchungsstrecken wird lediglich die Fahrtrichtung, auf der die Steigung auftritt untersucht. Die entgegengesetzte Fahrtrichtung wird nicht ausgewertet.

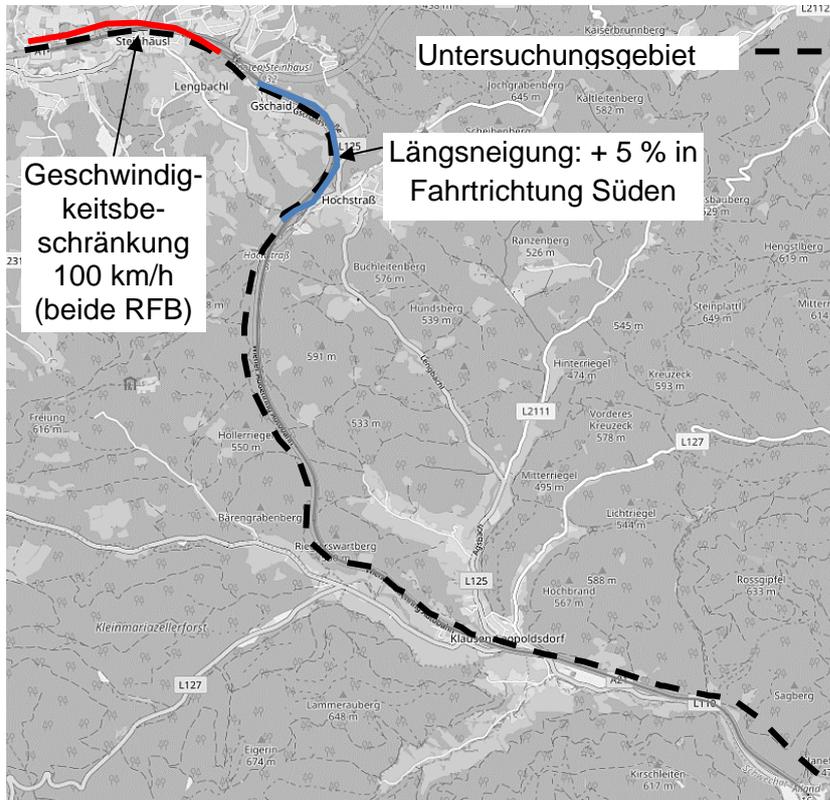
Für diesen Untersuchungsfall wurden folgende Untersuchungsstrecken herangezogen:

- A01 West Autobahn Knoten Steinhäusl/A21 Wiener Außenring Autobahn km 0-15
- A10 Tauern Autobahn km 38-54

4.3.5.2.1. A01 West Autobahn/A21 Wiener Außenring Autobahn Kn Steinhäusl

Die Strecke A01/A21 sticht durch seine Lage hervor. Auf der A01 in Fahrtrichtung Wien beginnt nach dem Knoten Steinhäusl die A21. Vor dem Knoten Steinhäusl ist die erlaubte Höchstgeschwindigkeit auf 100 km/h begrenzt. Nach dem Knoten Steinhäusl wird die erlaubte Höchstgeschwindigkeit auf 130 km/h erhöht. In diesem Bereich beträgt die Längsneigung durchschnittlich 5% in aufsteigender Kilometrierung. Der Scheitelpunkt befindet sich nahe der ASt Hochstraß. Der DTV beträgt auf der A01 zwischen Altlengbach und Knoten Steinhäusl in absteigender Kilometrierung rund 37.000 Fahrzeuge/Tag wobei der Schwerverkehrsanteil zirka 14 % beträgt. Auf der A21 beträgt der DTV auf dem Abschnitt Knoten Steinhäusl bis Alland rund 25.500 Fahrzeuge/Tag. Der Schwerverkehrsanteil beträgt zirka 15,5 %. Die Längsneigungen betragen im Steigungsbereich zwischen 2 % und 5 %. Für den Steigungsbereich von km 0 bis km 3,0 wurden die Szenarien aus dem Kapitel 3.4 simuliert. Im Streckenbereich A21 km 3,0 bis km 17,0 sowie A1 km 33,0 bis km 31,0 wurde der Bestand bei allen Szenarien verwendet.

Abbildung 30: Streckenabschnitt A01/A21 Kn Steinhäusl

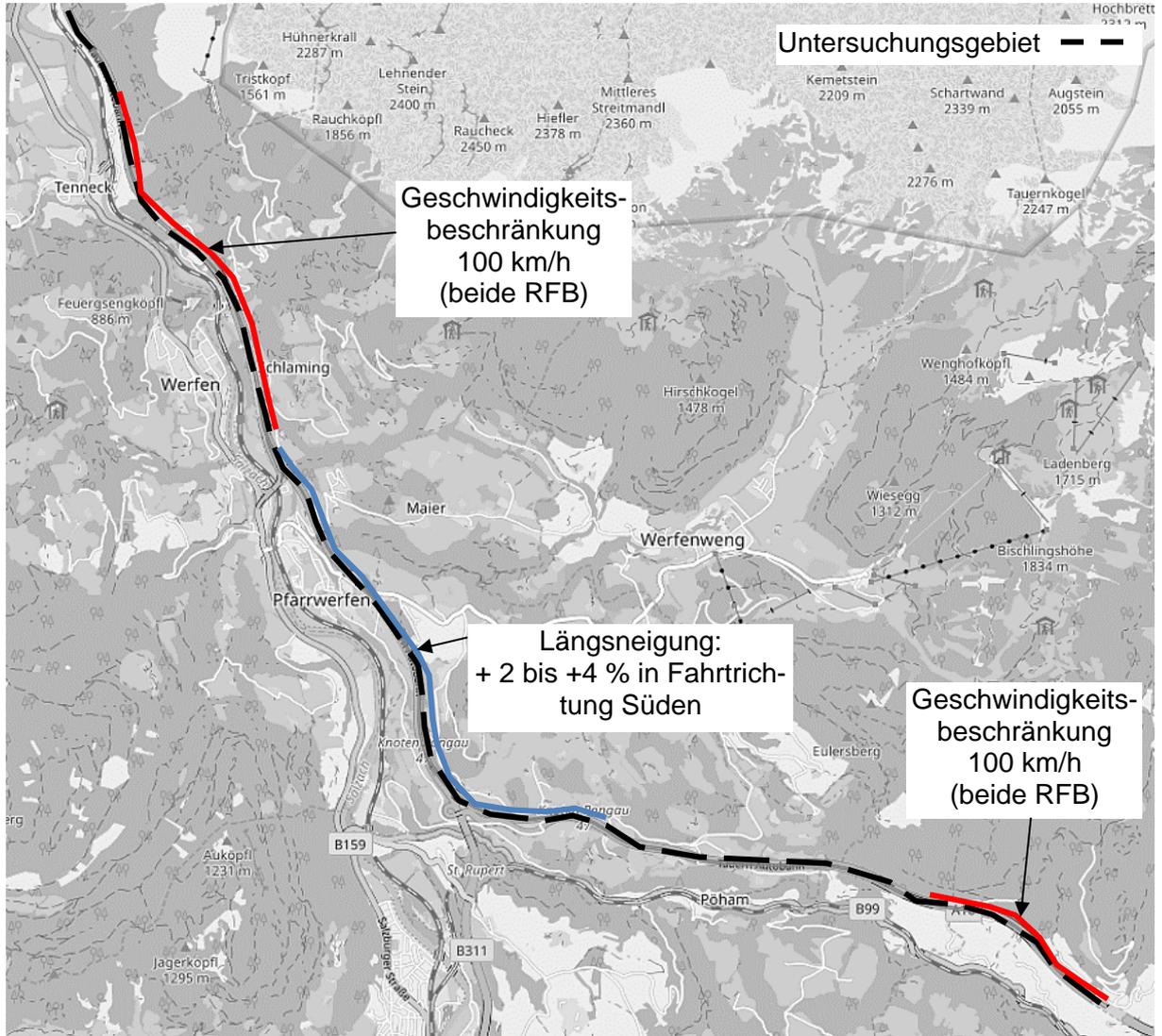


Quelle: openstreetmap

4.3.5.2.2. A10 Tauern Autobahn km 38-54

Die Strecke liegt auf der A10 zwischen km 38 und km 54. Die ASt Werfen/Pfarrwerfen und Pongau befinden sich im Untersuchungsabschnitt. In Fahrtrichtung 1 (Kn Villach) ist die erlaubte Höchstgeschwindigkeit bis zum Knoten Pongau auf 100 km/h begrenzt. Danach beträgt die erlaubte Höchstgeschwindigkeit 130 km/h. In diesem Bereich befindet sich eine Steigungsstrecke mit einer Längsneigung von 2 % bis 4 %. Der DTV beträgt rund 22.500 Fahrzeuge/Tag. Der Schwerververkehrsanteil beträgt zirka 10 %.

Abbildung 31: Streckenabschnitt A10 km 38-54



Quelle: openstreetmap

4.4. Ergebnisse der Simulation

4.4.1. Untersuchungsfall wechselnde Geschwindigkeitsbeschränkungen

4.4.1.1. Szenario 110 km/h / 80 km/h zu Bestand

Bei dem Vergleich zwischen Bestand und Szenario 110/80 wurde getrennt nach PKW, leichte LKW (N1) und schwere LKW (N2 und N3) unterschieden. Bei diesem Szenario wurde die erlaubte Höchstgeschwindigkeit für PKW und leichte LKW (N1) verändert. Die Auswirkung ist vorwiegend bei dieser Gruppe zu sehen. Die erlaubte Höchstgeschwindigkeit für schwere LKW (N2 und N3) blieb unverändert. Die folgende Auswertung zeigt Durchschnittswerte pro Fahrzeug.

Bei Streckenabschnitten, bei den die erlaubte Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h auf 110 km/h gesenkt wurde, kommt es zu einer Reduktion des CO₂-Ausstoßes in der Klasse PKW. Je nach Längsneigung beträgt die Reduktion zwischen 7 und 18 %. Die absolute Reduktion beträgt durchschnittlich zwischen 13 und 17 g/km CO₂ pro Fahrzeug.

Bei Streckenabschnitten, bei denen die erlaubte Höchstgeschwindigkeit für PKW von 100 km/h auf 110 km/h erhöht wurde, kommt es zu einer Steigerung des CO₂-Ausstoßes in der Klasse PKW. Die Streckenabschnitte sind in den Kapiteln 4.3.5.1.1 – 4.3.5.1.3 ausgewiesen. Je nach Längsneigung kommt es zu einer Zunahme des CO₂-Ausstoßes zwischen 4 und 9 %, dies entspricht zwischen 6 und 8 g/km CO₂ pro Fahrzeug. Der absolute CO₂-Ausstoß beträgt im Szenario Bestand durchschnittlich zwischen 73 und 213 g/km CO₂ pro Fahrzeug und im Szenario 110/80 zwischen 60 und 198 g/km CO₂ pro Fahrzeug.

Bei der Klasse leichte LKW (N1) kommt es ebenfalls zu einer Reduktion des CO₂-Ausstoßes auf Strecken, auf denen die erlaubte Höchstgeschwindigkeit von 130 auf 110 km/h gesenkt wurde. Die durchschnittliche prozentuelle Reduktion beträgt zwischen 4 und 25 %. Die durchschnittliche absolute Reduktion beträgt zwischen 22 und 33 g/km CO₂ pro Fahrzeug.

Bei Streckenabschnitten, auf den die erlaubte Höchstgeschwindigkeit erhöht wurde, kommt es zu einer durchschnittlichen prozentualen Zunahme zwischen 3 und 10 %. Die absolute Zunahme beträgt zwischen 6 und 13 g/km CO₂ pro Fahrzeug.

Der absolute CO₂-Ausstoß beträgt durchschnittlich zwischen 318 und 317 g/km CO₂ pro Fahrzeug, im Szenario Bestand und zwischen 95 und 305 g/km CO₂ pro Fahrzeug im Szenario 110/80.

Da es bei der Klasse der schweren LKW (N2 und N3) zu keiner Änderung der erlaubten Höchstgeschwindigkeit gekommen ist, ändert sich der CO₂-Ausstoß nicht signifikant.

Tabelle 11: Übersicht Einsparungspotenzial Szenario 110/80 zu Bestand

Geschwindigkeit alt	Geschwindigkeit neu	Reduktion CO ₂ -Emission auf 1km-Abschnitten		CO ₂ -Emission alt [g/km/Fz]	CO ₂ -Emission neu [g/km/Fz]
		[%]	[g/km/Fz]		
130 PKW	110 PKW	7 – 18	13 – 17	73 – 214	60 – 198
130 leichte LKW (N1)	110 leichte LKW (N1)	4 – 25	22 – 33	128 – 318	95 – 305

Quelle: eigene Simulationen; Datengrundlage CO₂-Emissionen: Prof. Pucher

Tabelle 12: Übersicht Zunahme Szenario 110/80 zu Bestand

Geschwindigkeit alt	Geschwindigkeit neu	Zunahme CO ₂ -Emission auf 1km-Abschnitten		CO ₂ -Emission alt [g/km/Fz]	CO ₂ -Emission neu [g/km/Fz]
		[%]	[g/km/Fz]		
100 PKW	110 PKW	4 – 9	6 – 8	52 – 191	60 – 198
100 leichte LKW (N1)	110 leichte LKW (N1)	3 – 10	6 – 13	83 – 299	95 – 305

Quelle: eigene Simulationen; Datengrundlage CO₂-Emissionen: Prof. Pucher

Die streckenbezogenen CO₂-Emissionen für die Klassen PKW und leichte LKW variieren je nach Anteil der Streckenabschnitte mit Geschwindigkeitsbegrenzung 100 und 130 km/h. Auf der A02 kommt auf der Richtungsfahrbahn 1 zu einer durchschnittlichen Einsparung in der Klasse PKW von 5 % bzw. 76 g und auf der Richtungsfahrbahn 2 zu einer durchschnittlichen Einsparung von 4 % bzw. 53 g CO₂ pro Fahrzeug. Auf der A08 wird zwischen Bestand und Szenario 110/80 pro PKW in Richtungsfahrbahn 1 unter 1 % bzw. 10 g CO₂ pro Fahrzeug weniger emittiert und in Richtungsfahrbahn 2 unter 1 % bzw. 8 g pro Fahrzeug mehr CO₂ auf Basis des Messfahrzeugs emittiert.

Auf der A09 km 0-11 ergibt sich durch das Szenario 110/80 eine Reduktion der CO₂-Emissionen. Auf Richtungsfahrbahn 1 beträgt die Reduktion 5 % bzw. 74 g und auf Richtungsfahrbahn 2 beträgt die Reduktion 7 % bzw. 94 g CO₂ pro Fahrzeug.

Bei der Fahrzeugklasse der leichten LKW (N1) beträgt die Einsparung auf der Strecke A02 auf der Richtungsfahrbahn 1 rund 6 % bzw. 139 g und auf der Richtungsfahrbahn 2 rund 4 % bzw. 86 g CO₂ pro Fahrzeug. Auf der Strecke A08 beträgt die Einsparung auf der Richtungsfahrbahn 1 rund 1 % bzw. 30 g und auf der Richtungsfahrbahn 2 zu einer geringfügigen Steigerung um unter 1 % bzw. 7 g CO₂ pro Fahrzeug mit dem Messfahrzeug. Auf der Strecke A09 kommt es zwischen den beiden Szenarien ebenfalls zu einer Einsparung von CO₂.

Auf der Richtungsfahrbahn 1 kommt es zu einer Reduktion von 5 % bzw. 116 g und auf der Richtungsfahrbahn 2 zu 8 % bzw. 168 g Einsparung CO₂ pro Fahrzeug. Auf der gesamten untersuchten Strecke der A02 beträgt der CO₂-Ausstoß in beiden Fahrtrichtungen 67,1 t CO₂ in der Bestandsvariante und 65,5 t CO₂ in dem Szenario 110/80. Durch das Szenario kann somit eine Reduktion von 1,6 t CO₂ erreicht werden.

Auf der gesamten Strecke A08 beträgt der CO₂-Ausstoß in beiden Fahrtrichtungen 66,1 t CO₂ in der Bestandsvariante und ebenfalls 66,1 t CO₂ in dem Szenario 110/80.

Auf der gesamten Strecke A09 beträgt der CO₂-Ausstoß in beiden Fahrtrichtungen 80,9 t CO₂ in der Bestandsvariante und 78,8 t CO₂ in dem Szenario 110/80. Durch das Szenario kann eine Reduktion von 1,1 t CO₂ erreicht werden.

Da es bei schweren LKW zu keiner Änderung der erlaubten Höchstgeschwindigkeit gekommen ist, sind die CO₂-Einsparung sehr gering.

Tabelle 13: Auswirkung Szenario 110/80 zu Bestand auf Streckenabschnitt

Strecke	RFB	durchschnittliche Reduktion der CO ₂ -Emission [%; g/Fz]			
		PKW	N1	N2	N3
A02 km 292-303	1	5 %; 76 g/Fz	6 %; 139 g/Fz	-	-
A02 km 292-303	2	4 %; 53 g/Fz	4 %; 86 g/Fz	-	-
A08 km 0-11	1	0 %; 10 g/Fz	1 %; 30 g/Fz	-	-
A08 km 0-11	2	*	**	-	-
A09 km 0-11	1	5 %; 74 g/Fz	5 %; 116 g/Fz	-	-
A09 km 0-11	2	7 %; 94 g/Fz	8 %; 168 g/Fz	-	-

* Zunahme: 0 %; 8 g/Fz

** Zunahme: 0 %; 7 g/Fz*

Quelle: eigene Simulationen; Datengrundlage CO₂-Emissionen: Prof. Pucher

4.4.1.2. Szenario 100 km/h / 70 km/h zu Bestand

Bei dem Vergleich zwischen Bestand und Szenario 100/70 wurde getrennt nach PKW, leichte LKW (Klasse N1) und schwere LKW (N2 und N3) unterschieden. Bei diesem Szenario wurde die erlaubte Höchstgeschwindigkeit für PKW und leichte LKW von der bestehenden Geschwindigkeitsbegrenzung auf 100 km/h gesenkt und die erlaubte Höchstgeschwindigkeit für schwere LKW auf 70 km/h gesenkt. Die Auswirkung ist vorwiegend bei der letzten Gruppe zu sehen. Die folgende Auswertung erfolgte als Durchschnittswert pro Fahrzeug.

Im gesamten Streckenabschnitt der in den Kapiteln 4.3.5.1.1 – 4.3.5.1.3 vorgestellten Untersuchungsstrecken wurde die erlaubte Höchstgeschwindigkeit für PKW und leichte LKW auf 100 km/h gesenkt. Es kommt daher zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen auf Streckenabschnitten, auf denen im Bestand die erlaubte Höchstgeschwindigkeit 130 km/h beträgt. In Abhängigkeit von der Längsneigung beträgt die durchschnittliche prozentuelle Reduktion bei PKW 12 bis 29 % CO₂ pro Fahrzeug. Die durchschnittliche absolute Reduktion beträgt 20 bis 24 g CO₂ pro Fahrzeug. Da im Bestand der Untersuchungsstrecken bereits Abschnitte mit Geschwindigkeitsbegrenzung 100 km/h existieren, kommt es zu keiner signifikanten Reduktion auf diesen Abschnitten. Die Abschnitte sind im Kapitel 4.3.5.1 vorgestellt.

Ebenfalls bei leichten LKW (N1) ist eine Reduktion der CO₂-Emissionen zwischen Bestand und Szenario 100/70 ersichtlich. Die Reduktion beträgt 6 bis 38 % pro Fahrzeug. Die absolute Abnahme beträgt 20 bis 46 g pro Fahrzeug.

Bei schweren LKW wird zwischen der Klasse N2 und N3 unterschieden. In der Klasse N2 beträgt die Reduktion zwischen 1 und 25 % CO₂ pro Fahrzeug. Die absolute Abnahme beträgt 7 bis 24 g pro Fahrzeug. In der Klasse N3 beträgt die Reduktion bis zu 65 %. Die absolute Abnahme beträgt bis 173 g CO₂. Bei großen Längsneigungen (> 3 %) wird in der Klasse N3 bei niedriger Geschwindigkeit im Szenario mit dem Testfahrzeug mehr CO₂ emittiert. In diesem Fall konnte eine geringfügige CO₂-Zunahme von 0,1 % verzeichnet werden. Bei großer Längsneigung beträgt die Zunahme bis zu 4 g CO₂ pro Fahrzeug.

Tabelle 14: Übersicht Einsparungspotenzial Szenario 100/70 zu Bestand

Geschwindigkeit alt	Geschwindigkeit neu	Reduktion CO ₂ -Emission auf 1km-Abschnitten		CO ₂ -Emission alt [g/km/Fz]	CO ₂ -Emission neu [g/km/Fz]
		[%]	[g/km/Fz]		
130 PKW	100 PKW	12 – 19	20 – 24	73 – 213	52 – 191
130 leichte LKW (N1)	100 leichte LKW (N1)	6 – 38	20 – 46	128 – 318	82 – 298
80 schwere LKW (N2)	70 schwere LKW(N2)	1 – 25	7 – 24	94 – 925	71 - 917
80 schwere LKW (N3)	70 schwere LKW(N3)	0 – 65*	0 – 173*	96 – 2368	37 – 2964

* Zunahme bei Längsneigung 3 % (0,1 %; 4 g/Fz)

Quelle: eigene Simulationen; Datengrundlage CO₂-Emissionen: Prof. Pucher

Die streckenbezogenen CO₂-Emissionen variieren je nach Anzahl der Streckenbereiche mit Höchstgeschwindigkeit 100 km/h sowie der Längsneigung.

Auf der A02 km 292-303 kommt es auf der Richtungsfahrbahn 1 zu einer Einsparung von 11 % bzw. 159 g bei PKW, 11 % bzw. 245 g bei leichten LKW (N1), 4 % bzw. 208 g bei schweren LKW (N2) und 16 % bzw. 1616 g bei schweren LKW (N3) CO₂ pro Fahrzeug. Auf der Richtungsfahrbahn 2 beträgt die Einsparung 9 % bzw. 136 g bei PKW, 8 % bzw. 190 g bei leichten LKW (N1), 4 % bzw. 188 g bei schweren LKW (N2) und 16 % bzw. 1635 g bei schweren LKW (N3) CO₂ pro Fahrzeug. Auf der gesamten Strecke beträgt der CO₂-Ausstoß in beiden Fahrtrichtungen 67,1 t CO₂ in der Bestandsvariante und 59 t CO₂ in dem Szenario 110/80. Durch das Szenario kann eine Reduktion von 8,1 t CO₂ erreicht werden.

Auf der A08 km 0-11 kommt es auf der Richtungsfahrbahn 1 zu einer Einsparung von 6 % bzw. 94 g bei PKW, 6 % bzw. 132 g bei leichten LKW (N1), 3 % bzw. 189 g bei schweren LKW (N2) und 8 % bzw. 1033 g bei schweren LKW (N3) CO₂ pro Fahrzeug. Auf der Richtungsfahrbahn 2 beträgt die Einsparung 5 % bzw. 70 g bei PKW, 5 % bzw. 100 g bei leichten LKW (N1), 4 % bzw. 186 g bei schweren LKW (N2) und 12 % bzw. 1226 g bei schweren LKW (N3) CO₂ pro Fahrzeug. Auf der gesamten Strecke beträgt der CO₂-Ausstoß in beiden Fahrtrichtungen 66,4 t CO₂ in der Bestandsvariante und 61,2 t CO₂ in dem Szenario 110/80. Durch das Szenario kann eine Reduktion von 5,2 t CO₂ erreicht werden.

Auf der A09 km 0-11 kommt es auf der Richtungsfahrbahn 1 zu einer Einsparung von 10 % bzw. 159 g bei PKW, 9 % bzw. 217 g bei leichten LKW (N1), 5 % bzw. 264 g bei schweren LKW (N2) und 8 % bzw. 1083 g bei schweren LKW (N3) CO₂ pro Fahrzeug. Auf der Richtungsfahrbahn 2 beträgt die Einsparung 12 % bzw. 180 g bei PKW, 12 % bzw. 276 g bei leichten LKW (N1), 55 % bzw. 192 g bei schweren LKW (N2) und 12 % bzw. 1226 g bei schweren LKW (N3) CO₂ pro Fahrzeug.

Auf der gesamten Strecke beträgt der CO₂-Ausstoß in beiden Fahrtrichtungen 80,9 t CO₂ in der Bestandsvariante und 72,6 t CO₂ in dem Szenario 110/80. Durch das Szenario kann eine Reduktion von 8,3 t CO₂ erreicht werden.

Tabelle 15: Auswirkung Szenario 100/70 zu Bestand auf Streckenabschnitt

Strecke	RFB	durchschnittliche Reduktion der CO ₂ -Emission [%; g/Fz]			
		PKW	LKW N1	LKW N2	LKW N3
A02 km 292-303	1	11 %; 159 g/Fz	11 %; 245 g/Fz	4 %; 208 g/Fz	16 %; 1616 g/Fz
A02 km 292-303	2	9 %; 136 g/Fz	8 %; 190 g/Fz	4 %; 188 g/Fz	16 %; 1635 g/Fz
A08 km 0-11	1	6 %; 94 g/Fz	6 %; 132 g/Fz	3 %; 189 g/Fz	8 %; 1033 g/Fz
A08 km 0-11	2	5 %; 70 g/Fz	5 %; 100 g/Fz	4 %; 186 g/Fz	12 %; 1226 g/Fz
A09 km 0-11	1	10 %; 159 g/Fz	9 %; 217 g/Fz	5 %; 264 g/Fz	8 %; 1083 g/Fz
A09 km 0-11	2	12 %; 180 g/Fz	12 %; 276 g/Fz	4 %; 192 g/Fz	12 %; 1229 g/Fz

Quelle: eigene Simulationen; Datengrundlage CO₂-Emissionen: Prof. Pucher

4.4.1.3. Zusammenfassung der Ergebnisse

Zusammenfassend lässt sich zeigen, dass eine CO₂-Reduktion durch Harmonisierung vom Anteil der Strecken mit unterschiedlicher Geschwindigkeitsbegrenzung abhängt. Je größer der Anteil der Strecken mit erlaubter Höchstgeschwindigkeit 130 km/h ist, desto höher ist auch das Reduktionspotenzial. Auf den untersuchten Strecken konnte eine Re-

duktion bis zu 7 % für den Streckenabschnitt im Szenario 110 im Vergleich zum Bestand errechnet werden. Da der Schwerverkehr nur bei Szenario 100/70 Einfluss auf die CO₂-Reduktion hat, hängt insbesondere bei Szenario 110/80 das Reduktionspotenzial vom Schwerverkehrsanteil ab. Je höher der Schwerverkehrsanteil, desto geringer wirken sich Reduktionen von PKW und leichten LKW auf den Gesamtausstoß von CO₂ aus. Bei Längsneigungen von >3 % zeigt sich, dass im Bestand mit erlaubter Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h die CO₂-Emissionen von schweren LKW (N3) mit dem Versuchsfahrzeug geringer sind, als bei erlaubter Höchstgeschwindigkeit 70 km/h.

4.4.2. Untersuchungsfall Aufhebung einer Geschwindigkeitsbegrenzung vor großer Längsneigung

4.4.2.1. Szenario 110 km/h / 80 km/h zu Bestand

Bei dem Vergleich zwischen Bestand und Szenario 110/80 wurde getrennt nach PKW, leichte LKW (N1) und schwere LKW (N2 und N3) unterschieden. Bei diesem Szenario wurde die erlaubte Höchstgeschwindigkeit für PKW und leichte LKW (N1) verändert und die erlaubte Höchstgeschwindigkeit für schwere LKW (N2 und N3) blieb unverändert. Die Auswirkung ist vorwiegend bei dieser Gruppe zu sehen. Die folgende Auswertung erfolgte als Durchschnittswert pro Fahrzeug. Es wurde in diesen Szenarien nur die Fahrtrichtung untersucht, auf der die Steigung auftritt.

Bei Streckenabschnitten mit großen Längsneigungen ist es im Szenario 110/80 zu einer Verringerung der Geschwindigkeit in der Simulation von 130 km/h auf 110 km/h gekommen. Auf der Strecke A10 km 38-54 wurde die Geschwindigkeit in der Einhausung ebenfalls auf 110 km/h erhöht.

Im Steigungsabschnitt der Untersuchungsstrecken laut den Kapiteln 4.3.5.2.1 – 4.3.5.2.2 beträgt die Längsneigung zwischen 2 und 5 %. In Abhängigkeit zur Längsneigung reduzieren sich die durchschnittlichen CO₂-Emissionen im Steigungsbereich zwischen 4 und 7 % pro PKW. Die absolute Reduktion beträgt 10 bis 15 g/km CO₂ pro Fahrzeug.

Bei leichten LKW (N1) ist zwischen den Szenarien ebenfalls eine Reduktion der CO₂-Emissionen registriert worden. Die durchschnittliche Reduktion pro Fahrzeug beträgt 2 bis 4 %. Die absolute Reduktion beträgt 5 bis 15 g/km CO₂ pro Fahrzeug.

Tabelle 16: Übersicht Einsparungspotenzial Szenario 110/80 zu Bestand im Steigungsreich

Geschwindigkeit alt	Geschwindigkeit neu	Reduktion CO ₂ -Emission auf 1km-Abschnitten		CO ₂ -Emission alt [g/km/Fz]	CO ₂ -Emission neu [g/km/Fz]
		[%]	[g/km/Fz]		
130 PKW	110 PKW	4 – 7	10 – 15	183 – 255	170 – 245
130 leichte LKW (N1)	110 leichte LKW (N1)	2 – 4	5 – 15	281 – 380	266 – 245

Quelle: eigene Simulationen; Datengrundlage CO₂-Emissionen: Prof. Pucher

Die streckenbezogenen CO₂-Emissionen variieren je nach Längsneigung. Es wurden 2 Strecken simuliert. Die A10 km 38-54 weist nach dem Kn Pongau eine etwa 6 km lange Steigungsstrecke mit 2 bis 4 % Längsneigung auf.

Die A21 weist ebenfalls nach dem Kn Steinhäusl eine Steigungsstrecke mit 5 % Längsneigung auf. Die Reduktion wurde in diesem Fall nur für die Richtungsfahrbahn 1 berechnet. Auf dem Streckenabschnitt A01/A21 beträgt die durchschnittliche Reduktion der CO₂-Emissionen von PKW 2 % bzw. 53 g pro Fahrzeug. Auf der A10 wurde eine Reduktion von 2 % bzw. 49 g pro Fahrzeug berechnet.

Es wurde ebenfalls eine Reduktion der CO₂-Emissionen bei leichten LKW (N1) verzeichnet. Die Reduktion beträgt 1 % bzw. 29 g CO₂ pro Fahrzeug auf der A01/A21 und 1 % bzw. 39 g pro Fahrzeug auf der A10.

Tabelle 17: Auswirkung Szenario 110/80 zu Bestand auf Streckenabschnitt

Strecke	RFB	durchschnittliche Reduktion der CO ₂ -Emission [%; g/Fz]			
		PKW	N1	N2	N3
A01/A21	1	2 %; 53 g/Fz	1 %; 29 g/Fz	-	-
A10 km 38 -53	1	2 %; 49 g/Fz	1 %; 39 g/Fz	-	-

Quelle: eigene Simulationen; Datengrundlage CO₂-Emissionen: Prof. Pucher

4.4.2.2. Szenario 100 km/h / 70 km/h zu Bestand

Bei dem Vergleich zwischen Bestand und Szenario 100/70 wurde getrennt nach PKW, leichte LKW (N1) und schwere LKW (N2 und N3) unterschieden. Bei diesem Szenario wurde die erlaubte Höchstgeschwindigkeit für PKW und leichte LKW von der bestehenden Geschwindigkeitsbegrenzung auf 100 km/h gesenkt und die erlaubte Höchstgeschwindigkeit für schwere LKW auf 70 km/h gesenkt. Die Auswirkung ist vorwiegend bei dieser Gruppe zu sehen. Die folgende Auswertung erfolgte als Durchschnittswert pro Fahrzeug.

Im gesamten Steigungsbereich laut den Kapiteln 4.3.5.2.1 – 4.3.5.2.2 wurde die erlaubte Höchstgeschwindigkeit für PKW und leichte LKW auf 100 km/h gesenkt. Es kommt daher zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen für PKW auf Steigungsbereichen. In Abhängigkeit von der Längsneigung beträgt die durchschnittliche prozentuelle Reduktion 6 bis 11 %. Die durchschnittliche absolute Reduktion beträgt 10 bis 14 g CO₂ pro Fahrzeug.

Bei der Simulation zeigt sich ebenfalls eine durchschnittliche Reduktion der CO₂-Emissionen bei leichten LKW (N1) im Steigungsbereich. Es kommt zu einer durchschnittlichen Reduktion von 2 bis 8 % pro Fahrzeug. Die absolute Reduktion beträgt durchschnittlich 7 bis 21 g CO₂ pro Fahrzeug.

Die erlaubte Höchstgeschwindigkeit wurde für schwere LKW von 80 auf 70 km/h gesenkt. Die Reduktion der CO₂-Emissionen beträgt bei der Klasse N2 zwischen 0 und 3 % im Steigungsbereich. Die absolute Reduktion beträgt zwischen 3 und 21g CO₂ pro Fahrzeug.

Bei der Klasse N3 zeigt sich eine Reduktion im Steigungsbereich um bis zu 2 % CO₂ pro Fahrzeug. Die absolute Reduktion beträgt bis zu 173 g pro Fahrzeug. Bei hohen Längsneigungen kommt es jedoch zu einer Zunahme der CO₂-Emissionen von bis zu 1 %. Die absolute Zunahme beträgt bis zu 43 g pro Fahrzeug.

Tabelle 18: Übersicht Einsparungspotenzial Szenario 100/70 zu Bestand im Steigungsreich

Geschwindigkeit alt	Geschwindigkeit neu	Reduktion CO ₂ -Emission auf 1km-Abschnitten		CO ₂ -Emission alt [g/km/Fz]	CO ₂ -Emission neu [g/km/Fz]
		[%]	[g/km/Fz]		
130 PKW	100 PKW	6 – 11	10 – 14	184 – 255	163 – 241
130 leichte LKW (N1)	100 leichte LKW (N1)	2 – 8	7 – 21	281 – 380	260 – 373
80 schwere LKW (N2)	70 schwere LKW(N2)	0 – 3	3 – 21	749 – 1227	729 – 1225
80 schwere LKW (N3)	70 schwere LKW(N3)	0 – 2*	0 – 36*	1847 – 3586	1811 – 3609

* Teilweise Zunahme: bis zu 1 %; 43 g/km/Fz

Quelle: eigene Simulationen; Datengrundlage CO₂-Emissionen: Prof. Pucher

Auf der Strecke A01/A21 wurde auf Basis der Berechnungen der verwendeten Testfahrzeuge auf dem Streckenabschnitt eine durchschnittliche Reduktion von 4 % bzw. 88 g pro

Fahrzeug für PKW, 1 % bzw. 53 g pro Fahrzeug für leichte LKW, unter 1 % bzw. 40 g pro Fahrzeug für schwere LKW (N2) und eine Zunahme von 0,3 % bzw. 75 g pro Fahrzeug für schwere LKW (N3) CO₂ berechnet.

Auf der Strecke A10 wurde auf dem Streckenabschnitt eine durchschnittliche Reduktion von 4 % bzw. 122 g pro Fahrzeug für PKW, 2 % bzw. 103 g pro Fahrzeug für leichte LKW, 2 % bzw. 103 g pro Fahrzeug für schwere LKW (N2) und 2 % bzw. 560 g pro Fahrzeug für schwere LKW (N3) CO₂ berechnet.

Tabelle 19: Auswirkung Szenario 100/70 zu Bestand auf Streckenabschnitt

Strecke	RFB	durchschnittliche <u>Reduktion</u> der CO ₂ -Emission [%; g/Fz]			
		PKW	N1	N2	N3
A01/A21	1	4 %; 88 g/Fz	1 %; 53 g/Fz	0 %; 40 g/Fz	*
A10 km 38 -53	1	4 %; 122 g/Fz	2 %; 103 g/Fz	2 %; 209 g/Fz	2 %; 560 g/Fz

* Zunahme 0,3 %; 75 g/Fz

Quelle: eigene Simulationen; Datengrundlage CO₂-Emissionen: Prof. Pucher

4.4.2.3. Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Reduktion der Geschwindigkeit im Steigungsbereich der untersuchten Streckenabschnitte zeigt eine Reduktion der CO₂-Emissionen bei PKW und leichten LKW (N1). Die durchschnittlichen Einsparungen betragen zwischen 2 und 38 %. Bei hohen Längsneigungen zeigt sich, dass im Bestand mit erlaubter Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h die CO₂-Emissionen von schweren LKW (N3) mit dem Versuchsfahrzeug geringer sind, als bei erlaubter Höchstgeschwindigkeit 70 km/h. Dies ist bei der Simulation auf der Strecke A01/A12 Kn Steinhäusl feststellbar. Die Zunahme ist bereits aus den Formeln zur Berechnung der CO₂-Emissionen ersichtlich. Die Reduktion des gesamten Streckenbereichs beträgt 4 % bzw. 88 g auf der A01/A21 und 4 % bzw. 122 g auf der A10 bei PKWs. Bei der Klasse N2 beträgt die Reduktion unter 1 % bzw. 40 g und 2 % bzw. 209 g CO₂. Ein differenziertes Bild zeigt sich bei der Klasse N3. Auf der A01/A21 kommt es aufgrund der starken Längsneigung zu einer Zunahme von 0,3 % bzw. 75 g CO₂ durch die Reduktion der erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h auf 70 km/h im Steigungsbereich für das verwendete Testfahrzeug.

4.5. Umlegung auf Teilabschnitte des österreichischen Autobahnnetzes

Anhand der Simulationsergebnisse wurden die CO₂-Emissionen nach Längsneigung und erlaubter Höchstgeschwindigkeit auf jene Abschnitte des österreichischen Autobahnnetzes übertragen, für die entsprechende Datengrundlagen vorhanden sind. Daraus ergeben sich durchschnittliche CO₂-Emissionswerte in Gramm pro Fahrzeugkilometer. Mithilfe dieser Daten kann der CO₂-Ausstoß im Autobahnnetz ansatzweise grob abgeschätzt werden. Von jedem Autobahnkilometer, von dem Längsneigung und Verkehrsstärke bekannt ist, kann ein generalisierter und indikativer CO₂-Ausstoß ermittelt werden. Streckenabschnitte, auf dem die erlaubte Höchstgeschwindigkeit weniger als 100 km/h beträgt, wurden nicht betrachtet, da hierzu keine gesicherten Messdaten vorliegen. Die Teststrecke Tempo 140 km/h wurde ebenfalls aus der Auswertung ausgenommen. Außerdem wurden Streckenabschnitte mit einer Längsneigung von $\pm 6\%$ ausgenommen. Dies betrifft einen Streckenabschnitt auf der A13.

Eine Berechnung erfolgte anhand der Verkehrsstärke und der Längsneigung. Rampen wurden nicht in die Berechnung miteingezogen. Die Berechnung erfolgte anhand der Zähldaten 2018. Wenn keine Zähldaten zur Verfügung standen, wurde Verkehrsstärken benachbarter Zählstellen als Grundlage für die Interpolation herangezogen.

Tabelle 20: Übersicht Auswertung Autobahnen

Strecke	CO ₂ -Emissionen [kt/a]	Besonderheit	Streckenabschnitt [km]		
			gesamt	RFB1 ausgewertet	RFB2 ausgewertet
A01	1.173,7	Ohne Teststrecke Tempo 140	302	79%	79%
A02	1.312,5	Ohne Tempo 80 Bereich	381	99%	99%
A03	91,7		38	100%	100%
A04	309,4	Ohne Tempo 80 Bereich	66	91%	92%
A05	-	Keine Zählzeiten	58	0%	0%
A06	39,9		22	100%	100%
A07	53,2	Ohne Tempo 80 Bereich	27	59%	63%
A08	348	Ohne Tempo 60 Bereich	77	97%	97%
A09	595,1	Ohne Tempo 80 Bereich	231	92%	91%
A10	542,6	Ohne Bereich Längsneigung -5 %	184	100%	98%
A11	18,9	Ohne Tempo 80 Bereich	22	68%	68%
A12	546,2		145	100%	100%
A13	135,8	Ohne Tempo 80 Bereich; ohne Bereich Längsneigung +/- 6 %	35	83%	63%
A14	181,2	Ohne Tempo 80 Bereich	62	98%	98%
A21	180,9	Ohne Tempo 80 Bereich	39	79%	69%
A22	88,7	Ohne Tempo 80 Bereich	30	67%	63%
A23	-	Ohne Tempo 80 Bereich	17	0%	0%
A25	100,6		20	100%	100%
Summe	5.718,4		1.756	88%	87%

Quelle: eigene Berechnung

Für Schnellstraßen konnten aufgrund der fehlenden Datengrundlagen keine Berechnungen durchgeführt werden.

In Summe wurden von 1.756 km Autobahnabschnitten in Fahrtrichtung 1 rund 1.545 km und in Fahrtrichtung 2 rund 1.532 km ausgewertet. Auf diesen Abschnitten wurde auf Basis der getroffenen Annahmen und Datengrundlagen für das Verkehrsaufkommen 2018 eine CO₂-Emission von 5.718,4 kt errechnet.

4.6. Conclusio und Zusammenfassung

Die Technische Universität Wien – Institut für Fahrzeugantriebe und Automobiltechnik hat anhand von Fahrversuchen die CO₂-Emissionen für verschiedene Fahrzeuge gemessen. Anhand dieser Daten wurden entsprechend den Vorgaben des Auftraggebers für fünf Untersuchungsstrecken Mikrosimulationen mit dem Programm VISSIM von PTV AG durchgeführt. Weiters wurden für Abschnitte mit verfügbaren Eingangsdaten Berechnungen des CO₂ Ausstoßes der Fahrzeuge für den Jahresdurchschnittlichen täglichen Verkehr (JDTV) durchgeführt.

Aufgrund fehlender Datengrundlagen zur realen Geschwindigkeitsverteilung bei unterschiedlichen höchstzulässigen Geschwindigkeiten wurden für die vorliegende Untersuchung vereinfachte theoretische Annahmen zugrunde gelegt. Die Vereinfachungen werden bei der Beschreibung der Basisdaten und Eingangsgrößen ersichtlich und umfassen im Wesentlichen folgende Parameter:

- **Wunschgeschwindigkeit:** Als Grundlage für die Szenarienbetrachtung wurden aufgrund fehlender Datenverfügbarkeit zur realen Geschwindigkeitsverteilung bei unterschiedlichen höchstzulässigen Geschwindigkeiten theoretische Wunschgeschwindigkeitsverteilungen angesetzt. Die reale Wunschgeschwindigkeit hängt nicht nur von der höchstzulässigen Geschwindigkeit ab, sondern beispielsweise auch von der Geometrie der Strecke, der optischen Führung und der Überwachung durch die Exekutive. Derzeit existieren in Österreich keine Erfahrungswerte für eine höchstzulässige Geschwindigkeit von 110 km/h für PKW. Das Gleiche trifft auf 70 km/h für LKW zu. Die Geschwindigkeitsverteilung ist daher empirisch nicht belegbar. Um die Genauigkeit zu erhöhen, müsste das ASFINAG-Netz die reale Geschwindigkeitsverteilung erfasst werden.
- **Emissionen bei Geschwindigkeiten unter 100 km/h bzw. Stauungen:** Bereiche im A+S Netz, in denen die höchstzulässige Geschwindigkeit für PKW geringer als 100 km/h ist bzw. Stauungen auftreten, wurden im Rahmen der Testfahrten des Arbeitspakets 3 nicht berücksichtigt. In diesen Bereichen wurden keine Messdaten aus den RDE-Messungen erhoben und können ebenfalls nicht aus den bestehenden Messdaten interpoliert werden. In der österreichweiten Hochrechnung mussten daher einige Streckenabschnitte ausgeschlossen werden.

- **JDTV:** Die Berechnungen erfolgten für den Jahresdurchschnittlichen täglichen Verkehr (JDTV). Differenziert wurde in die Fahrzeugtypen der 8+1 Zählstelle. Saisonale Verkehrsschwankungen wurden daher nicht berücksichtigt.
- **Tagesganglinien:** Die verwendeten Tagesganglinien repräsentieren einen Jahresdurchschnittstag. Besonderheiten in der zeitlichen und saisonalen Verteilung der Verkehrsstärken konnten nicht berücksichtigt werden. Zwar enthält die Tagesganglinie eine Morgen- und Abendspitze, jedoch können keine weiteren Differenzierungen wie z.B. werktägliche Verkehrsspitzen oder saisonale Verkehrsschwankungen durch Transitverkehr in der Reisezeit abgebildet werden.
- **Verkehrssteuerungen:** Die Simulation und Hochrechnung erfolgte anhand statischer Verkehrsinformation. Es wurden keine dynamischen Elemente wie beispielsweise VBA oder IG-L zur Verkehrssteuerung miteinbezogen. Es können daher keine steuernden Maßnahmen in der Hochrechnung abgebildet werden.

Im Rahmen der Mikrosimulationen wurden für mehrere Untersuchungsstrecken die Bestandssituation und Szenarien mit unterschiedlichen Höchstgeschwindigkeiten berechnet. Bei der Untersuchung wird als einziger Parameter der CO₂-Ausstoß herangezogen. Aussagen über die Verkehrssicherheit, Lärmemissionen, etc. werden explizit nicht berücksichtigt.

Bei den Untersuchungsstrecken wird in zwei Kategorien unterschieden: Strecken mit häufig wechselnden Geschwindigkeitsbeschränkungen und Strecken mit der Erhöhung der erlaubten Höchstgeschwindigkeit vor starken Steigungsbereichen.

Da der Schwerverkehr nur bei Szenario 100/70 Einfluss auf die CO₂-Reduktion hat, hängt bei Szenario 110/80 das Reduktionspotenzial vom Schwerverkehrsanteil ab. Je höher der Schwerverkehrsanteil, desto geringer wirken sich erreichte CO₂-Reduktionen von PKW und leichten LKW (N1) auf die Gesamtbilanz aus. Auf Strecken, bei denen die erlaubte Höchstgeschwindigkeit vor starken Steigungen erhöht wird, zeigt sich eine Reduktion der CO₂-Emissionen von PKW und leichten LKW (N1). Bei Längsneigungen von >3 % zeigt sich, dass im Bestand mit erlaubter Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h die CO₂-Emissionen von schweren LKW (N3) mit dem Versuchsfahrzeug geringfügig geringer sind, als bei erlaubter Höchstgeschwindigkeit 70 km/h.

Die CO₂-Emissionen konnten für jeden Fahrzeugtyp generalisiert werden. Anhand dieser Daten wurde eine Abschätzung für die CO₂-Emissionen für das Autobahnnetz durchgeführt. Es wurden die Abschnitte, auf denen die Längsneigung größer als $\pm 6\%$ ist, und die A5 aufgrund mangelnder Zählraten nicht ausgewertet. Anhand der Verkehrsleistung 2018 wurden 5.718 kt CO₂ für die gemessene Fahrzeugflotte ermittelt.

4.7. Weiterer Forschungsbedarf

Im Zuge der Bearbeitung eröffneten sich weitere Fragestellungen sowie ein Bedarf für weitere Forschungsaktivitäten, um die Ergebnisse weiter zu verfeinern.

Geschwindigkeitsauswertungen automatischer Dauerzählstellen bei Geschwindigkeitsbeschränkungen auf dem A+S Netz

Die Verteilungen bestehender Geschwindigkeitsbeschränkungen bei der Simulation wurden anhand von vorhandenen Studien validiert. Für Szenarien mit Geschwindigkeitsreduktionen wie z.B. 110 km/h für PKW sollte eine Auswertung der Geschwindigkeitsverteilung bei automatischen Dauerzählstellen durchgeführt werden, um gemessene Daten als Grundlage zur Bildung einer Geschwindigkeitsverteilung für zu bekommen. Die Geschwindigkeitsverteilung sollte auf verschiedenen Streckenabschnitten ermittelt werden, um mögliche Abweichungen darstellen zu können. Da die Geschwindigkeit einen großen Einfluss auf die CO₂-Emissionen hat, ist eine genaue Datenbasis entscheidend für eine präzise Berechnung.

Nutzen: Genauere Datenbasis für möglichst zuverlässige CO₂ Emissionsberechnungen

Weitere RDE-Messungen

Im Zuge des Forschungsprojekts wurden je drei Geschwindigkeiten für jedes Testfahrzeug gemessen. Um die CO₂-Emissionen in allen Fahrzustände in der Simulation berechnen zu können, sind weitere Fahrttests für alle Fahrzeugkategorien durchzuführen. Die bestehenden Messungen wurden für hohe Geschwindigkeiten durchgeführt. Besonders für Streckenabschnitte mit einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 80 km/h für PKW und 60 km/h für LKW oder weniger sowie bei Stauungen ist derzeit keine Berechnung der CO₂-Emissionen möglich, da die vorhandenen Messdaten diese Geschwindigkeitsbereiche nicht abdecken.

Nutzen: Einbeziehung des Gesamtfahrzeugkollektivs für CO₂ Berechnungen

Weitere Simulationen auf Wochentagsbasis

Die Simulation wurden auf der Grundlage des JDTV berechnet. Diese Daten berücksichtigen nicht die verschiedenen Verkehrsstärken an Wochentagen und Wochenenden bzw. saisonale Schwankungen. Zusätzliche Simulationen sollten durchgeführt werden, um eine detailliertere saisonale bzw. wochentagspezifische Abschätzung durchführen zu können. Die Tagesganglinien wurden anhand von Referenzstrecken erstellt. In weiteren Auswertungen sollte mit detaillierten Tagesganglinien eine Simulation durchgeführt werden. Diese Daten werden an den Dauerzählstellen erhoben und würden saisonale Schwankungen der Verkehrsstärken berücksichtigen. Ebenso könnten verschiedene Verkehrszustände wie Stauungen simuliert werden.

Nutzen: Detaillierte Ergebnisse für unterschiedliche Tage

Simulation von Verkehrssteuerungen und Verkehrsbeeinflussungsanlagen

Streckenabschnitte mit Verkehrsbeeinflussungsanlagen wurden in der vorliegenden Untersuchung aufgrund des damit verbundenen Modellierungsaufwandes nicht berücksichtigt. Um eine Abschätzung der CO₂-Emissionen zu ermöglichen, sollten Simulationen mit Verkehrsbeeinflussungsanlagen durchgeführt werden, um deren Einfluss berücksichtigen zu können.

Nutzen: Detaillierte Daten, um das Steuerungssystem von Verkehrsbeeinflussungsanlagen hinsichtlich CO₂ Emissionen bewerten und festlegen zu können

Jährliche Entwicklung der CO₂-Emissionen

Im Zuge der Untersuchung wurden Abschätzungen der Emissionen für das Jahr 2018 durchgeführt. Ziel wäre eine kontinuierliche Überprüfung der Entwicklung der CO₂-Emissionen unter Berücksichtigung der Änderung der Verkehrsstärken und der Fahrzeugpools. Anstelle der Berücksichtigung von Neuzulassungsstatistiken können für ausgewählte Streckenbereiche detaillierte Fahrzeugtyperhebungen z.B. bei Mautstellen durchgeführt werden, um Fahrzeugpools in den Simulationsmodellen detaillierter berücksichtigen zu können sowie deren Entwicklung im Verlauf der kommenden Jahre

Nutzen: Kenntnis der jährlichen CO₂ Emissionen und deren Veränderungen sowie Grundlage für die Prognose der CO₂ Emissionen

100 km/h Umwelt

Derzeit werden Geschwindigkeitsbeschränkungen aus Umweltgründen geschaltet, die auf Vorgaben basieren, die vor längerer Zeit definiert wurden. Dies führt zu öffentlichen Diskussionen vor allem aufgrund der Nichtnachvollziehbarkeit z.B. bei geringen Verkehrsstärken. Mit detaillierten CO₂ Berechnungen und Ergebnissen in den einzelnen betroffenen Gebieten sind die tatsächlichen Emissionen ableitbar. Diese können als Grundlage für die Steuerung der Geschwindigkeitsbeschränkungen eingesetzt werden.

Nutzen: Schaltung der Anlagen entsprechend den tatsächlichen CO₂ Emissionen

Umlegung auf Schnellstraßen

Verkehrsaufkommen für die meisten Schnellstraßen in Österreich standen zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht zur Verfügung. Aus diesem Grund wird die Einarbeitung zusätzlicher Datengrundlagen empfohlen, damit eine Hochrechnung auch für das Schnellstraßennetz durchgeführt werden kann.

Nutzen: CO₂ Emissionen im gesamten A+S Netz

5. BEWERTUNG DER SZENARIEN UND GESAMTBETRACHTUNG VON DEKARBONISIERUNGSMASSNAHMEN AM A+S-NETZ

Im Rahmen der Mikrosimulationen wurden im Arbeitspaket (AP4) für mehrere Untersuchungsstrecken die Bestandssituation und Szenarien mit unterschiedlichen Höchstgeschwindigkeiten berechnet. Dabei wird (1) zwischen Strecken mit häufig wechselnden Geschwindigkeitsbeschränkungen und (2) Strecken mit einer Erhöhung der erlaubten Höchstgeschwindigkeit vor starken Steigungsbereichen unterschieden. In allen Fällen wurde der CO₂-Ausstoß ermittelt. Im vorliegenden Kapitel werden neben der ökologischen Komponente (CO₂-Ausstoß) auch die Auswirkungen auf andere Indikatoren untersucht. Die Bewertung erfolgt jeweils nur für die vom Auftraggeber ausgewählten Streckenabschnitte. Auf diese Abschnitte beziehen sich daher auch alle Zahlenwerte. Sie sind nicht auf das Gesamtnetz anzuwenden

5.1. Ziele, Inhalte und methodische Herangehensweise

Ziele dieses Arbeitspakets sind neben der Betrachtung und Bewertung der erarbeiteten Untersuchungsszenarien auch die Wirkungsabschätzung von Geschwindigkeitsänderungen bzw. -harmonisierungen am A+S-Netz, sowie das Aufzeigen von Wirkungszusammenhängen der Dekarbonisierungsmaßnahmen.

Im **ersten Bewertungsschritt** werden auf Basis von (1) Abgasmessungen mittels durchgeführter Real-Welt-Erhebung in Kombination mit (2) den durch die Simulation gewonnenen Berechnungen Aussagen zu den verschiedenen Zeitindikatoren (Reisezeiten bzw. Transportzeiten sowie fahrzeitabhängige Betriebskosten) untersucht. Zur Sichtbarmachung der Unterschiede wird bei allen Tabellen, außer sie betreffen Prozentangaben oder Sekunden, auf drei Kommastellen gerundet. Die errechneten Reisezeiten bzw. Transportzeiten werden in einem weiteren Schritt monetarisiert.

Um eine bessere Vergleichbarkeit der Indikatoren zu gewährleisten, werden die vom jeweiligen Szenario abhängigen CO₂-Veränderungen sowie Reisezeit- bzw. Transportzeitveränderungen anhand der Richtlinie RVS 02.01.22 monetarisiert und zusammen mit den Betriebskosten einander gegenübergestellt. Die Preisstände der monetären Größen der RVS 02.01.22 beziehen sich auf das Jahr 2009 und wurden mit dem Verbraucherpreisindex auf die Kostenbasis des Jahres 2018 angepasst. Die in der RVS angeführten Kostensätze sind Durchschnittswerte, die eine möglichst gute Abbildung der Realität zum Ziel

haben (RVS 02.01.22:17). Wenn genauerer oder aktuellerer Kostensätze (wie z.B. im Fall der Kraftstoffpreisen) vorlagen, wurden diese verwendet.

Des Weiteren wird der Saldo errechnet. Der positive bzw. negative Saldo lässt sich als Wirkung der Maßnahmen, der konkreten Untersuchungsfälle und Szenarien, gegenüber dem Bestand interpretieren. Weitere Kosten, wie Investitions- oder Instandhaltungskosten (Kosten für das Austauschen von Schildern etc.), wurden in diesem Projekt nicht explizit berechnet, allerdings im zweiten Bewertungsabschnitt (siehe Matrix Abbildung 34), im Vergleich zu anderen Infrastrukturmaßnahmen, als gering eingestuft. Wie in Kapitel 5.2.4 ausgeführt, werden auch Unfallkosten, aufgrund fehlender Untersuchungen und unzureichender Relevanz, nicht bei der Saldenbildung berücksichtigt. Die genaue methodische Herangehensweise zur Berechnung der Indikatoren wird im jeweiligen Kapitel beschrieben.

Der **zweite Bewertungsschritt** beschäftigt sich mit einer Zusammenfassung, tabellarischer Verschneidung und gesamtheitlichen Bewertung unterschiedlicher (anderer) Dekarbonisierungsprojekte. Neben den in der vorliegenden Studie betrachteten Ansätze, werden auch weitere geschwindigkeits- und infrastrukturbezogene Projekte auf nationaler und internationaler Ebene dargestellt. Die Bewertung der Nachhaltigkeitswirkung erfolgt anhand einer Matrix unter Berücksichtigung von ökologischen, ökonomischen und sozioökonomischen Faktoren. Neben den Faktoren, die in Abschnitt 5.2 näher betrachtet werden, wird die Tabelle um einzelne Kenngrößen, die eine wichtige Rolle in anderen Projekten spielen, erweitert. Diese Herangehensweise soll ein umfassenderes Bild sowie das Erkennen von Wirkungszusammenhängen ermöglichen.

Auf der ökologischen Ebene betrachtet man Veränderungen betreffend der Umweltauswirkung des Verkehrs in Bezug auf Kohlenstoffdioxidemissionen (CO₂/GWP) andere Schadstoff- und Feinstaubemissionen (NO_x, NO₂, NO, PM₁₀, PM₂₅) sowie Primär- und Sekundärenergieverbrauch. Zu den ökonomischen Kriterien zählen Investitionskosten, Instandhaltungskosten und sonstige Kosten wie z.B. Marketingausgaben einzelner Maßnahmen. Weiters werden die sozioökonomischen Faktoren, wie Reisezeitkosten/Personenzeitkosten, Fahrzeugbetriebskosten (bestehend aus Fahrzeugbetriebskostengrundwerten, Fahrpersonalkosten und den Energiekosten) sowie die Kompatibilität bzw. Effizienz des Verkehrssystems bewertet.

Aufgrund der heterogenen Datenlage, bzw. Nichtanwendbarkeit einiger dieser Faktoren auf alle angeführten Projekte, werden diese nur auf spezifisch ausgewählten Auswirkun-

gen überprüft. Neben absoluten Mess- und Kennwerten im Text, wird in der Matrix die prozentuelle Veränderung angeführt, um eine bessere Vergleichbarkeit zu ermöglichen. Zur besseren Übersicht der Auswirkungen wird die Wirkungsrichtung (positiv, negativ) in der Matrix durch Farben (grün-rot) ausgedrückt. Eine relative Veränderung von über 10% bzw. unter -10% wird als starke Einwirkung eingestuft und durch die Kreisgröße entsprechend gekennzeichnet (siehe Legende). Wirkungszusammenhänge und Potentiale im Hinblick auf Dekarbonisierung lassen sich dadurch besser identifizieren; diese werden anschließend textlich erläutert.

5.2. Bewertung geschwindigkeitsbezogener Untersuchungsszenarien

In diesem Kapitel werden Aussagen zu Schadstoffausstoß, Reise- bzw. Transportzeiten, Betriebskosten und Unfallkosten in Bezug auf die vom Auftraggeber ausgewählten Streckenabschnitte getroffen. Dabei wird immer die Differenz zwischen den Szenarien und dem Nullfall dargestellt und die Auswirkungen der Harmonisierung der Geschwindigkeit bzw. Aufhebung der Geschwindigkeitsbegrenzung vor der großen Längstneigung, auf den untersuchten Strecken, auf die Indikatoren diskutiert. Im weiteren Schritt werden die nicht monetären Indikatoren monetarisiert und Saldi errechnet.

5.2.1. Schadstoffausstoß

Auf den Schadstoffausstoß wurde bereits ausführlich in Arbeitspaket 4 eingegangen, weshalb an dieser Stelle nur eine Zusammenfassung der Ergebnisse folgt. Alle erhobenen Emissionswerte beziehen sich auf bestimmte Streckenabschnitte und stammen aus (1) Messungen des Instituts für Verbrennungskraftmaschinen der Technischen Universität Wien und aus (2) Simulationen von nast consulting ZT GmbH.

Da die Daten in diesem Kapitel für weitere Berechnungen aufbereitet sind, wird in den folgenden Tabellen (Tabelle 21-Tabelle 22) nicht so wie in Arbeitspaket 4 die CO₂ Reduktion, sondern die Differenz, sowohl positive als auch negativ, zwischen den Szenarien und dem Nullfall dargestellt.

Untersuchungsfall 1: Wechselnde Geschwindigkeitsbeschränkungen

Die folgenden beiden Tabellen (Tabelle 21-Tabelle 22) zeigen den CO₂ Ausstoß des Untersuchungsfall Wechselnde Geschwindigkeitsbeschränkungen

Tabelle 21: CO₂ Ausstoßdifferenzen im Szenario: 110 km/h / 80 km/h -Untersuchungsfall 1

Strecke	RFB	CO ₂ Ausstoßdifferenz Szenario-Bestand		CO ₂ Ausstoß Bestand [g/Fz]			
		PKW	LKW N1	PKW	LKW N1	LKW N2	LKW N3
A02 km 292-303	1	-5 %; -76 g/Fz	-6 %; -139 g/Fz	1 478	2 316	4 896	10 108
A02 km 292-303	2	-4 %; -53 g/Fz	-4 %; -86 g/Fz	1 454	2 257	4 862	10 077
A08 km 0-11	1	-0,7 %; -10 g/Fz	-1 %; -30 g/Fz	1 532	2 381	5 815	12 861
A08 km 0-11	2	+0,9 %; +12 g/Fz	+0,3 %; +7 g/Fz	1 324	2 059	4 680	9 963
A09 km 0-11	1	-5 %; -74 g/Fz	-5 %; -116 g/Fz	1 584	2 455	5 842	13 024
A09 km 0-11	2	-7 %; -94 g/Fz	-8 %; -168 g/Fz	1 426	2 228	4 672	10 058

Quelle: Berechnungen anhand von Simulationen von nast consulting ZT GmbH; Datengrundlage CO₂-Emissionen: Prof. Pucher

Tabelle 22: CO₂ Ausstoßdifferenzen im Szenario: 100 km/h / 700 km/h -Untersuchungsfall 1

Strecke	RFB	CO ₂ Ausstoßdifferenz Szenario-Bestand			
		PKW	LKW N1	LKW N2	LKW N3
A02 km 292-303	1	-11 %; -159 g/Fz	-11 %; -245 g/Fz	-4 %; -208 g/Fz	-16 %; -1616 g/Fz
A02 km 292-303	2	-9 %; -136 g/Fz	-8 %; -190 g/Fz	-4 %; -188 g/Fz	-16 %; -1635 g/Fz
A08 km 0-11	1	-6 %; -94 g/Fz	-6 %; -132 g/Fz	-3 %; -189 g/Fz	-8 %; -1033 g/Fz
A08 km 0-11	2	-5 %; -70 g/Fz	-5 %; -100 g/Fz	-4 %; -186 g/Fz	-12 %; -1226 g/Fz
A09 km 0-11	1	-10 %; -159 g/Fz	-9 %; -217 g/Fz	-5 %; -264 g/Fz	-8 %; -1083 g/Fz
A09 km 0-11	2	-12 %; -180 g/Fz	-12 %; -276 g/Fz	-4 %; -192 g/Fz	-12 %; -1229 g/Fz

Quelle: Berechnungen anhand von Simulationen von nast consulting ZT GmbH; Datengrundlage CO₂-Emissionen: Prof. Pucher

Untersuchungsfall 2: Aufhebung einer Geschwindigkeitsbegrenzung vor großer Längsneigung

Die weiteren zwei Tabellen (Tabelle 23, Tabelle 24) zeigen den CO₂ Ausstoß im Untersuchungsfall 2: Aufhebung einer Geschwindigkeitsbegrenzung vor großer Längsneigung

Tabelle 23: CO₂ Ausstoßdifferenzen im Szenario: 110 km/h / 80 km/h -Untersuchungsfall 2

Strecke	RFB	CO ₂ Ausstoßdifferenz Szenario-Bestand		CO ₂ Ausstoß Bestand [g/Fz]			
		PKW	LKW N1	PKW	LKW N1	LKW N2	LKW N3
A01/A21	1	-2 %; -53 g/Fz	-1 %; -29 g/Fz	2 327	3 641	8 985	22 300
A10 km 38 -53	1	-2 %; -49 g/Fz	-1 %; -39 g/Fz	2 765	4 247	11 695	28 688

Quelle: Berechnungen anhand von Simulationen von NAST consulting; Datengrundlage CO₂-Emissionen: Prof. Pucher

Tabelle 24: CO₂ Ausstoßdifferenzen im Szenario: 100 km/h / 70 km/h -Untersuchungsfall 2

Strecke	RFB	CO ₂ Ausstoßdifferenz Szenario-Bestand			
		PKW	LKW N1	LKW N2	LKW N3
A01/A21	1	-4 %; -88 g/Fz	-1 %; -53 g/Fz	-0 %; -40 g/Fz	+0,3%; +75g/Fz
A10 km 38 -53	1	-4 %; -122 g/Fz	-2 %; -103 g/Fz	-2 %; -209 g/Fz	-2 %; -560 g/Fz

Quelle: Berechnungen anhand von Simulationen von NAST consulting; Datengrundlage CO₂-Emissionen: Prof. Pucher

Zusammenfassung der Ergebnisse in Bezug auf den CO₂ Ausstoß

Die Harmonisierung der höchstzulässigen Geschwindigkeiten hat die größten Auswirkungen auf die Reduktion des CO₂-Ausstoßes als Maßnahme auf Strecken mit stark variierenden Geschwindigkeitsbegrenzungen, da auf diesen Strecken ein erhöhter Kraftstoffverbrauch anfällt. Beim Untersuchungsfall 1 besitzen Strecken mit einem hohen Anteil an Abschnitten mit einer erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h, zum Beispiel A2 oder A9, das größte Reduktionspotential, da hier die Geschwindigkeit für PKW und N1 deutlich reduziert wird. Im Gegensatz dazu kann der CO₂ Ausstoß steigen, wenn, wie im „Szenario mit höchstzulässiger Geschwindigkeit 110 km/h / 80 km/h“, auf den meisten Streckenabschnitten das Tempolimits von 100 km/h auf 110 km/h angehoben wird. Dies ist etwa für die Strecke A8 zu beobachten.

Hervorzuheben ist auch die Erkenntnis, dass bei Längsneigungen von mehr als 3 % bei der bestehenden zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h für LKW (N3) geringere

CO₂-Emissionen gemessen werden als bei einer Tempobeschränkung auf 70 km/h. Gründe dafür sind unter anderem, dass die Motor-/Fahrzeugkombination auf Betrieb mit niedrigem Kraftstoffverbrauch bei Geschwindigkeiten des Tempolimits von 80 km/h abgestimmt ist. Ersichtlich ist dies unter anderem im Szenario 2: höchstzulässige Geschwindigkeit 100 km/h / 70 km/h (Tabelle 24), bei der eine Zunahme der CO₂-Emissionen von 0,3% verzeichnet wird. Für PKW und leichte LKWs führt eine Reduktion der Geschwindigkeit im Steigungsbereich jedoch zu einer deutlichen Verringerung des CO₂- Ausstoßes.

5.2.2. Reisezeit

Die Harmonisierung, und somit die Veränderung der erlaubten Geschwindigkeit, hat deutliche Auswirkungen auf die Reisezeit, sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr. Im Gegensatz zum CO₂ Ausstoß, der durch eine Geschwindigkeitsreduktion üblicherweise sinkt, ist die Reisezeit bzw. Transportzeit indirekt proportional zu der Geschwindigkeit. Je höher die Geschwindigkeit, desto kürzer die Reisezeit. Im Folgenden werden Reise- bzw. Transportzeitsummen für den Bestand (Nullfall) und für die in Szenarien von ausgewählten Strecken errechnet. Um festzustellen, welche Auswirkungen die veränderte Geschwindigkeit auf die Reisezeit hat, wird die absolute und relative Differenz zum Nullfall gebildet.

Untersuchungsfall 1: Wechselnde Geschwindigkeitsbeschränkungen

Im Szenario 1 (Tabelle 25) sind nur die Fahrzeugklassen PKW und N1 von der Harmonisierungsmaßnahme auf eine höchstzulässige Geschwindigkeit von 110 km/h betroffen, da die LKWs der Fahrzeugklassen N2 und N3 mit einer unveränderten Geschwindigkeit von 80km/h fahren.

Auf der Strecke A02 kommt es dadurch auf der Richtungsfahrbahn 1 zu einem Zeitverlust von 7% (0,006 h/Fz-s) und auf der Richtungsfahrbahn 2 zu einem durchschnittlichen Zeitverlust von 4 % (0,004 h/Fz-s) für die Klasse PKW und N1.

Auf Grund der zahlreichen Abschnitte mit Tempolimit 100 km/h im Bestand auf der Strecke A08, wird ein Zeitgewinn in beiden Fahrtrichtungen verzeichnet. Die Richtungsfahrbahn 1 zeigt eine relative Zeitdifferenz von -1% (0,001 h/Fz-s) und Richtungsfahrbahn 2 - 3% (0,003 h/Fz-s). Auf der Strecke A09 entstehen, ähnlich wie bei der Strecke A02, Ver-

zögerungen in beide Fahrtrichtungen in einem Ausmaß von 7% (0,006 h/Fz-s) in RFB 1 und 9 % (0,008 h/Fz-s) in RFB 2.

Tabelle 25: Reisezeit im Szenario: 110 km/h / 80 km/h –Untersuchungsfall 1

Strecke	RFB	Auswirkungen auf den Zeitfaktor der Fahrzeugklassen PKW und N1				
		[h/Fz-s] Zeit pro Fahrzeugstrecke				%
		Fahrzeit Bestand	Fahrzeit im Szenario	Zeitdifferenz Szenario zum Bestand	Zeitdifferenz in Sekunden	Zeitdifferenz
A02 km 292-303	1	0,094	0,100	0,006	22	7%
A02 km 292-303	2	0,096		0,004	14	4%
A08 km 0-11	1	0,101		-0,001	-3	-1%
A08 km 0-11	2	0,103		-0,003	-11	-3%
A09 km 0-11	1	0,094		0,006	22	7%
A09 km 0-11	2	0,092		0,008	31	9%

Quelle: eigene Berechnung anhand der Simulationsdaten

Im zweiten Szenario (Tabelle 26) betreffen die Maßnahmen neben den Fahrzeugklassen PKW und N1 auch die LKWs der Klassen N2 und N3. Die höchstzulässige Geschwindigkeit wird für PKWs und N1 auf den folgenden Streckenabschnitten auf 100km/h harmonisiert und verringert sich für LKWs (N2/N3) von 80km/h auf 70km/h im Vergleich zum Bestand. Da die Geschwindigkeitsregelungen im Bestand für Fahrzeuge der LKW Klassen N2 und N3 bereits einheitlich waren, beträgt die relative Zunahme des Zeitaufwandes auf allen Strecken 14% (0,02 h/Fz-s).

Für PKWs und N1 Fahrzeuge steigt der Zeitaufwand auf der Strecke A02 in RFB 1 um 17% (0,016 h/Fz-s) und in RFB 2 um 14% (0,014 h/Fz-s) an. Im Gegensatz zu Szenario 1 bewirkt auf der Strecke A08 eine Harmonisierung der Geschwindigkeit auf 100km/h für PKW und N1 einen Zeitverlust von 9% (0,009 h/Fz-s) in RFB 1 und 7% (0,007 h/Fz-s). Die

stärksten Auswirkungen auf den Zeitfaktor werden auf der Strecke A09 verzeichnet. Die Harmonisierung führt auf diesem Streckenabschnitt in RFB 1 zu einem Zeitverlust von 17% (0,016 h/Fz-s) und in RFB 2 zu einem Zeitverlust von 20% (0,018 h/Fz-s).

Tabelle 26: Reisezeit im Szenario: 100 km/h / 70 km/h –Untersuchungsfall 1

Strecke	RFB	Auswirkungen auf den Zeitfaktor der Fahrzeugklassen PKW und N1					Auswirkungen auf den Zeitfaktor der Fahrzeugklassen LKW N2/N3				
		[h/Fz-s]					[h/Fz-s]				
		Zeit pro Fahrzeugstrecke					Zeit pro Fahrzeugstrecke				
Fahrzeit Bestand	Fahrzeit im Szenario	Zeitdifferenz Szenario zum Bestand	Zeitdifferenz in Sekunden	Zeitdifferenz %	Fahrzeit Bestand	Fahrzeit im Szenario	Zeitdifferenz Szenario zum Bestand	Zeitdifferenz in Sekunden	Zeitdifferenz %		
A02 km 292-303	1	0,094	0,110	0,016	58	17%	0,14	0,16	0,02	71	14%
A02 km 292-303	2	0,096	0,110	0,014	50	14%					
A08 km 0-11	1	0,101	0,110	0,009	33	9%					
A08 km 0-11	2	0,103	0,110	0,007	25	7%					
A09 km 0-11	1	0,094	0,110	0,016	58	17%					
A09 km 0-11	2	0,092	0,110	0,018	66	20%					

Quelle: eigene Berechnung anhand der Simulationsdaten

Untersuchungsfall 2: Aufhebung einer Geschwindigkeitsbegrenzung vor großer Längsneigung

Im Rahmen des Untersuchungsfall, bei dem eine Geschwindigkeitsbegrenzung vor einer großen Längsneigung aufgehoben wird, sind im Szenario 1 (Tabelle 27) nur die Fahrzeugklassen PKW und N1 von einer Änderung auf 110km/h höchstzulässige Geschwindigkeit auf den jeweiligen Strecken betroffen. Für die LKWs der Klassen N2 und N3 bleibt die Geschwindigkeitsbegrenzung mit 80km/h gleich. Demnach können auf der Strecke A01/A21 in RFB 1 eine Zeitdifferenz von +4,1% (0,0056 h/Fz-s) im Vergleich zum Bestand

verzeichnet werden. Der Zeitverlust auf der Strecke A10 in RFB 1 beträgt 4,5% (0,0062 h/Fz-s).

Tabelle 27: Reisezeit im Szenario: 110 km/h / 80 km/h –Untersuchungsfall 2

Strecke	RFB	Auswirkungen auf den Faktor der Fahrzeugklassen PKW und N1				
		[h/Fz-s] Zeit pro Fahrzeugstrecke				%
		Fahrzeit Bestand	Fahrzeit im Szenario	Zeitdifferenz Szenario zum Bestand	Zeitdifferenz in Sekunden	Zeitdifferenz
A01/A21	1	0,135	0,1410	0,0056	20	4,1 %
A10 km 38 -53	1	0,137	0,1431	0,0062	22	4,5 %

Quelle: eigene Berechnung anhand der Simulationsdaten

Im zweiten Szenario (Tabelle 28) wird die höchstzulässige Geschwindigkeit für PKWs und N1 auf 100km/h und für LKWs der Klassen N2 und N3 auf 70km/h vor großen Längsneigungen festgelegt. Die Ergebnisse zeigen, dass auf der Strecke A01/A21 in RFB1 der Zeitverlust 7% (0,009 h/Fz-s) für PKWs und N1 beträgt und für die LKW Klassen N2 und N3 eine Verzögerung von 3% (0,01 h/Fz-s) auftritt. Auf der Strecke A10 sind die Auswirkungen auf den Zeitfaktor deutlich höher mit einem Zeitverlust von 12% (0,016 h/Fz-s) für PKW und N1 in RFB 1. Das trifft auch auf die LKW Klassen N2 und N3 mit einem zusätzlichen Zeitaufwand von 10% (0,02 h/Fz-s) auf der Strecke A10 in RFB 1 zu.

Tabelle 28: Reisezeit im Szenario: 100 km/h / 70 km/h –Untersuchungsfall 2

Strecke	RF B	Auswirkungen auf den Zeitfaktor der Fahrzeugklassen PKW und LKW N1					Auswirkungen auf den Zeitfaktor der Fahrzeugklassen LKW N2/N3				
		[h/Fz-s] Zeit pro Fahrzeugstrecke				%	[h/Fz-s] Zeit pro Fahrzeugstrecke				%
		Fahrzeit Bestand	Fahrzeit im Szenario	Zeitdifferenz Szenario zum Bestand	Zeitdifferenz in Sekunden	Zeitdifferenz	Fahrzeit Bestand	Fahrzeit im Szenario	Zeitdifferenz Szenario zum Bestand	Zeitdifferenz in Sekunden	Zeitdifferenz
A01/A2 1	1	0,135	0,145	0,009	33	7%	0,213	0,220	0,01	26	3%
A10 km 38 -53	1	0,137	0,153	0,016	58	12%	0,200	0,220	0,02	71	10%

Quelle: eigene Berechnung anhand der Simulationsdaten

Zusammenfassung der Ergebnisse in Bezug auf die Reisezeit

In beiden Untersuchungsfällen gilt der Zusammenhang: je niedriger die Geschwindigkeit desto größer der Zeitverlust. Je größer die Anteile der Strecken mit einer Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h im Bestand, desto größer der durch die Harmonisierung entstandene Zeitverlust.

Dieser beträgt in den Szenarien "höchstzulässige Geschwindigkeit 110 km/h/70 km/h" und Fahrzeuge der Klasse N1 bis zu 9% (31 Sekunden) pro Fahrzeug und Strecke.

Analog dazu weisen Strecken wo im Bestand auf großen Abschnitten die Geschwindigkeitsbegrenzung 100 km/h galt, die auf 110 km/h angehoben wurde, eine Zeitersparnis bis zu 3% auf.

Das zweite Szenario ist aufgrund der noch stärkeren Senkung der höchstzulässigen Geschwindigkeit für PKW und leichte LKW (N1) auf 100 km/h und für schwere LKW auf 70 km/h durch noch größere Zeitverluste gekennzeichnet. Hier betragen die durch die Harmonisierung entstandene Zeitverluste bis zu 20% für PKW und leichte LKW (N1) und bis zu 14% für schwere LKW.

5.2.3. Betriebskosten

Die Fahrzeugbetriebskosten setzen sich laut RVS 02.01.22 (2010:21) aus den Fahrzeugbetriebskostengrundwerten, den Fahrpersonalkosten und den Energiekosten zusammen. Alle Werte sind auf die Preisbasis 2018 angepasst.

Die Fahrzeugbetriebskostengrundwerte bestehen aus Investitions- und Kapitalkosten, Wartungs- und Reparaturkosten sowie Fahrzeugabstellkosten. Weiters besitzen sie eine fahrzeitabhängige und fahrleistungsabhängige Komponente. Letztere wird in den Berechnungen nicht berücksichtigt, da sie sich in den Szenarien nicht verändert. Die Fahrpersonalkosten beziehen sich auf Betriebspersonal, in diesem Projekt sind das die LKW-Lenker. Diese Kosten betragen 20,36 EUR pro Stunde für N2 und 24,60 EUR für N3. Die Zeitkosten für die LenkerInnen von Fahrzeugen unter 3,5t wurden in den Reisekosten berücksichtigt. (RVS 02.01.22 2010:21)

Die Energiekosten umfassen die um die Steuern (wegen der volkswirtschaftlichen Betrachtung) bereinigten Kraftstoffpreise. Dieser beträgt für Dieseldieselkraftstoff 0,62 EUR/kg (Statistik Austria 2017).

Für die Fahrzeugklasse PKW wurde in der Simulation ein gewichteter Netto-Kraftstoffpreis von 0,64€/kg mit einer prozentuellen Verteilung 1%/94%/5% für Benzin mit 91/95/98 Oktan und eine aus der Simulation entnommene Verteilung von 37% Diesel- und 63% Benzinfahrzeugen herangezogen. (Statistik Austria 2017)

Alle LKWs (N1, N2 und N3) werden als Dieselfahrzeuge angenommen.

Der Kraftstoffpreis wurde pro Kilogramm berechnet, wobei in der RVS 02.01.22 (2010:21) Dichten von 0,75 kg/l Benzin und 0,83 kg/l Diesel angegeben sind. Der Kraftstoffverbrauch errechnet sich nun anhand der RVS Vorgaben und aus dem im Projekt gemessenen bzw. simulierten CO₂-Ausstoß.

Die Tabellen (Tabelle 29-Tabelle 30) zeigen die zusammengefassten, fahrzeitabhängigen Betriebskostengrundwerte und Fahrerkosten (nur für LKW N2 und N3), Energiekosten sowie sich daraus ergebenden Summen der Betriebskosten im Bestand. Die Tabellen (Tabelle 31-Tabelle 34) stellen eine Zusammenschau der absoluten Veränderungen aller Komponenten, sowie prozentueller Veränderung der Betriebskosten der jeweiligen Szenarien zum Bestand dar.

Tabelle 29: Betriebskosten im Bestand für Untersuchungsfall 1

Fall1-Bestand		Fahrzeitabhängige Betriebskosten Grundwerte Bestand (inkl. Fahrpersonalkosten) [€/ Fz-s]				Energiekosten Bestand [€/ Fz-s]				Betriebskosten Bestand [€/ Fz-s]			
Strecke	RFB	PKW	LKW N1	LKW N2	LKW N3	PKW	LKW N1	LKW N2	LKW N3	PKW	LKW N1	LKW N2	LKW N3
A02 292-303	kl 1	0,645	0,645	4,090	4,895	0,302	0,453	0,958	1,978	0,946	1,098	5,048	6,873
A02 292-303	kl 2	0,660	0,660	4,090	4,895	0,297	0,442	0,951	1,972	0,957	1,102	5,042	6,867
A08 0-11	kl 1	0,692	0,692	4,090	4,895	0,313	0,466	1,138	2,517	1,005	1,158	5,228	7,411
A08 0-11	kl 2	0,708	0,708	4,090	4,895	0,270	0,403	0,916	1,950	0,978	1,111	5,006	6,844
A09 0-11	kl 1	0,645	0,645	4,090	4,895	0,324	0,480	1,143	2,549	0,968	1,125	5,234	7,443
A09 0-11	kl 2	0,629	0,629	4,090	4,895	0,291	0,436	0,914	1,968	0,920	1,065	5,005	6,863

Quelle: eigene Berechnung anhand der Simulationsdaten, RVS 02.01.22 und Statistik Austria Daten

Tabelle 30: Betriebskosten im Bestand für Untersuchungsfall 2

Fall 2-Bestand		Fahrzeitabhängige Betriebskosten Grundwerte Bestand (inkl. Fahrpersonalkosten) [€/ Fz-s]				Energiekosten Bestand [€/ Fz-s]				Betriebskosten Bestand [€/ Fz-s]			
Strecke	RFB	PKW	LKW N1	LKW N2	LKW N3	PKW	LKW N1	LKW N2	LKW N3	PKW	LKW N1	LKW N2	LKW N3
A01/A21	1	0,930	0,930	6,321	7,564	0,475	0,712	1,758	4,364	1,405	1,642	8,079	11,928
A10 38 -53	km 1	0,940	0,940	5,949	7,119	0,565	0,831	2,289	5,614	1,505	1,771	8,238	12,733

Quelle: eigene Berechnung anhand der Simulationsdaten, RVS 02.01.22 und Statistik Austria Daten

Untersuchungsfall 1: Wechselnde Geschwindigkeitsbeschränkungen

Auf der Strecke A02 auf der Richtungsfahrbahn 1 kommt es im Szenario 1 (110 km/h / 80 km/h) bei PKW zur Erhöhung der Betriebskosten um 3 Cent bzw. 3 % und auf der Richtungsfahrbahn 2 um 2 Cent bzw. 2% pro Fahrzeug. Bei Fahrzeugen der Klasse N1 han-

delt es sich auf dieser Strecke um eine Erhöhung der Betriebskosten von ca. 1 Cent in beiden Fahrtrichtungen was einen Unterschied von 1% zum Bestand ausmacht.

Auf der Strecke A08, kommt es hingegen zu einer Betriebskostenreduktion bei beiden Fahrzeugklassen um jeweils 1 Cent bzw.1% (RFB1) bzw. 2 Cent bzw. 2% (RFB2) pro Fahrzeug.

Auf der Strecke A09 entstehen Betriebskostenzunahmen bei PKWs in beiden Fahrtrichtungen in einem Ausmaß von 3 Cent bzw. 3% (RFB 1) und 4 Cent bzw. 4% (RFB 2) pro Fahrzeug. Ähnlich ist es bei leichten LKW, hier sieht man eine Zunahme der Betriebskosten in beiden Fahrtrichtungen von 2% (2-3 Cent) pro Fahrzeug.

Tabelle 31: Betriebskosten im Szenario: 110 km/h / 80 km/h Untersuchungsfall 1

F1S1		Wertangaben als Kostendifferenz zwischen Szenario und Bestand							
Strecke	RFB	Fahrzeitabhängige Betriebskosten Szenario-Bestand [€/Fz-s]		Energiekosten Szenario-Bestand [€/Fz-s]		Betriebskosten Szenario-Bestand [€/Fz-s]		Prozentuelle Veränderung der Betriebskosten Szenario-Bestand [€/Fz-s]	
		PKW	LKW N1	PKW	LKW N1	PKW	LKW N1	PKW	LKW N1
A02 km 292-303	1	0,042	0,042	-0,016	-0,027	0,027	0,015	3%	1%
A02 km 292-303	2	0,026	0,026	-0,011	-0,017	0,016	0,010	2%	1%
A08 km 0-11	1	-0,005	-0,005	-0,002	-0,006	-0,007	-0,011	-1%	-1%
A08 km 0-11	2	-0,021	-0,021	0,002	0,001	-0,019	-0,020	-2%	-2%
A09 km 0-11	1	0,042	0,042	-0,015	-0,023	0,027	0,020	3%	2%
A09 km 0-11	2	0,058	0,058	-0,019	-0,033	0,039	0,025	4%	2%

Quelle: CO₂ Ausstoßdifferenzen im Szenario: 100 km/h / 700 km/h -Untersuchungsfall 1

Im zweiten Szenario (Tabelle 32a/b) wird die höchstzulässige Geschwindigkeit für PKWs und N1 auf den folgenden Streckenabschnitten auf 100km/h harmonisiert und verringert sich für schwere LKW (N2/N3) von 80km/h auf 70km/h im Vergleich zum Bestand, was

aufgrund der verlängerten Fahrzeit zu höheren Betriebskostenzunahmen als im vorherigen Szenario führt .

Für PKW steigen die Betriebskosten auf der Strecke A02 auf der Richtungsfahrbahn 1 um 8 Cent bzw. 8% und auf der Richtungsfahrbahn 2 um 7 Cent bzw. 7% pro Fahrzeug. Bei LKW der Klasse N1 ergibt sich eine Betriebskostenzunahme von jeweils 6 Cent pro Fahrzeug und Fahrtrichtung was in Fahrtrichtung 1 einen Unterschied von 5% und in Fahrtrichtung 2 von 6% ergibt.

Aufgrund der Fahrpersonalkosten sind bei den LKW-Klassen N2 und N3 die Kostenunterschiede absolut gesehen deutlich höher als bei den Fahrzeugen bis 3,5 Tonnen. Bei den Fahrzeugen der Klasse N2 wurde auf der Strecke A02 in beiden Fahrtrichtungen eine Betriebskostenzunahme von fast 55 Cent pro Fahrzeug festgestellt was einer relativen Zunahme von 11% entspricht. Bei schweren LKWs der Klasse N3 wurde eine Zunahme von jeweils 4 Cent bzw. 6% pro Fahrzeug in beiden Fahrtrichtungen festgestellt.

Auf der Strecke A08 kommt es auf der Richtungsfahrbahn 1 für PKW und leichte LKW (N1) zu einer Betriebskostenzunahme von 4 Cent pro Fahrzeug, was relativ gesehen 4% bzw. 3% ausmacht. Auf der Richtungsfahrbahn 2 erhöhen sich die Betriebskosten für beide Fahrzeugklassen um 3 Cent bzw. jeweils 3% pro Fahrzeug.

Bei LKW der Klasse N2 kann man eine Zunahme von 55 Cent pro Fahrzeug feststellen, relativ gesehen ist das eine 10% bzw. 11% Zunahme im Vergleich zum Bestand.

Die Betriebskostenzunahme der Fahrzeugklasse N3 beträgt in beiden Fahrtrichtungen fast 50 Cent bzw. 7% pro Fahrzeug und Strecke.

Die Betriebskostenzunahme beträgt auf der Strecke A09 für PKWs 8 Cent bzw. 8% pro Fahrzeug auf der Richtungsfahrbahn 1 und 9 Cent bzw. 10% pro Fahrzeug auf der Richtungsfahrbahn 2. Für die Fahrzeuge der Klasse N1 gibt es eine Betriebskostenzunahme von 7 Cent in beiden Fahrtrichtungen was jeweils 6% bzw. 7% ausmacht. Während bei der Fahrzeugklasse N2 eine Erhöhung der Betriebskosten im Vergleich zum Bestand um 50 bis 55 Cent festgestellt wurde, stiegen die Betriebskosten der Fahrzeugklasse N3, genauso wie auf der Strecke 08 um fast 50 Cent bzw. 7% in beiden Fahrtrichtungen.

Tabelle 32a: Betriebskosten im Szenario: 100 km/h / 70 km/h Untersuchungsfall 1

F1S2 (a)		Wertangaben als Kostendifferenz zwischen Szenario und Bestand							
Strecke	RFB	Fahrzeitabhängige Betriebskosten				Energiekosten			
		Szenario-Bestand [€/Fz-s] inkl. Personalkosten				Szenario-Bestand [€/Fz-s]			
		PKW	LKW N1	LKW N2	LKW N3	PKW	LKW N1	LKW N2	LKW N3
A02 km 292-303	1	0,111	0,111	0,584	0,699	-0,032	-0,048	-0,041	-0,316
A02 km 292-303	2	0,095	0,095	0,584	0,699	-0,028	-0,037	-0,037	-0,320
A08 km 0-11	1	0,063	0,063	0,584	0,699	-0,019	-0,026	-0,037	-0,202
A08 km 0-11	2	0,048	0,048	0,584	0,699	-0,014	-0,020	-0,036	-0,240
A09 km 0-11	1	0,111	0,111	0,584	0,699	-0,032	-0,042	-0,052	-0,212
A09 km 0-11	2	0,127	0,127	0,584	0,699	-0,037	-0,054	-0,038	-0,241

Quelle: eigene Berechnung anhand der Simulationsdaten, RVS 02.01.22 und Statistik Austria Daten

Tabelle 32b: Betriebskosten im Szenario: 100 km/h / 70 km/h Untersuchungsfall 1

F1S2 (b)		Wertangaben als Kostendifferenz zwischen Szenario und Bestand							
Strecke	RFB	Betriebskosten Szenario-Bestand [€/Fz-s]				Prozentuelle Veränderung der Betriebskosten Szenario-Bestand [€/Fz-s]			
		PKW	LKW N1	LKW N2	LKW N3	PKW	LKW N1	LKW N2	LKW N3
A02 km 292-303	1	0,078	0,063	0,544	0,383	8%	6%	11%	6%
A02 km 292-303	2	0,067	0,058	0,548	0,379	7%	5%	11%	6%
A08 km 0-11	1	0,044	0,038	0,547	0,497	4%	3%	10%	7%
A08 km 0-11	2	0,033	0,028	0,548	0,459	3%	3%	11%	7%
A09 km 0-11	1	0,078	0,068	0,533	0,487	8%	6%	10%	7%
A09 km 0-11	2	0,090	0,073	0,547	0,459	10%	7%	11%	7%

Quelle: eigene Berechnung anhand der Simulationsdaten, RVS 02.01.22 und Statistik Austria Daten

Untersuchungsfall 2:

Aufhebung einer Geschwindigkeitsbegrenzung vor großer Längsneigung

Bei Streckenabschnitten mit großen Längsneigungen kommt es im Szenario 110/80 (Tabelle 33) auf allen Streckenabschnitten (A01/A21 und A10) für PKW- und N1-Fahrzeuge zu einer durchschnittlichen Betriebskostenerhöhung von 3 bis 3,5 Cent bzw. 2 %.

Tabelle 33: Betriebskosten im Szenario: 110 km/h / 80 km/h Untersuchungsfall 2

F2S1		Wertangaben als Kostendifferenz zwischen Szenario und Bestand							
Strecke	RFB	Fahrzeitabhängige Betriebskosten Szenario-Bestand [€/Fz-s]		Energiekosten Szenario-Bestand [€/Fz-s]		Betriebskosten Szenario-Bestand [€/Fz-s]		Prozentuelle Veränderung der Betriebskosten Szenario-Bestand [€/Fz-s]	
		PKW	LKW N1	PKW	LKW N1	PKW	LKW N1	PKW	LKW N1
A01/A21	1	0,038	0,038	-0,011	-0,006	0,028	0,033	2%	2%
A10 km 38 -53	1	0,042	0,042	-0,010	-0,008	0,032	0,035	2%	2%

Quelle: eigene Berechnung anhand der Simulationsdaten, RVS 02.01.22 und Statistik Austria Daten

Auf der Strecke A01/A21 im Szenario 2: 100km/h/70 km/h (Tabelle 34a/b) wurde auf Basis der Berechnungen eine Betriebskostenerhöhung von 5 Cent pro Fahrzeug für PKW, 5 Cent pro Fahrzeug für leichte LKW, 2 Cent pro Fahrzeug für schwere LKW (N2) und 3 Cent pro Fahrzeug für schwere LKW (N3), was relativ gesehen jeweils 3% ausmacht, festgestellt.

Auf der Strecke A10 wurde auf dem Streckenabschnitt eine durchschnittliche Betriebskostenzunahme von 9 Cent bzw. 6% pro Fahrzeug für PKW, 9 Cent bzw. 5% pro Fahrzeug für leichte LKW, 5 Cent bzw. 7% pro Fahrzeug für schwere LKW (N2) und 6 Cent bzw. 5% pro Fahrzeug für schwere LKW (N3) CO₂ berechnet.

Tabelle 34a: Betriebskosten im Szenario: 100 km/h / 70 km/h Untersuchungsfall 2

F2S2 (a)		Wertangaben als Kostendifferenz zwischen Szenario und Bestand							
Strecke	RFB	Fahrzeitabhängige Betriebskosten Szenario-Bestand [€/Fz-s] inkl. Personalkosten				Energiekosten Szenario-Bestand [€/Fz-s]			
		PKW	LKW N1	LKW N2	LKW N3	PKW	LKW N1	LKW N2	LKW N3
A01/A21	1	0,063	0,063	0,212	0,254	-0,018	-0,010	-0,008	0,015
A10 km 38 -53	1	0,111	0,111	0,584	0,699	-0,025	-0,020	-0,041	-0,110

Quelle: eigene Berechnung anhand der Simulationsdaten, RVS 02.01.22 und Statistik Austria Daten

Tabelle 34b: Betriebskosten im Szenario: 100 km/h / 70 km/h Untersuchungsfall 2

F2S2 (b)		Wertangaben als Kostendifferenz zwischen Szenario und Bestand							
Strecke	RFB	Betriebskosten Szenario-Bestand [€/Fz-s]				Prozentuelle Veränderung der Betriebskosten Szenario-Bestand [€/Fz-s]			
		PKW	LKW N1	LKW N2	LKW N3	PKW	LKW N1	LKW N2	LKW N3
		A01/A21	1	0,045	0,053	0,205	0,269	3%	3%
A10 km 38 -53	1	0,086	0,091	0,543	0,590	6%	5%	7%	5%

Quelle: eigene Berechnung anhand der Simulationsdaten, RVS 02.01.22 und Statistik Austria Daten

Zusammenfassung der Ergebnisse in Bezug auf die Betriebskosten

In den meisten betrachteten Fällen, ist eine Zunahme der Betriebskosten feststellbar. Dies liegt vor allem an dem Verhältnis zwischen den Betriebskostengrundwerten und den Nettokraftstoffpreisen. Nur auf der A08-Strecke in beiden Fahrtrichtungen im Untersuchungsfall 1 und Szenario mit der höchstzulässigen Geschwindigkeit 110 km/h / 80 km/h ist eine Betriebskostenreduktion zu sehen was daran liegt, dass die herangezogenen Betriebskostengrundwerte fahrzeitabhängig sind, und es auf dieser Strecke zu einer Zeitreduktion kommt.

Interessant ist auch, dass obwohl für schwere LKW (N3) die höchsten Kostensätze für die Betriebskostengrundwerte und Fahrerkosten zu verrechnen sind, diese im Untersuchungsfall 1 deutlich geringere Betriebskosten aufweisen als die Fahrzeuge der Klasse N2 auf. Dies liegt vor allem an den sehr hohen Kraftstoffersparnissen, die die Schwere Lastkraftfahrzeuge N3 im Vergleich des Szenarios zum Bestand aufzeigen.

Im Gegensatz dazu sind im Untersuchungsfall 2 die Betriebskostenzunahmen der Fahrzeugklasse N3 geringfügig höher als die der Fahrzeugklasse N2. Der Grund dafür sind vermutlich, die mit der Längstneigung verbundenen CO₂ Zunahmen bzw. geringeren CO₂ Abnahmen der schweren Lastkraftfahrzeugen (N3).

5.2.4. Unfallkosten

Ein Zusammenhang zwischen der Fahrgeschwindigkeit und der Unfallwahrscheinlichkeit, bzw. den Unfallkosten wird zwar angenommen, jedoch mangelt es an kleinräumigen Untersuchungen, um diese These wissenschaftlich ausreichend stützen zu können. Zudem werden Unfallkosten laut RVS nach Straßenkategorie: A und S Bundesstraßen, Sonstige Freilandstraßen und Straßen im Ortsgebiet differenziert und ermittelt (RVS 02.01.22 2010:24). Das Projekt A + S Decarb beschäftigt sich ausschließlich mit A und S Bundesstraßen. Somit werden die Unfallkosten im Variantenvergleich nicht einbezogen, da sie als in den unterscheidlichen Varianten nicht variieren.

5.2.5. Monetäre Bewertung der Faktoren

Um die Veränderungen von Reise- bzw. Transportzeiten mit dem CO₂-Ausstoß im Rahmen der Analyse vergleichbar zu machen und besser bewerten zu können, ist eine Monetarisierung sinnvoll. Die Werte der Zeiteinheit und des CO₂ Ausstoßes wurden mit den in der RVS 02.01.22 angeführten Zeitkostensätzen und dem CO₂-Kostensatz monetär ausgedrückt. Diese werden in weiterer Folge als Reisezeit- bzw. Transportzeitkosten (oder zusammengefasst Zeitkosten) und Klimakosten angeführt. Die in der Richtlinie genannten Sätze wurden mit dem Verbraucherpreisindex an das Jahr 2018 angepasst. Die ausgerechneten Klimakosten ergeben sich durch die Multiplikation der CO₂-Masse mit einem angenommenen CO₂-Kostensatz von 59,2 EUR pro Tonne. Die Reisezeit- bzw. Transportzeitkostensätze hingegen werden nach Fahrzeugtyp differenziert. Da die Betriebskosten bereits monetär erfasst werden, werden sie in der Zusammenstellung der Kosten nur ergänzt.

Für PKW, mit einem durchschnittlichen Besetzungsgrad von 1,15, wurde ein durchschnittlicher gewichteter Kostensatz von 12,3 EUR/Personenstunde angenommen. Dieser ergibt sich aus der Gewichtung der Kostensätze für Geschäftsverkehr, BerufspendlerInnenverkehr sowie Ausbildungs-, Freizeit-, Einkaufs-, und Erledigungsverkehr. Die Anteile der Wege je Wegezweck der MIV-LenkerInnen wurden anhand von Daten von „Österreich unterwegs 2013/2014“ berechnet (Österreich unterwegs (2013/2014) Anhang C Teil 3 S.32./ Teil 1:44)

Für leichte Kraftfahrzeuge wird gemäß der RVS 02.01.22 (2010:22) der gleiche Kostensatz wie bei Personenkraftfahrzeugen angenommen.

Für die Berechnung der Transportkosten wurden die angepassten Kostensätze für leichte und schwere Kraftfahrzeuge der RVS 02.01.22 und die Daten des Umweltbundesamtes zu den Auslastungsgraden verwendet. Dabei beträgt die durchschnittliche Auslastung für N2 1,58t und für N3 6,56t.(Umweltbundesamt 2019)

In den folgenden Tabellen (Tabelle 35-Tabelle 38) wird ein Saldo aus den Klimakosten, Zeitkosten und Betriebskosten errechnet. Die Werte und Summen zeigen die absolute Veränderung der Kosten in Euro pro Fahrzeug und Strecke der jeweiligen Untersuchungs-fälle und Szenarien zum Bestand.

Untersuchungsfall 1: Wechselnde Geschwindigkeitsbeschränkungen

In den folgenden zwei Tabellen (Tabelle 35-Tabelle 36 a/b) wird die Zusammenführung aller monetären Kosten des Untersuchungsfalls 1: „Wechselnde Geschwindigkeitsbeschränkungen“ dargestellt.

Tabelle 35: Kostentabelle: Szenario 110 km/h / 80 km/h für Untersuchungsfall 1

F1S1		Wertangaben als Kostendifferenz zwischen Szenario und Bestand							
Strecke	RFB	Klimakosten		Zeitkosten		Betriebskosten		Saldo	
		Szenario-Bestand [€/Fz-s]		Szenario-Bestand [€/Fz-s]		Szenario-Bestand [€/Fz-s]		[aus Klima-, Zeit-, und Betriebskosten] [€/Fz-s]	
		PKW	N1	PKW	N1	PKW	N1	PKW	N1
A02 km 292-303	1	-0,004	-0,008	0,087	0,087	0,027	0,015	0,109	0,094
A02 km 292-303	2	-0,003	-0,005	0,054	0,054	0,016	0,010	0,067	0,059
A08 km 0-11	1	-0,001	-0,002	-0,011	-0,011	-0,007	-0,011	-0,019	-0,024
A08 km 0-11	2	0,001	0,000	-0,043	-0,043	-0,019	-0,020	-0,061	-0,063
A09 km 0-11	1	-0,004	-0,007	0,087	0,087	0,027	0,020	0,110	0,100
A09 km 0-11	2	-0,006	-0,010	0,120	0,120	0,039	0,025	0,153	0,135

Quelle: eigene Berechnung anhand der Simulationsdaten, RVS 02.01.22 und Statistik Austria Daten

Tabelle 36a: Kostentabelle: Szenario 100 km/h / 70 km/h für Untersuchungsfall 1

F1S2 (a)		Wertangaben als Kostendifferenz zwischen Szenario und Bestand							
Strecke	RFB	Klimakosten				Zeitkosten			
		Szenario-Bestand [€/Fz-s]				Szenario-Bestand [€/Fz-s]			
		PKW	N1	LKW N2	LKW N3	PKW	N1	LKW N2	LKW N3
A02 km 292-303	1	-0,009	-0,015	-0,012	-0,096	0,228	0,228	0,152	0,631
A02 km 292-303	2	-0,008	-0,011	-0,011	-0,097	0,196	0,196	0,152	0,631
A08 km 0-11	1	-0,006	-0,008	-0,011	-0,061	0,130	0,130	0,152	0,631
A08 km 0-11	2	-0,004	-0,006	-0,011	-0,073	0,098	0,098	0,152	0,631
A09 km 0-11	1	-0,009	-0,013	-0,016	-0,064	0,228	0,228	0,152	0,631
A09 km 0-11	2	-0,011	-0,016	-0,011	-0,073	0,261	0,261	0,152	0,631

Quelle: eigene Berechnung anhand der Simulationsdaten, RVS 02.01.22 und Statistik Austria Daten

Tabelle 36b: Kostentabelle: Szenario 100 km/h / 70 km/h für Untersuchungsfall 1

F1S2 (b)		Wertangaben als Kostendifferenz zwischen Szenario und Bestand							
Strecke	RFB	Betriebskosten				Saldo [€/Fz-s]			
		Szenario-Bestand [€/Fz-s]				[aus Klima-, Zeit-, und Betriebskosten]			
		PKW	N1	LKW N2	LKW N3	PKW	N1	LKW N2	LKW N3
A02 km 292-303	1	0,078	0,063	0,544	0,383	0,297	0,277	0,683	0,919
A02 km 292-303	2	0,067	0,058	0,548	0,379	0,255	0,242	0,688	0,914
A08 km 0-11	1	0,044	0,038	0,547	0,497	0,169	0,160	0,688	1,067
A08 km 0-11	2	0,033	0,028	0,548	0,459	0,127	0,120	0,689	1,018
A09 km 0-11	1	0,078	0,068	0,533	0,487	0,297	0,284	0,669	1,055
A09 km 0-11	2	0,090	0,073	0,547	0,459	0,340	0,317	0,687	1,017

Untersuchungsfall 2: Aufhebung einer Geschwindigkeitsbegrenzung vor großer Längsneigung

Die Tabelle 37, Tabelle 38a und Tabelle 38b zeigen alle monetären Kosten des Untersuchungsfalls 2: Aufhebung einer Geschwindigkeitsbegrenzung vor großer Längsneigung

Tabelle 37: Kostentabelle: Szenario 110 km/h / 80 km/h für Untersuchungsfall 2

F2S1		Wertangaben als Kostendifferenz zwischen Szenario und Bestand							
Strecke	RFB	Klimakosten		Zeitkosten		Betriebskosten		Saldo	
		Szenario-Bestand		Szenario-Bestand		Szenario-Bestand		[aus Klima-, Zeit-, und Betriebskosten]	
		[€/Fz-s]		[€/Fz-s]		[€/Fz-s]		[€/Fz-s]	
		PKW	N1	PKW	N1	PKW	N1	PKW	N1
A01/A21	1	-0,003	-0,002	0,079	0,079	0,028	0,033	0,104	0,110
A10 km 38 -53	1	-0,003	-0,002	0,087	0,087	0,032	0,035	0,116	0,119

Tabelle 38a: Kostentabelle: Szenario 100 km/h / 70 km/h für Untersuchungsfall 2

F2S2 (a)		Wertangaben als Kostendifferenz zwischen Szenario und Bestand							
Strecke	RFB	Klimakosten				Zeitkosten			
		Szenario-Bestand [€/Fz-s]				Szenario-Bestand [€/Fz-s]			
		PKW	N1	LKW N2	LKW N3	PKW	N1	LKW N2	LKW N3
A01/A21	1	-0,005	-0,003	-0,002	0,004	0,130	0,130	0,055	0,230
A10 km 38 -53	1	-0,007	-0,006	-0,012	0,033	0,228	0,228	0,152	0,631

Tabelle 38b: Kostentabelle: Szenario 100 km/h / 70 km/h für Untersuchungsfall 2

F2S2 (b)		Wertangaben als Kostendifferenz zwischen Szenario und Bestand							
Strecke	RFB	Betriebskosten				Saldo [€/Fz-s]			
		Szenario-Bestand [€/Fz-s]				[aus Klima-, Zeit-, und Betriebskosten]			
		PKW	N1	LKW N2	LKW N3	PKW	N1	LKW N2	LKW N3
A01/A21	1	0,045	0,053	0,205	0,269	0,171	0,180	0,258	0,503
A10 km 38 -53	1	0,086	0,091	0,543	0,590	0,307	0,313	0,683	1,254

Zusammenfassung der Ergebnisse der monetären Bewertung

Obwohl in den meisten Fällen die Klimakosten durch die Geschwindigkeitsreduktion in den Szenarien gesenkt werden können, ist bei der Saldenbildung der Zeitfaktor ausschlaggebender. Je schneller die Strecke befahren wird, desto kostengünstiger ist die Maßnahme aus volkswirtschaftlicher Sicht. Nur im Untersuchungsfall 1: "Wechselnde Geschwindigkeitsbeschränkungen" ergab die Maßnahme, die höchstzulässige Geschwindigkeit für PKW und N1 auf 110km/h auf der Strecke A08 km 0-11 zu harmonisieren, eine Kostenreduktion. Wobei nur auf der Richtungsfahrbahn 1 (RFB1) eine simultane CO₂- und Kostenersparnis festzustellen ist

5.3. Gesamtbetrachtung von unterschiedlichen Dekarbonisierungsmaßnahmen

In einem weiteren Schritt werden die Dekarbonisierungsansätze aus der vorliegenden Studie mit den Projektergebnissen weiterer themenrelevanter Projekte auf nationaler und internationaler Ebene verschnitten und in Form einer Wirkungsmatrixmatrix gesamtheitlich bewertet.

Dabei werden (wie in Kapitel 5.3.2 beschrieben) basierend auf der vorgenommenen Gewichtung die Wirkrichtung bestimmt und Wirkungszusammenhänge sowie Potentiale in Hinblick auf Dekarbonisierung aufgezeigt.

5.3.1. Vorstellung und Zusammenfassung der Ergebnisse relevanter nationaler und internationaler Projekte

Um eine ausgewogene Vergleichsprobe zu gewährleisten, werden schwerpunktbezogen jeweils zwei bis drei Projekte ausgewählt und diese in die drei Themenkategorien Geschwindigkeit, Infrastruktur und Daten/Information/Software eingeteilt.

5.3.1.1 Projekte der Kategorie Geschwindigkeit

Brenner – (LEC):**Lower Emissions Corridor****Förderorganisation:** Life**Koordination:** Provincia Autonoma di Bolzano, Provincia Autonoma di Trento, Università degli Studi di Trento, CISMA, IDM Südtirol**Projektdauer:** 2016 – 2021**Projekthalte Brenner – (LEC):**

Brenner-LEC ist ein Pilotprojekt entlang der Brennerautobahn zur Verringerung der Luft- und Lärmbelastung sowie zum Schutz des Klimas. Folgende Maßnahmen werden auf ihr Schadstoffreduktionspotential untersucht (BrennerLEC 2017):

- Steuerung der Verkehrsströme mittels einer Kombination aus der Freigabe von Pannestreifen und dynamischer Geschwindigkeitsreduzierung
- Dynamische Steuerung der Geschwindigkeitsbegrenzung
- Steuerung der Verkehrsströme anhand „intelligenter“ Beschilderung

Projektergebnisse Brenner – (LEC):

Die erste Testphase ergab, dass durch eine Geschwindigkeitsreduzierung von 15 km/h sowohl die Stickstoffdioxid- (NO₂) als auch Stickstoffmonoxid-Konzentrationen (NO) um ca. 10% (=6 µg/m³, am Straßenrand gemessen) reduziert werden. Des Weiteren wird geschätzt, dass die Anwendung von dynamischer Geschwindigkeitsbegrenzung eine Erhöhung der Fahrzeugkapazität der Straße von ca. 8% ermöglicht. (BrennerLEC, 2017)

MIRAVEC:**Modelling Infrastructure Influence on Road Vehicle Energy Consumption****Förderorganisation:** ERA-NET ROAD**Kooperation:** AIT, TRL, VTI, ZAG, CDV und FEHRL**Projektlaufzeit:** 2011 – 2013**Projekthalte MIRAVEC**

Ziel von MIRAVEC war es einen umfassenden Überblick über Faktoren, die Einfluss auf den Energieverbrauch von Straßenfahrzeugen und auf die CO₂-Reduktion im Straßenverkehr durch Verbesserung der Straßeninfrastruktur haben, zu schaffen (Carlson 2013).

Mit Modellen und Werkzeugen wurde die Bedeutung verschiedener Verkehrsinfrastrukturmerkmale in verschiedenen Situationen (z.B. Topographie oder Netzwerktyp) analysiert und bewertet. Die Projektergebnisse wurden in Form von Empfehlungen für die National Roads Authority (NRA) zusammengefasst. Diese beschreiben, wie die Ergebnisse, Modelle und Werkzeuge im Straßenbewirtschaftungs- und Anlagenmanagement umgesetzt werden können. (Carlson 2013)

Projektergebnisse MIRAVEC

Es wurde der Einfluss des Verkehrsflusses, der Fahrzeugeigenschaften und des Infrastrukturdesigns auf den Energieverbrauch von Fahrzeugen anhand verschiedener Case Studies analysiert. Die folgende Liste stellt eine Auswahl der für Schnellstraßen und Autobahnen relevanten Ergebnisse dar:

- Die Erhöhung der Fahrspuranzahl auf überlasteten Straßen führte zu einer Verringerung der CO₂-Produktion um 14%. Der Ausstoß wurde von 288g auf 247g CO₂ pro Fahrzeug und Kilometer reduziert.
- Die folgende Tabelle zeigt die Veränderung des CO₂ Ausstoßes bei unterschiedlichen durchschnittlichen Jahrestemperaturen (0 und 15°C) sowie die Auswirkungen von extremer Kälte oder Hitze (saisonale Temperaturen). Die Simulation wurde auf hügeligen, britischen Autobahnen und Schnellstraßen durchgeführt.

Temperatur in °C	CO ₂ pro durchschnittliches Fahrzeug und Kilometer (in g)	Veränderung in g	Prozentuelle Veränderung
-15	256	+11	+4.43%
-10	252	+7	+2.92%
0	245	-	-
15	235	-10	-4.13%
35	222	-23	-9.26%
45	219	-26	-10.48%

Tabelle 39: Auszug aus den Projektergebnissen MIRAVEC. Quelle: Eigene Zusammenstellung basierend auf MIRAVEC

- Die Veränderung des Tempolimits für PKWs von 112km/h auf 129km/h ergab eine Erhöhung des CO₂-Ausstoßes um 1,11% (+3g CO₂ pro durchschnittliches Fahrzeug und Kilometer). Bei einheitlichem Tempolimit von 80km/h für alle Fahrzeugkategorien wurden 16,43% (-37g CO₂ pro KFZ und Km) der Schadstoffemissionen eingespart und bei der Reduktion der Höchstgeschwindigkeit für LKWs von 96km/k auf 80km/h wurde 4,35% (-10 g pro durchschnittliches Fahrzeug und Kilometer) weniger CO₂ gemessen.
- Verbesserung des Fahrbahnzustandes bei Veränderung von IRI> 2.5m/km auf IRI=1m/km (International Roughness Index) ergab eine marginale CO₂-Ausstoßveränderung von 0,06%.

5.3.1.2 Projekte der Kategorie Infrastruktur

PERSUADE:

PoroElastic Road Surface: an innovation to Avoid Damages to the Environment

Förderorganisation: FP7-ENVIRONMENT

Koordination: Centre De Recherches Routieres (Belgien)

Projektdauer: 2009-2015

Projekthalte PERSUADE

Das Ziel dieses Projektes war die Entwicklung eines neuen Straßenbelags mit poroelastischer Fahrbahnoberfläche (PERS), der zu einem Großteil aus recycelten Pkw-Reifen sowie einem elastischen Verbundharz besteht. (Goubert 2017)

Projektergebnisse PERSUADE

- Laut Tests senkt der innovative Belag die Geräuschbelastung um 6-10 db.
- Des Weiteren wird die Feinstaubproduktion bei Tempo 70 um 90-95% und dessen Konzentration um bis zu 99% reduziert.
- Der Einsatz von PERS ist jedoch mit einem höheren Rollwiderstand und somit höheren Kraftstoffverbrauch verbunden.
- Der globale Impact des CO₂-Anstiegs wird im Bericht als „marginal“ bezeichnet, detaillierte Berechnungen werden jedoch nicht angeführt, was mit einem geringen Einsatzbereich argumentiert wird. (Goubert 2017)

ERESCON:

Neue Betone für die Infrastruktur, Energie- und Ressourcenoptimiert

Förderorganisation: FFG

Koordination: TU Graz

Projektdauer: 2013 – 2015

Projekthalte ERESCON

Das Projekt beschäftigt sich mit der Entwicklung von Betonen für den Infrastrukturbereich. Ziel war es einen geringeren Primärenergiebedarf und ein verringertes Treibhauspotenzial als derzeit übliche Betonsorten zu erreichen und eine Mischung mit gleichbleibend guter Verarbeitbarkeit und Festigkeit herzustellen. In umfangreichen Prüfungen wurde die Leistungsfähigkeit nachgewiesen. Bei gleichbleibender (oder teilweise besserer) Verarbeitbarkeit, Festigkeit und Dauerhaftigkeit verringerten sich die Umweltwirkungen. Die CO₂-Emissionen (gerechnet in GWP! - kg CO₂ äquiv.) wurden für die Bauleistungen „Beton-, Stahlbeton- und Mauerungsarbeiten“ um 20% (in einzelnen Fällen um bis zu 30%) und der Primärenergiebedarf (CED/KEA) von Eco-Betonen um 10% - 20% im Vergleich zu Standard- Betonen reduziert. (Juhart et al 2015:2,63-64)

Projektergebnisse ERESCON

Die folgenden Abbildungen zeigen eine Gegenüberstellung der Umweltauswirkungen (Treibhauspotential/ Primärenergiebedarf gesamt) für einen Normalbeton (Tragwerksbeton C35/45/45) und eine gleichwertige, ökologische Betonrezeptur. (Juhart et al 2015:61)

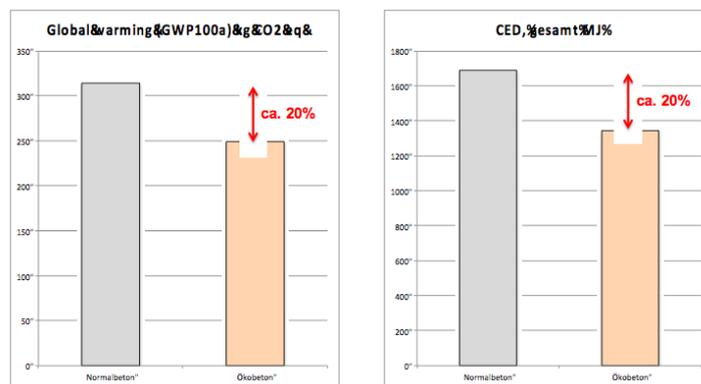


Abbildung 32: Auszug aus den Projektergebnissen von ERESCON.

Quelle: Projekt ERESCON

5.3.1.3 Projekte der Kategorie Daten/Information/Software

Combined Variable Speed Limit (VLS) and Lane Change Control (LC) for Highway Traffic

Herausgeber: IEEE

Koordination: Yihang Zhang & Petros A. Ioannou

Jahr: 2017

Studieninhalte

In Rahmen der Studie wird ein kombinierter Spurwechsel (LC)- und VSL- Kontrollschema entwickelt, das Zeitverluste und Kapazitätsabbau bei Bottlenecks auf der Autobahn reduzieren soll. Die VSL- in Kombination mit LC-Steuerung ist in der Lage, signifikante Verbesserungen in den Bereichen Verkehrsmobilität, Sicherheit und Umwelt zu erzielen. (Zhang 2017;1812)

Studienergebnisse

Das Tool reduziert den Kraftstoffverbrauch und die Schadstoffemissionen auf zwei Arten: Erstens verkürzt es die durchschnittliche Fahrzeit um 6,25% - 22,13% und senkt somit die Emissionswerte der im Verengungsbereich stehenden Fahrzeuge. (Zhang 2017;1822). Zweitens werden die Emissionen durch die Verbesserung des Verkehrsflusses und Reduktion der Notwendigkeit von Beschleunigung und Abbremsung verringert. In der Simulation wird der Kraftstoffverbrauch, und etwa proportional dazu die CO₂ Emissionen, um 4,26% - 8,82% reduziert. Des Weiteren sinkt die NO_x-Emissionsrate um etwa 3,54% - 6,71% und die PM₂₅-Emissionsrate um 3,74% - 7,73%. (Zhang 2017;1823)

Study of Intelligent Transportsystems (ITS) for reducing CO₂ emissions for passenger cars

Herausgeber: ERTICO ITS Europe

Koordination: Yihang Zhang & Petros A. Ioannou

Jahr: 2015

Studieninhalte:

Die Studie bewertet den Einfluss verschiedener bestehender ITS-Maßnahmen zur Reduktion der CO₂-Emissionen von Pkw mit Verbrennungsmotor. Dabei werden die Ergebnisse verschiedener Projekte mit unterschiedlichem Kontext und Schwerpunkten aufgezeigt. Untersucht werden fahrzeuginterne Anwendungen und ITS-bezogene Infrastrukturmaßnahmen, die die Fahrdynamik oder den Straßenverkehr beeinflussen und somit die Emissionen reduzieren können. (Pandazis 2017:9)

Studienergebnisse:

Die Anwendungen lassen sich in acht Gruppen teilen, wobei in diesem Rahmen nur Ergebnisse angeführt werden, die sich konkret mit Straßen auf denen man über 100 km/h fahren darf befassen (diese betreffen 4 Gruppen).

Navigation / Eco-Routing

Diese Systeme verwenden Echtzeitinformationen, um Verkehrsflüsse zu optimieren, etwa indem sie Alternativrouten zu Straßen mit Staus vorschlagen. Basierend auf Navteq, ICT- EMISSIONS und euroFOT ergab sich eine Reduktion der Emissionen von 3%-25%. (Pandazis 2017:36)

Driver behaviour/ Eco-driving

Eco-Driving analysiert tatsächliches Fahrverhalten und gibt ausgehend davon On-Trip Beratung und Post-Trip Feedback, um das Verhalten zu optimieren (Pandazis 2017:23). Systeme, die sich damit befassen, sind zum Beispiel eCoMove, RAC, Navteq, ICT-EMISSIONS und HECO₂. Dabei wurden auf Autobahnen CO₂-Einsparungen von 5,5% verzeichnet. (Pandazis 2017:36)

ISA (Intelligent Speed Adaptation)

ISA ist eine Technologie die im Auto installiert ist, um eine Anpassung an das Tempolimit eines bestimmten Straßenabschnitts zu bewirken. Neben gesetzlich vorgeschriebenen Geschwindigkeitsbegrenzungen kann in Zukunft auch die Geschwindigkeit situationsbedingt angepasst werden (Europäische Kommission 2019). Dazu ergab ein Feldversuch in Großbritannien eine Reduktion des CO₂-Ausstoßes um 3,4%. (Pandazis 2017:37)

ACC (Adaptive Cruise Control)

Ein ACC passt die Geschwindigkeit eines Fahrzeuges automatisch an das vorausfahrende Fahrzeug an (Pandazis 2017). Dabei wird das Beschleunigungsverhalten beeinflusst und Emissionen können reduziert werden. Systeme wie ICT- EMISSIONS oder euroFOT ergaben CO₂ Reduktionen von 2,1%-9%. (Pandazis 2017:37)

Die Abbildung 33 gibt einen Überblick über die Einsparungspotentiale die in der Studie zusammengefasst sind sowie die Informationen in welchem Kontext und auf welche Art sie erhoben wurden.

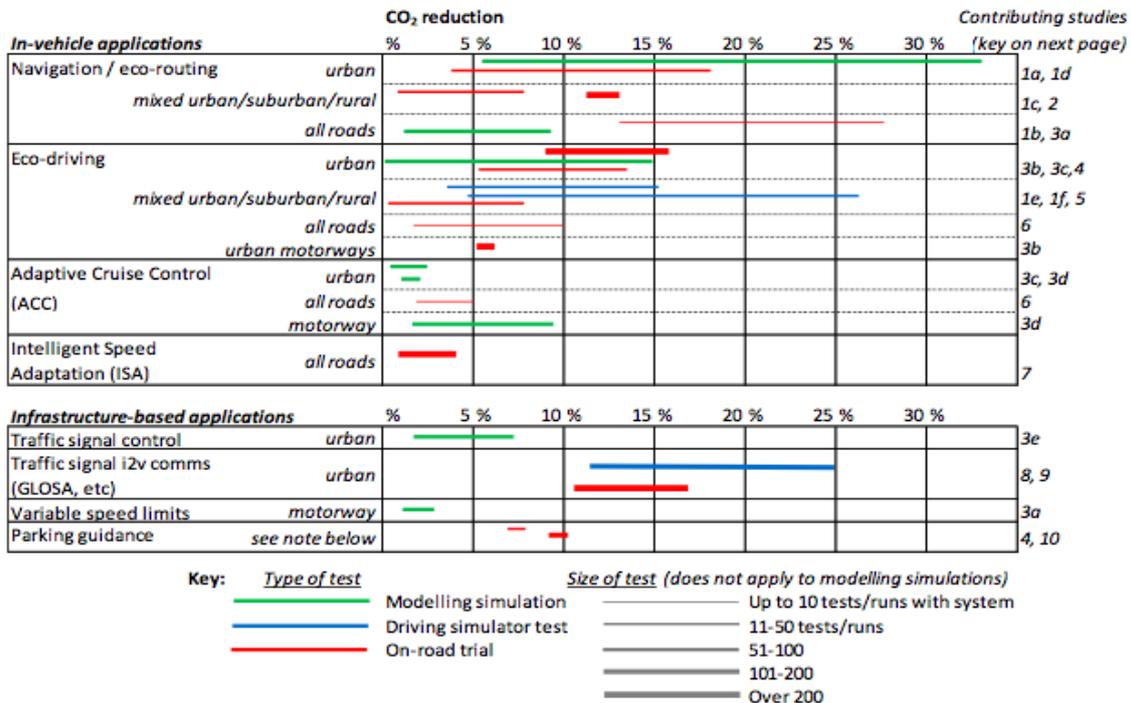


Abbildung 33: Auszug aus den Ergebnissen der Studie „Study of Intelligent Transportsystems (ITS) for reducing CO₂ emissions for passenger cars“. Quelle: Zhang & Ioannou, 2015

5.4. Bewertungsmatrix

Im folgenden Abschnitt sind die verschiedenen Projektergebnisse zusammen mit den Ergebnissen aus A+S Decarb in Form einer Matrix aufgeschlüsselt und bewertet. Die Bewertung basiert auf der prozentuellen Veränderung, um eine Vergleichbarkeit der Projekte zu ermöglichen. Dabei wird die Wirkungsrichtung (positiv, negativ) in der Matrix durch Farben ausgedrückt. Eine relative Veränderung von über 10% bzw. unter -10% wird als starke Einwirkung eingestuft und durch die Kreisgröße entsprechend gekennzeichnet (siehe Legende). Der Vergleich der Auswirkungen kann jedoch nur innerhalb eines Projektes stattfinden, auf Grund der unterschiedlichen Ausgangssituationen und Berechnungseinheiten. Die Matrix schafft somit nicht nur einen Überblick über die vorangegangenen Projekte, sondern ermöglicht auch einen groben Überblick über Wirkungszusammenhänge und Potenziale.

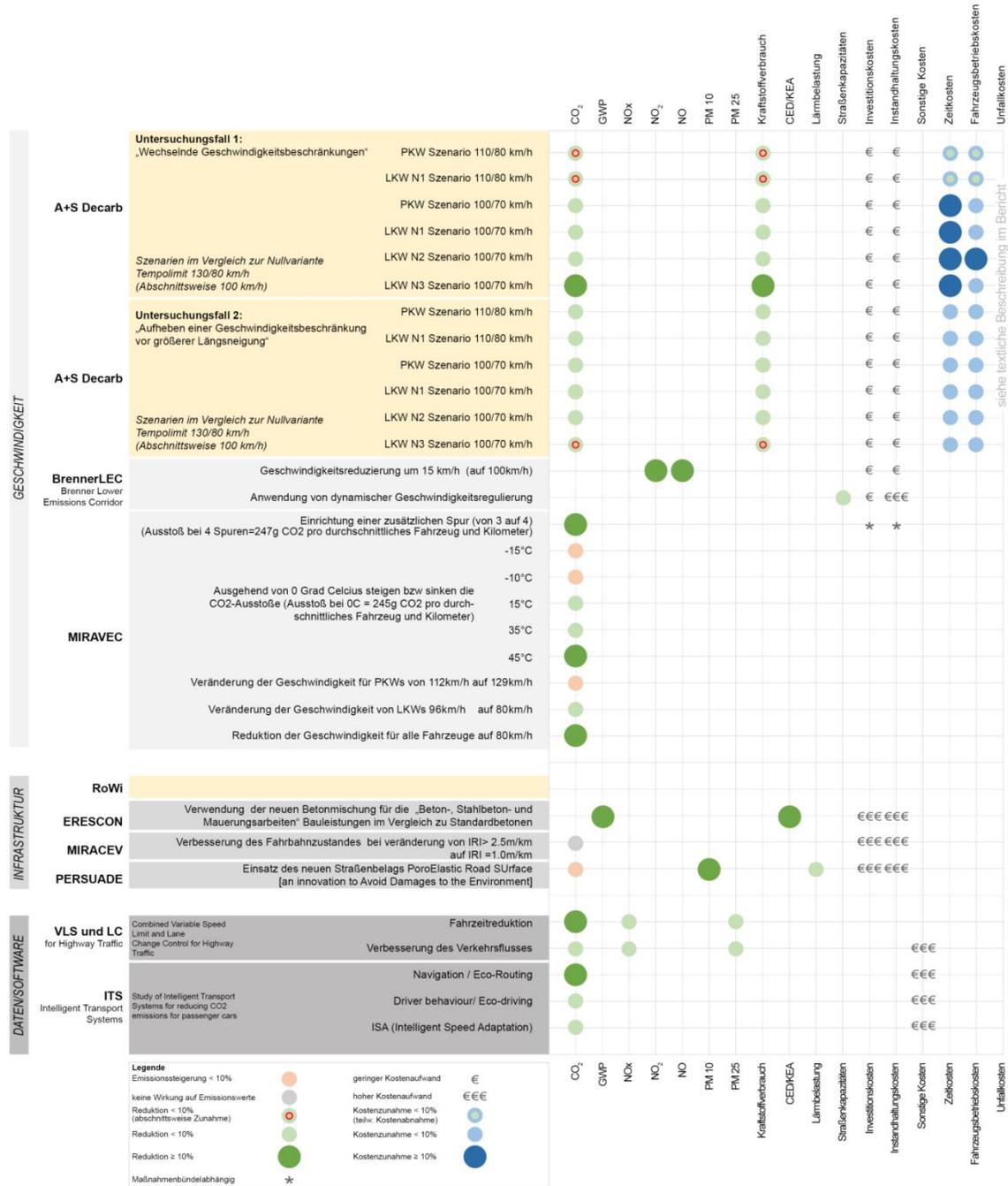


Abbildung 34: Wirkungsmatrix. Quelle: Eigene Darstellung

Zusammenfassung der Wirkungszusammenhänge der Matrix

Maßnahmen zur Emissionsreduktion, die Einfluss auf die Fahrgeschwindigkeiten haben, stehen vor allem bei Geschwindigkeitsreduzierungen im direkten Zusammenhang mit Zeitkosten. Hinzu kommt, dass keine pauschale Aussage getroffen werden kann, dass tiefer angesetzte Tempolimits automatisch zu einer geringeren Schadstoffbelastung führen, da unterschiedliche Gegebenheiten des Fahrbahnverlaufs, wie z.B. Längsneigungen, Einfluss auf die Effizienz der gesetzten Maßnahmen nehmen. Wesentlich ist, dass bei den angeführten Projekten die Harmonisierung des Verkehrsflusses zu überwiegend positiven Ergebnissen führt, wobei dabei die Anwendung von Assistenzprogrammen und dynamischen Geschwindigkeitsregulierungen die kostengünstigere Variante ist.

Des Weiteren wird deutlich, dass das Potenzial zur Emissionseinsparung in der Reduktion des Schwerverkehrsanteils (LKW der Klasse N2,N3) liegt.

Die Evaluierung von Maßnahmen im Bereich der Infrastruktur zeigt bei allen angeführten Projekten einen Zusammenhang mit hohen Investitions- und Instandhaltungskosten. Beispielsweise haben eine Reduktion des Rollwiderstandes oder der Einsatz des innovativen Straßenbelages in Rahmen des Projekts "*Persuade*" nur einen geringen Einfluss auf die CO₂-Emissionen, wobei anzumerken ist, dass bei letzterem die Feinstaubwerte [PM10] deutlich gesenkt werden und diese Reduktion nicht proportional mit den CO₂-Werten einhergeht. Anhand des Projekts ERESCON wird jedoch deutlich, dass im Bereich der Infrastrukturentwicklung das Potenzial der Einsparung von CO₂-Emissionen vor allem in deren Herstellungsverfahren liegt.

Eine weitere Methode, die zur Harmonisierung und Verbesserung des Verkehrsflusses beiträgt, scheint die Entwicklung von entsprechenden Softwareprodukten zu den Maßnahmen im Bereich der Fahrzeitreduktion, Spurwechselassistenten oder intelligenten Systemen zur Routenwahl bzw. individuell angepassten Fahrgeschwindigkeiten zu sein. Die damit einhergehende Emissionsreduktion ist allerdings auf Grund der aufwendigen Entwicklung solcher Assistenzprogramme mit hohen Kosten verbunden.

6. QUELLENVERZEICHNIS

- Benbow, E. (2013).). *Deliverable 3.1: Potential for NRAs to provide energy reducing road infrastructure* Abgerufen am 10. 10 2019 von URL:https://www.cedr.eu/download/other_public_files/research_programme/era_net_road/call_2011/energy/miravec/04_miravec_d3.1_v1.0.pdf
- BrennerLEC (2017) *Anwendung der dynamischen Tempolimits auf der A22. Zusammenfassender Bericht der ersten Testphase*
- Carlson, A., (2013) *Deliverable 2.1: Models and methods for the estimation of fuel consumption due to infrastructure parameters.* Abgerufen am 19. 09 2019 von https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/03_miravec_d2_1_v5.0.pdf
- Europäische Kommission (2019) *Intelligent Speed Adaptation (ISA).* Abgerufen am 19. 09 2019 von https://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/speed/new_technologies_new_opportunities/intelligent_speed_adaptation_isa_en
- Geistefeldt, J. (2008). *Vierstreifige Richtungsfahrbahnen - Verkehrsablauf, Verkehrssicherheit und Gestaltung.* Lehrstuhl für Verkehrswesen. Bochum: Ruhr-Universität Bochum.
- Goubert, L. (2017). Final Report Summary - PERSUADE (PoroElastic Road SUrface: an innovation to Avoid Damages to the Environment) Abgerufen am 19. 09 2019 von <https://cordis.europa.eu/project/rcn/92732/reporting/es>
- Juhart, J., Baldermann, M. C., David, G.-A., Fischer, G., Passer, A., Geowissenschaften, A., Krüger, P. M. (2015). Ergebnisbericht zum Forschungsprojekt „ERESCON“.
- Kraftfahrt-Bundesamt. (2018). *Bestand am 1. Januar 2018 nach Segmenten.* Abgerufen am 02. 05 2019 von https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Segmente/segmente_node.html
- Pandazis, J., & Winder, A. (2015). Study of Intelligent Transport Systems for reducing CO₂ emissions for passenger cars. *European Road Transport Telematics Implementation Coordination Organization*, 1(9), 49.
- Pumberger, A., Fessler, T., & Authried, N. (2011). *Lkw-Geschwindigkeitsverhalten auf Autobahnen.* Erstellt: Kuratorium für Verkehrssicherheit. Wien: Arbeiterkammer Wien.

STATISTIK AUSTRIA (2017), Gütereinsatzstatistik Großhandelspreisindex 2017, VPI 2017; Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus; E-Control. Erstellt am 15.2.2019.

Technische Universität Graz - Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik. (2006). *Evaluierung der emissionsseitigen Auswirkungen der Einführung einer durchgehenden 100 km/h Beschränkung auf der A 12 bei Imst anhand gemessener Geschwindigkeitsverteilungen*. Graz.

Umweltbundesamt. (1999). *Umweltauswirkungen von Geschwindigkeitsbeschränkungen*. Berlin.

Umweltbundesamt. (2019). *Emissionskennzahlen Datenbasis 2017*.

Umweltbundesamt. (2019). *JVerbrauch in kWh/Pkm oder Tkm Emissionskennzahlen*.
Abgerufen am 19. 08 2019 von
https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/verkehr/1_verkehrsmittel/EKZ_Pkm_Tkm_Verkehrsmittel.pdf

Umweltbundesamt. (2019). *Verkehr beeinflusst das Klima - Hauptverursacher bei den klimarelevanten Gasen*. Wien.

Zhang, Y., & Ioannou, P. A. (2017). Combined Variable Speed Limit and Lane Change Control for Highway Traffic. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(7), 1812–1823. <https://doi.org/10.1109/TITS.2016.2616493>

RVS 02.01.22, Nutzen-Kostenuntersuchungen im Verkehrswesen (Oktober 2010), Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien.