



**TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN**

**DIPLOMARBEIT**

**„Weiterentwicklung der Lebenszyklusemissionsprognose für  
Fahrzeugflotten um Motorräder im Inlandsverkehr sowie LKW unter  
Berücksichtigung des Inlands- und Transitverkehrs.“**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines  
„Diplom-Ingenieurs“ unter der Leitung von

**Univ. Prof. Dr. techn. Bernhard Geringer**

und

**Senior Scientist Dr. techn. Werner Tober**

**E315**

**Institut für Fahrzeugantriebe und Automobiltechnik**

eingereicht an der Technischen Universität Wien

**Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften**

von

**B.Sc. Gregor Lischka**

**01609913**

# I. Diplomaufgabe



Institut für Fahrzeugantriebe  
und Automobiltechnik  
Getreidemarkt 9  
A-1060 Wien  
<http://www.ifa.tuwien.ac.at>

Univ.-Prof. Dr. Dipl.-Ing.  
Bernhard GERINGER  
Institutsvorstand  
tel.: +43-1/ 58801-31500  
fax: +43-1/ 58801-31599  
[bernhard.geringer@tuwien.ac.at](mailto:bernhard.geringer@tuwien.ac.at)

## DIPLOMAUFGABE

Herrn Gregor Lischka, Matr.Nr.: 01609913 wird folgende Diplomaufgabe gestellt:

**“ Weiterentwicklung der Lebenszyklusemissionsprognose für Fahrzeugflotten um  
Motorräder im Inlandsverkehr sowie LKW unter Berücksichtigung des Inlands- und  
Transitverkehrs.“**

Im Einzelnen sind folgende Punkte zu bearbeiten:

Die bestehende Lebenszyklusemissionsprognose [1], welche bereits für PKW und leichte Nutzfahrzeuge (N1-Klasse) existent ist, soll um zwei weitere Fahrzeugklassen erweitert werden:

- Motorräder (L-Klasse)
- Mittlere und schwere Nutzfahrzeuge (N2- & N3-Klasse)

Dabei soll für die Motorräder die bestehende Methode übernommen werden, bei der nur die Lebenszyklusemissionen des Inlandsverkehrs berücksichtigt werden.

Bei den mittleren und schweren Lastkraftwagen (N2- & N3-Klasse) sollen neben den Lebenszyklusemissionen des Inlandsverkehrs auch der Transitverkehr berücksichtigt werden.

Das Ziel der Arbeit ist der strukturelle Aufbau der Erweiterungen der bestehenden Lebenszyklusemissionsprognose und nicht ein exaktes Ausarbeiten der benötigten Daten.

Ein gebundenes Exemplar, das ungebundene Original und eine Version der Diplomarbeit auf Datenträger sind am Institut für Fahrzeugantriebe und Automobiltechnik der Technischen Universität Wien abzugeben.

Dauer: November 2021 – September 2022

Kennzahl: E 315

Die Ergebnisse der Arbeit sind vertraulich zu behandeln und dürfen nur mit schriftlicher Genehmigung des Institutsvorstandes weitergegeben bzw. veröffentlicht werden.

Die Benutzung der Versuchseinrichtungen des Institutes hat in den Dienststunden und unter Anleitung des Betreuers zu erfolgen. Dabei dürfen alle Arbeiten nur unter besonderer Beachtung der geltenden Sicherheitsvorschriften durchgeführt werden.

**Einverstanden:**

.....  
**B.Sc. Gregor Lischka**

**Betreuer am Institut:**

.....  
**Senior Scientist Dr. techn. Werner Tober**

.....  
**Univ. Prof. Dr. techn. Bernhard Geringer  
Institutsvorstand**

## II. Eidesstattliche Erklärung

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

### **Weiterentwicklung der Lebenszyklusemissionsprognose für Fahrzeugflotten um Motorräder im Inlandsverkehr sowie LKW unter Berücksichtigung des Inlands- und Transitverkehrs.**

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin. Ich erkläre weiters an Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Arbeiten selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, am 14. September 2022

---

Gregor Lischka

#### Sperrvermerk:

Ich weise darauf hin, dass die Diplomarbeit vertrauliche Informationen und unternehmensinterne Daten beinhaltet. Daher ist eine Veröffentlichung oder Weitergabe von Inhalten an Dritte ohne die vorherige Einverständniserklärung des Instituts für Fahrzeugantriebe und Automobiltechnik nicht gestattet.

### III. Vorwort

Diese Arbeit schließt einen für mich wichtigen Lebensabschnitt ab, der mir viel Wissen und auch viele neue Bekanntschaften gebracht hat. Ich bin froh, diesen Abschnitt mit einer spannenden Diplomarbeit über das Thema Emissionsfreisetzung des österreichischen Straßenverkehrs abschließen zu dürfen.

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Menschen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Diplomarbeit unterstützt haben. Besonders hervorheben möchte ich an dieser Stelle:

- Univ. Prof. Dr. techn. Bernhard Geringer für die Ermöglichung dieser Arbeit am Institut für Fahrzeugantriebe und Automobiltechnik der TU Wien.
- Senior Scientist Dr. techn. Werner Tober, für die wissenschaftliche und persönliche Betreuung der Diplomarbeit sowie seinem fachlichen Input und konstruktive Hilfestellungen.
- Dr. techn. Thomas Bruckmüller, welcher stets für Fragen zu seiner Arbeit zur Verfügung stand, sowie für seine fachlichen Anmerkungen.
- Dipl.-Ing. Robert Rosenitsch für die Unterstützung in der Datenbeschaffung sowie für seinen fachlichen Input.
- Dr. techn. Josef Graf für die Korrektur meiner Arbeit.

Besonderer Dank gilt an dieser Stelle meiner Familie, allen voran meinen Eltern Gabriele und Hermann Lischka, welche mich während des gesamten Studiums finanziell als auch mit hilfreichen Ratschlägen unterstützt haben und in schwierigen Zeiten immer für mich da waren. Hervorheben möchte ich auch meine Oma Helga Lischka, welche mir finanziell als auch mit stets gut gemeinten Worten zur Seite stand. Großer Dank gilt auch meiner Freundin Lisa Mascherbauer, die trotz der beschränkten Zeit mich immer bestmöglich unterstützt und zu mir gehalten hat.

Zu guter Letzt möchte ich mich auch bei meinen Studienkollegen für die gute Zusammenarbeit während der Studienzeit bedanken, welche das Studium erleichtert aber auch erheitert haben.

Ich wünsche viel Freude beim Lesen der Arbeit!

---

Wien, am 14. September 2022

## IV. Kurzfassung

Im letzten Jahrzehnt ist aufgrund des stetig voranschreitenden Klimawandels der Verkehrssektor zunehmend in den Fokus der Politik gerückt und es wurden eine Vielzahl an Maßnahmen verabschiedet. Seit der Einführung des Flottengrenzwertes und der Schadstoffklassen haben sich die Emissionen der Neufahrzeuge bereits deutlich reduziert. Allerdings wirken sich diese Maßnahmen primär auf die Neufahrzeugen auf, welche aber nur einen kleinen Teil der Bestandsflotte darstellen. Eine Reduktion der Emissionen der gesamten österreichischen Fahrzeugflotte tritt mit deutlicher Zeitverzögerung auf. Um fundierte Aussagen über die Emissionsentwicklung in Österreich treffen zu können, ist es daher erforderlich, den gesamten Fahrzeugbestand zu untersuchen.

Diese Arbeit basiert auf der bereits bestehenden Flottenemissionsprognose für Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen, welche es ermöglicht, die Emissionen des gesamten österreichischen Fahrzeugbestandes über das Fahrzeugleben im Sinne eines Life-Cycle-Assessments (Ökobilanz) zu bewerten. Ziel dieser Diplomarbeit ist die Weiterentwicklung der Flottenemissionsprognose um die Fahrzeugklasse Motorräder (L-Klasse) sowie um die mittleren und schweren Nutzfahrzeuge, wobei bei den schweren Nutzfahrzeugen auch der Transitverkehr in Österreich berücksichtigt werden soll.

Grundlage der Erweiterung bilden die Referenzfahrzeuge, Emissions- und Bestandsdaten sowie die Fahrleistung des österreichischen Verkehrs. Die Referenzfahrzeuge wurden anhand von gemittelten Fahrzeugspezifikationen gewählt, sodass diese möglichst exakt die entsprechenden Fahrzeugklassen abbilden. Bei den Emissionsdaten sei anzumerken, dass diese größtenteils aus Kostengründen nicht neu angefragt wurden. Die Bestandsdaten wurden überwiegend von der Statistik Austria bezogen, wobei in der Auswertung der Daten einige Annahmen getroffen wurden, um diese in der benötigten Form aufbereiten zu können. Die Fahrleistung stammt von der zentralen Begutachtungsplakettendatenbank (§57a-Begutachtung) und wurde entsprechend der Fahrzeugklassen und Antriebsarten ausgewertet.

Nach der Datengewinnung wurden die Daten in Matlab ausgewertet, wobei das Programm um die neuen Fahrzeugklassen erweitert und um Berechnungsänderungen angepasst wurde.

Die berechneten Ergebnisse dieser Arbeit sind mit einer nicht näher bekannten Ungenauigkeit aufgrund fehlender Emissionsdaten der erweiterten Fahrzeugklassen behaftet, sodass die dargestellten Verläufe lediglich als grober Richtwert zu sehen sind. Hauptverursacher der CO<sub>2</sub>-Äquivalenten-Emissionen in Österreich sind die

Fahrzeugklassen Personenkraftwagen gefolgt von den leichten und schweren Nutzfahrzeugen, wobei in allen drei genannten Klassen die „Tank to Wheel“-Emissionen dominieren. Trotz der zunehmend strengeren Gesetzgebung ist ersichtlich, dass die Emissionen der Gesamtflotte nur langsam abnehmen. Dies ist auf den steigenden Fahrzeugbestand als auch der Tatsache zurückzuführen, dass es bei den alternativen Antriebsarten zu einer Verschiebung im Zeitpunkt der Emissionsfreisetzung in Richtung Fahrzeugherstellung kommt.

Im Vergleich zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen konnte der Stickoxidausstoß seit der Einführung der Schadstoffklassen in der Vergangenheit trotz steigendem Fahrzeugbestandes und zunehmender Fahrleistung deutlich reduziert werden. Hier sind der Hauptverursacher die Dieselfahrzeuge. Zukünftig ist eine weitere Reduktion des Stickoxidausstoßes erwartbar.



In the last decade, due to the steadily progressing climate change, the transport sector has increasingly become the focus of politics and measures have been adopted. Since the introduction of the “emission performance standard” and the “vehicle emission standard”, emissions from new vehicles have already fallen significantly. However, these measures primarily affect the new vehicles, which only represent a small part of the existing fleet. A reduction in emissions from the entire Austrian vehicle fleet occurs with a significant time lag. In order to be able to make well-founded statements about the development of emissions in Austria, it is therefore necessary to examine the entire vehicle stock.

This work is based on the existing fleet emission forecast for passenger cars and light commercial vehicles, which makes it possible to evaluate the emissions of the entire Austrian vehicle stock over the vehicle life in the sense of a life cycle assessment. The aim of this diploma thesis is the further development of the fleet emission forecast for the vehicle class motorcycles as well as for medium and heavy commercial vehicles, whereby the transit traffic in Austria should also be taken into account for heavy commercial vehicles.

The extension is based on the reference vehicles, emission and inventory data as well as the mileage of Austrian traffic. The reference vehicles were selected on the basis of averaged vehicle specifications so that they reflect the corresponding vehicle classes as precisely as possible. With regard to the emission data, it should be noted that these were not requested again for the most part for cost reasons. The inventory data was mainly obtained from Statistik Austria, whereby some assumptions were made in the evaluation of the data in order to be able to prepare them in the required form. The mileage comes from the central „Begutachtungsplakettendatenbank (§57a)“ and was evaluated according to the vehicle classes and drive types.

After data acquisition, the data was evaluated in Matlab, with the program being expanded to include the new vehicle classes and adjustments to the calculations.

The calculated results of this work are subject to an inaccuracy that is not known in more detail due to the lack of emission data for the extended vehicle classes, so that the curves shown are only to be seen as a rough guide. The main sources of CO<sub>2</sub>-equivalent emissions in Austria are the vehicle classes passenger cars, followed by light and heavy commercial vehicles, with “tank to wheel”-emissions dominating in all three classes mentioned. Despite the increasingly strict legislation, it can be seen that emissions from the entire fleet are only slowly decreasing. This is due to the increasing number of vehicles and the fact that with alternative drive types there is a shift in the time when emissions are released in the direction of vehicle manufacture.



Compared to CO<sub>2</sub>-emissions, nitrogen oxide emissions have been significantly reduced since the introduction of the vehicle emission standard in the past, despite the growing number of vehicles and increasing mileage. The main culprits here are diesel vehicles. A further reduction in nitrogen oxide emissions can be expected in the future.

## V. Abkürzungsverzeichnis

BEV	Battery Electric Vehicle
CH <sub>4</sub>	Methan
CNG	Compressed Natural Gas
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CO <sub>2e</sub>	CO <sub>2</sub> -Äquivalent
CRG	Compressed Renewable Gas
EOL	End Of Life
EZ	Erstzulassung
FAME	Fatty Acid Methyl Esters
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
FT	Fischer-Tropsch
GG	Gesamtgewicht
HEV	Hybrid Electric Vehicle
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil
LCA	Life Cycle Assessment
LDT	Light-Duty Trucks
LKW	Lastkraftwagen
LPG	Liquefied Petroleum Gas
N <sub>2</sub> O	Lachgas
NO <sub>x</sub>	Stickoxide
PC	Passenger Cars
PHEV	Plug-in-Hybrid Electric Vehicle
PKW	Personenkraftwagen
TTW	Tank To Wheel
VKM	Verbrennungskraftmaschine
WTT	Well To Tank

## VI. Inhaltsverzeichnis

I.	Diplomaufgabe .....	I
II.	Eidesstattliche Erklärung .....	III
III.	Vorwort .....	IV
IV.	Kurzfassung .....	V
V.	Abkürzungsverzeichnis .....	IX
VI.	Inhaltsverzeichnis .....	X
1	Einleitung .....	1
1.1	Flottenverbrauch .....	2
1.2	Life Cycle Assessment (LCA) .....	4
1.3	Flottenemissionsprognose .....	5
2	Methodischer Ansatz.....	8
3	Flottenstatistik .....	11
3.1	Bestandsdaten bis 2019 .....	11
3.1.1	PKW und leichte Nutzfahrzeuge.....	12
3.1.2	Motorräder (L-Klasse).....	12
3.1.2.1	L1e-Klasse .....	13
3.1.2.2	L3e-Klasse .....	13
3.1.2.3	LRest-Klasse.....	14
3.1.3	Mittlere und schwere Nutzfahrzeuge (N2 & N3) .....	14
3.2	Neuzulassungen .....	19
3.2.1	PKW und leichte Nutzfahrzeuge.....	19
3.2.2	Motorfahräder (L1e) .....	19
3.2.3	Motorräder (L3e).....	20
3.2.4	Restliche L-Klasse (LRest) .....	20
3.2.5	Nutzfahrzeuge (N1, N2 und N3) .....	21
3.3	Ausscheider .....	25
3.3.1	PKW und N1-Klasse .....	25
3.3.2	L1e-Klasse.....	25
3.3.3	L3e-Klasse.....	26

3.3.4	LRest-Klasse .....	26
3.3.5	N2-Klasse .....	27
3.3.6	N3-Klasse .....	28
3.4	Zukünftige Prognose .....	29
3.5	Recycling/Export .....	32
4	Referenzfahrzeuge.....	35
4.1	PKW & N1 .....	35
4.2	L1e-Klasse .....	36
4.3	L3e-Klasse .....	37
4.4	LRest-Klasse.....	39
4.5	N2-Klasse .....	41
4.6	N3-Klasse .....	44
5	Fahrleistungen .....	49
5.1	PKW und leichte Nutzfahrzeuge (N1) .....	49
5.2	L-Klasse .....	49
5.3	Mittlere und schwere Nutzfahrzeuge.....	53
5.4	Transitverkehr .....	56
6	Emissionsdaten.....	60
6.1	Allgemeine Annahmen.....	60
6.2	Herstellung.....	61
6.3	Betrieb .....	61
6.4	End of Life (EOL) .....	63
6.5	Well to Tank (WTT).....	63
6.6	Tank to Wheel (TTW).....	64
7	Datenverarbeitung.....	67
8	Ergebnisse .....	69
8.1	Flottenemissionsprognose aller Fahrzeugklassen .....	69
8.2	PKW.....	77
8.3	L1e-Klasse .....	78
8.4	L3e-Klasse .....	79

---

8.5	LRest-Klasse.....	80
8.6	N1-Klasse .....	82
8.7	N2-Klasse .....	83
8.8	N3-Klasse .....	85
9	Zusammenfassung und Ausblick .....	87
10	Literaturverzeichnis .....	89

# 1 Einleitung

Derzeit findet in der Automobilindustrie eine Transformation weg vom klassischen Verbrennungsmotor hin zu alternativen Antriebssystemen statt. Hintergrund dieses Wandels ist der stetig voranschreitende Klimawandel. Der Straßenverkehr verursachte im Jahr 2018 knapp ein Viertel des gesamten Kohlenstoffdioxidausstoßes in der Europäischen Union [2]. Dieser Anteil lag 1990 noch bei knapp 16 %. Doch durch die starke Zunahme des Fahrzeugbestandes als auch der Fahrleistung sind die Emissionen seither stark angestiegen. Um diesem Trend entgegenzuwirken, hat man in den letzten Jahren einige Maßnahmen gesetzt, wie zum Beispiel die Flottenemissionsgrenzwerte für Fahrzeughersteller. Für die Automobilhersteller bedeutet dies allerdings, dass emissionsärmere alternative Antriebssysteme entwickelt und auf den Markt gebracht werden müssen, um diese Grenzwerte auch zukünftig zu erfüllen und Strafzahlungen zu vermeiden. Derartige Maßnahmen ermöglichen es der Politik, den Antriebswandel kontinuierlich voranzutreiben. Das oberste Ziel sollte dabei stets sein, dass diese emissionsärmeren Fahrzeuge das Potential haben, den Emissionsausstoß des Verkehrs langfristig und global senken zu können, ohne die Fahrzeughalter in der Fahrleistung einzuschränken.

Um die Wirkung gesetzter Maßnahmen bewerten bzw. prognostizieren zu können, haben sich unter anderem der Flottenverbrauch als auch das Life Cycle Assessment (oder im Deutschen auch „Ökobilanz“ genannt) erfolgreich etabliert. Diese beiden Ansätze wurden von T. Bruckmüller in der publizierten Arbeit „Lebenszyklusanalyse für Fahrzeugflotten – Kombination aus Ökobilanz und Emissionsprognose zur gesamthaften Umweltbewertung von bestehenden und neuen alternativen Antrieben und Kraftstoffen“ [1] kombiniert. Diese Kombination ermöglicht es, die Vorteile beider Methoden bestmöglich auszunutzen und die Emissionen der gesamten Flotten unter Berücksichtigung des Fahrzeugalters und der über das Fahrzeugalter anfallenden Emissionen abzubilden.

Die genannte Arbeit dient als Grundlage dieser Diplomarbeit, deren Ziel es ist, die bestehende Flottenemissionsprognose um die Fahrzeugklasse L (Zwei- und dreirädrige Kraftfahrzeuge sowie leichte vierrädrige Kraftfahrzeuge) als auch die Fahrzeugklassen N2 & N3 (mittlere und schwere Nutzfahrzeuge) zu erweitern.

In dieser Arbeit werden zunächst die zugrundeliegenden Ansätze näher erläutert, gefolgt vom methodischen Ansatz im Kapitel 2, welcher für die Erweiterung der Fahrzeugklassen gewählt wurde. Die darauffolgenden Kapitel 3 bis 6 beschäftigen sich mit der Beschaffung der notwendigen Daten, welche die Basis der Flottenemissionsprognose bilden. Dabei wird die Herkunft und die Genauigkeit der

Daten erläutert, sowie die Datenaufbereitung für die Weiterverarbeitung näher beschrieben. Anschließend an die Datenbeschaffung erfolgt die Datenverarbeitung inkl. der Berechnung der Emissionen in Kapitel 7. Die dabei erzielten Ergebnisse werden in Kapitel 8 diskutiert und zu guter Letzt enthält diese Arbeit eine Zusammenfassung inklusive zukünftigem Ausblick.

## 1.1 Flottenverbrauch

Beim Flottenverbrauch werden Emissionen (z.B.: Kohlenstoffdioxid), Schadstoffe (z.B.: Stickoxide) oder der Energieverbrauch einer Neuwagenflotte eines Herstellers oder eines Gebietes (z.B.: Österreich) berechnet. Grundlage in Europa bilden dafür meist die auf Rollenprüfständen gemessenen Werte in Kombination mit der von der Europäischen Union vorgegebenen Berechnungssystem zur Bestimmung der Emissionen und Schadstoffe eines Fahrzeuges, siehe Verordnung 2019/63 [3] sowie EG 715/2007 [4] für Personenkraftwagen.

Anhand der Emissionswerte der einzelnen Fahrzeuge und deren Absatzzahlen im betrachteten Jahr und Gebiet kann ein repräsentativer Emissionswert für die gesamte Neuwagenflotte ermittelt werden, welcher dem Flottenverbrauch für das Jahr entspricht.

Für die Fahrzeughersteller ist der Flottenverbrauch für Europa dahingehend wichtig, ob der für das Kalenderjahr von der Europäischen Union vorgegebenen Flottenemissionsgrenzwert eingehalten wurden oder nicht und somit Strafzahlungen fällig werden.

Für Staaten ist der Flottenverbrauch dahingehend von Bedeutung, um zu wissen, welche Emissionen von den Neufahrzeugen durchschnittlich emittiert werden. Anhand der zeitlichen Entwicklung des Flottenverbrauches ist ersichtlich, ob sich die Emissionen der betrachteten Flotte zukünftig reduzieren werden oder nicht, siehe Abbildung 1. Dabei sind die historischen als auch prognostizierten Energieverbräuche in kWh/100 km dargestellt. Man erkennt, dass sich u.a. aufgrund von Weiterentwicklungen die Energieverbräuche sowohl beim konventionellen Verbrennungsmotor als auch bei den elektrifizierten Fahrzeugen zukünftig in Österreich reduzieren werden. Einzig bei der Antriebsart „BEV 1 – Strom“ nimmt der Energieverbrauch zu, was mit einer wachsenden Batteriegröße und einem Trend zu größeren batterieelektrischen Fahrzeugen begründet wird. Bei gleichbleibender Fahrzeugkonfiguration „BEV 2 – Strom“ sinkt auch hier der Energiebedarf aufgrund von prognostizierten Weiterentwicklungen der Fahrzeuge.



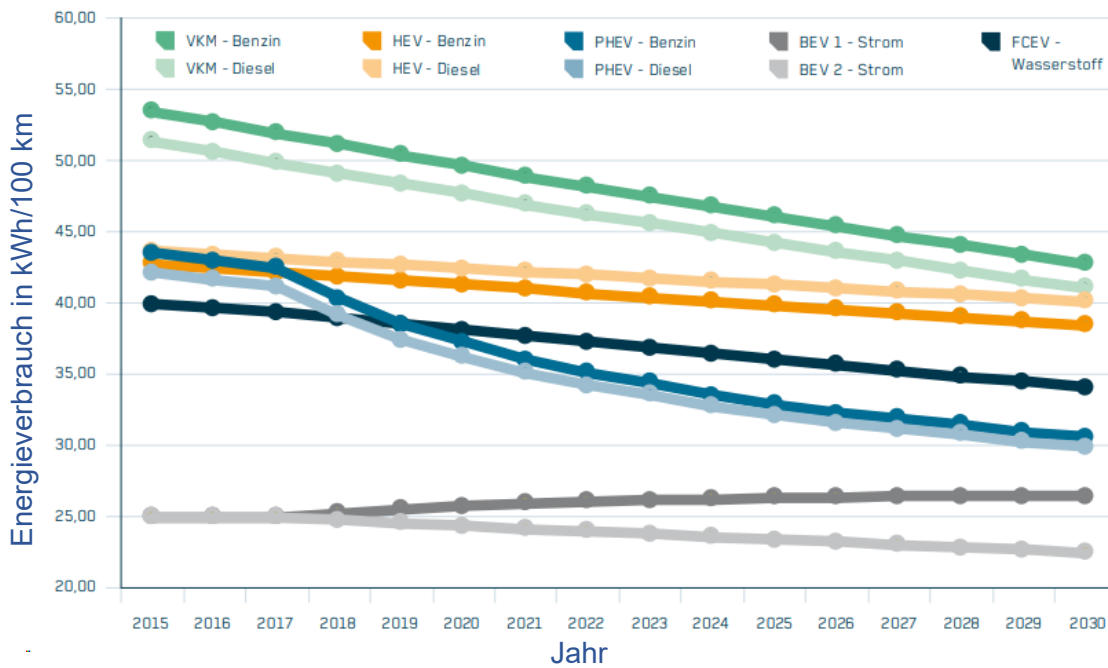


Abbildung 1: Zeitliche Entwicklung und Prognose des Energieverbrauches in kWh/100 km der österreichischen Neuwagenflotte unterteilt nach Antriebsarten. [5]

Nachteil der Betrachtung des Flottenverbrauches ist, dass nur die Neuzulassungen und somit nur ein sehr kleiner Teil der Gesamtflotte betrachtet wird. Die gesamte Flotte nähert sich diesen Werten zeitverzögert an. Dabei geht man von ca. 10 Jahren aus, bis ca. 85 % der Bestandsflotte die Werte der damaligen Neufahrzeuge erreichen, siehe Abbildung 2. Das bedeutet wiederum, dass sich gesetzte Maßnahmen wie Schadstoffklassen oder Flottenemissionsgrenzwerte erst mit deutlicher Zeitverzögerung auf die gesamte Flotte auswirken und ihre volle Wirkung erzielen.

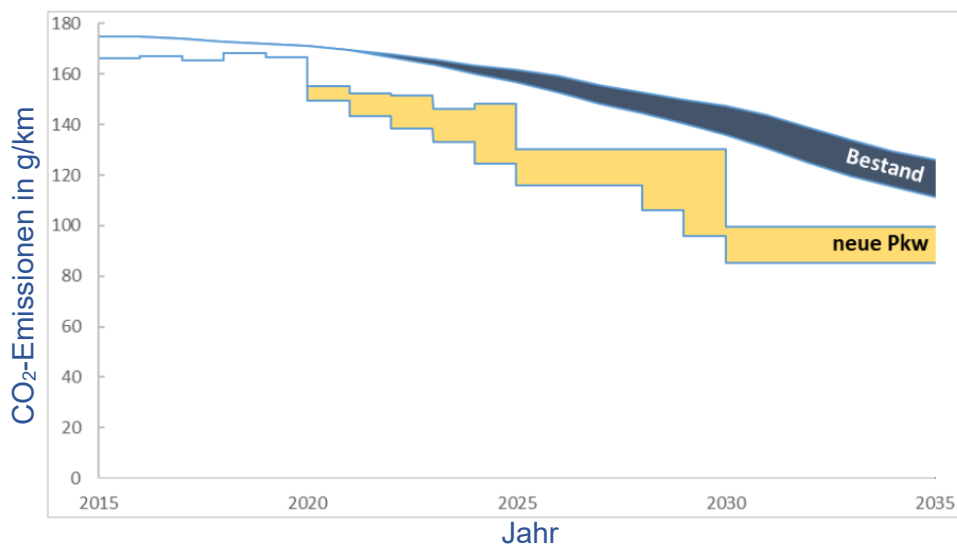


Abbildung 2: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Neufahrzeuge im Vergleich zur Bestandsflotte. [6]

Ein weiterer Nachteil des Flottenverbrauches ist, dass dieser nur jene Emissionen und Schadstoffe berücksichtigt, die während des Fahrzeugbetriebs vom Antriebsstrang erzeugt werden. Nicht bewertet werden allerdings die Emissionen in der Energiebereitstellung sowie sonstige Emissionen, die während eines Fahrzeuglebens anfallen und ebenfalls der Fahrzeugindustrie zuzuordnen sind.

## 1.2 Life Cycle Assessment (LCA)

Die Definition einer LCA oder im Deutschen auch Lebenszyklusanalyse oder „Ökobilanz“ genannt lautet nach ISO 14040 wie folgt [7]:

„Die Lebenszyklusanalyse ist eine Methode zur Abschätzung der Umweltauswirkungen eines Produktes, wobei Umweltaspekte im Verlauf des Lebensweges eines Produktes (d.h. „von der Wiege bis zur Bahre“) von der Rohstoffgewinnung über die Produktion und Verwendung bis zur Beseitigung berücksichtigt werden.“

Bei der LCA wird im Vergleich zum Flottenverbrauch nur ein einziges Fahrzeug betrachtet, dafür werden aber alle Emissionen untersucht, die von der Herstellung über den Betrieb bis hin zur Beseitigung anfallen. Also auch die Bereitstellung der Endenergieträger. Die LCA ermöglicht so einen deutlich besseren Vergleich der verschiedenen Antriebsarten hinsichtlich ihrer tatsächlichen und globalen Umweltauswirkung. Dies ist insbesondere bei Fahrzeugen mit alternativen Antriebssystemen wichtig, da sich der Zeitpunkt der Emissionsfreisetzung im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen verschiebt. So fallen zum Beispiel bei batterieelektrischen Fahrzeugen in der Herstellung deutlich mehr Emissionen an als bei Benzin- oder Dieselfahrzeugen, die wiederum während des Betriebes mehr Emissionen emittieren, siehe [Abbildung 3](#).

Bei der LCA werden die Treibhausgase Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) gemeinsam als CO<sub>2</sub>-Äquivalente betrachtet. Durch die Berücksichtigung der Herstellung der Endenergieträger im Betrieb kann zwischen verschiedenen Energiequellen unterschieden und deren Auswirkung auf die Treibhausgasemissionen eines Fahrzeuges betrachtet werden. So sieht man zum Beispiel in [Abbildung 3](#), dass bei den batterieelektrischen Fahrzeugen einmal ein österreichischer Strommix und einmal ein europäischer Strommix mit höherem Emissionsausstoß in der Stromerzeugung hinterlegt wurde. Die höheren Emissionen in der Stromerzeugung fließen in Abhängigkeit des Stromverbrauches in die Treibhausgase während des Betriebes ein und führen zu höheren kumulierten Werten im Vergleich zum Fahrzeug mit österreichischem Strommix.

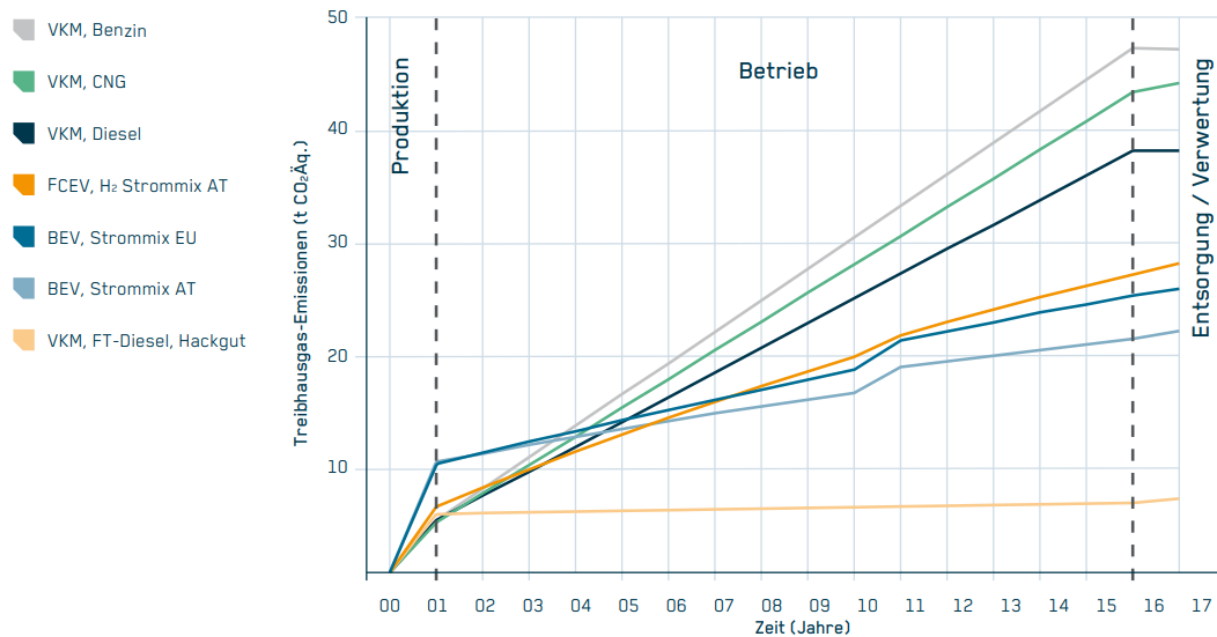


Abbildung 3: Kumulierte CO<sub>2</sub>e-Emissionen einer LCA verschiedener Antriebssysteme in Österreich. [5]

Der große Vorteil der LCA ist somit, dass die Emissionen über ein ganzes Fahrzeulleben betrachtet und die Umweltauswirkungen deutlich besser abgeschätzt werden können als im Vergleich zum Flottenverbrauch. Nachteilig ist aber, dass nur einzelne Fahrzeuge betrachtet werden und keine gesamte Fahrzeugflotte.

### 1.3 Flottenemissionsprognose

Die Flottenemissionsprognose, welche in der Arbeit von T. Bruckmüller [1] verwendet wurde, vereint den Flottenverbrauch und die LCA, sodass die Emissionen der gesamten Flotte über jeweils das gesamte Fahrzeulleben berücksichtigt werden. Vereinfacht wird für jedes Fahrzeug eine LCA gebildet und die Werte aller Fahrzeuge die im betrachteten Jahr hinterlegt sind werden aufsummiert. Dadurch ist es möglich, die tatsächlichen Umweltauswirkungen einer betrachteten Flotte über der Zeit darzustellen, sodass Potentiale von politischen Maßnahmen und neuen Technologien exakter betrachten und bewertbar werden.

Mit der Flottenemissionsprognose kann sowohl mithilfe von historischen Daten in die Vergangenheit als auch mit Prognosedaten in die Zukunft geblickt werden, sodass die Auswirkungen gesetzter Maßnahmen und technologischer Veränderungen frühzeitig abschätzbar sind. Unterschiedliche zukünftige Szenarien ermöglichen einen Vergleich verschiedener Ansätze, um deren unterschiedliche Effekte vergleichbar abzubilden.

Grundlage für all diese zeitlichen Betrachtungen ist die Berücksichtigung der Zeit in der Flottenemissionsprognose. Erst dadurch können die tatsächlichen Emissionen

einer Flotte in einem beliebigen Jahr bestimmt werden. Dabei ist wichtig, dass das Fahrzeugalter in Form der Erstzulassung berücksichtigt wird, um die betrachtete Flotte zeitgerecht und einheitlich abbilden zu können, welche aus Fahrzeugen unterschiedlichen Fahrzeugalters besteht. Denn Fahrzeuge ungleichen Herstellungsjahres weisen unterschiedliche Werte hinsichtlich der Treibhausgase als auch Schadstoffe auf, da sich die Antriebstechnologien aber auch die Herstellungsverfahren über der Zeit weiterentwickelt haben. Gleiches gilt für die Energiebereitstellung. Durch Berücksichtigung des Fahrzeugalters ist diese Weiterentwicklung darstellbar, sodass stets jene Emissionen und Schadstoffe verrechnet werden, welche ein Fahrzeug tatsächlich im betrachteten Jahr emittiert.

Um die Emissionen und Schadstoffe über ein Fahrzeugalter betrachten zu können, wurde die LCA in sechs unterschiedliche Teilbereiche unterteilt:

- **Fahrzeugherstellung:**  
Berücksichtigt jene Emissionen, die während des Herstellungsprozesses des Fahrzeuges anfallen. In der Fahrzeugherstellung fließt auch der Produktionsort des Fahrzeuges sowie von Hauptkomponenten ein. Hier sei stellvertretend die Batterie anzuführen, welche deutliche Unterschiede in den Herstellungsemissionen zwischen Produktionsstandorten in Asien und Europa aufweist.
- **WTT (Well to tank):**  
Von der Primärenergiequelle (Bohrloch/Kraftwerk) bis zum Kraftstofftank/Batterie. Enthält jene Emissionen, die während der Energiebereitstellung anfallen. Zum Beispiel die Emissionen von der Stromerzeugung über den Stromtransport bis zur Ladesäule oder von der Ölförderung über die Raffinerie bis hin zum Transport zur Tankstelle.
- **TTW (Tank to wheel):**  
Vom Kraftstofftank/Batterie bis zum Rad. Berücksichtigt jene Emissionen, die vom Antriebsstrang während des Betriebs in Abhängigkeit des Endenergieträgers emittiert werden.
- **Betrieb (Maintenance, repair and operation, MRO):**  
Enthält jene Emissionen, die während des Betriebs anfallen und nicht zu den TTW-Emissionen zählen. Dabei handelt es sich um Reparaturarbeiten als auch Verschleißteile wie Reifen, Kupplung, Starterbatterie, Motoröl, usw.
- **End of Life (EOL):**  
Im EOL werden jene Fahrzeuge betrachtet, welche nicht ins Ausland weiterverkauft, sondern dem Recyclingprozess zugeführt werden. Beim Recycling kann ein Teil der eingesetzten Primärrohstoffe zurückgewonnen werden, welche in neue Produkte wiederverwendbar sind. Da diese recycelten

Stoffe im Vergleich zu neuen Primärstoffen einen niedrigeren Emissionsausstoß als in der ursprünglichen Herstellung aufweisen, werden diese Emissionen in dieser Arbeit als Gutschrift behandelt. Auf diese Weise können bei Fahrzeugen, welche später diese recycelten Stoffe in der Produktion verwenden, niedrigere Emissionswerte berücksichtigt werden.

- Export:

Für jene Fahrzeuge, welche nicht Recycelt, sondern in das Ausland exportiert werden, wird ebenfalls eine Emissionsgutschrift ermittelt. Diese Gutschrift dient zur Reduktion der Herstellungsemissionen der exportierten Fahrzeuge, da diese Emissionen während der Fahrzeugherstellung als Ganzes für Österreich verrechnet werden, das Fahrzeug aber nur ein Teil seiner Lebensdauer in Österreich verbringt. Mit dieser Gutschrift ist es möglich, die Herstellungsemissionen derart zu reduzieren, dass nur jener Anteil verrechnet wird, welchen das Fahrzeug vom angenommenen Fahrzeugleben in Österreich betrieben wird.

Für diese sechs Teilbereiche werden jeweils für das betrachtete Jahr die Flottenemissionen in Abhängigkeit des Fahrzeugalters berechnet und aufaddiert, sodass sich ein Gesamtwert der emittierten Emissionen bzw. Schadstoffe der betrachteten Flotte ergibt. Ein Beispiel für eine derartige Flottenemissionsprognose ist in Abbildung 4 dargestellt, welche die Treibhausgase von Personenkraftwagen (PC) und leichten Nutzfahrzeugen (LDT) in Österreich über der Zeit darstellt.

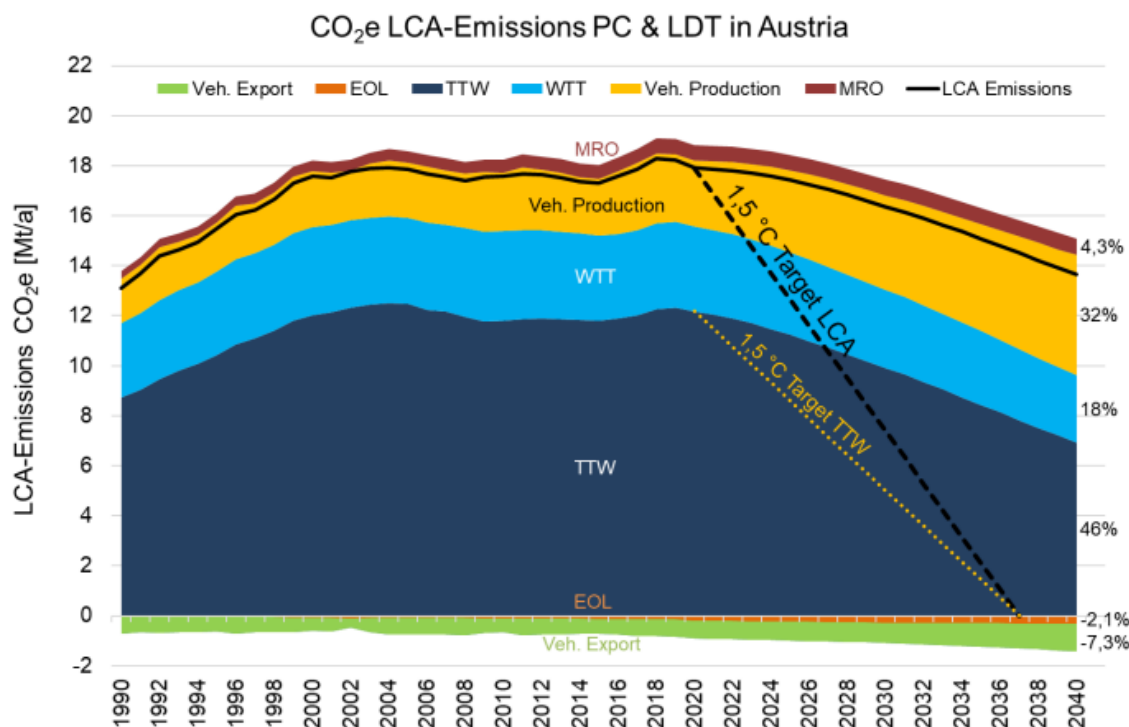


Abbildung 4: Flottenemissionsprognose von Personenkraftwagen (PC) und leichten Nutzfahrzeugen (LDT) in Österreich. [1]

## 2 Methodischer Ansatz

Die Grundlage dieser Diplomarbeit bildet die von T. Bruckmüller im Jahr 2019 publizierte Arbeit „Lebenszyklusanalyse für Fahrzeugflotten – Kombination aus Ökobilanz und Emissionsprognose zur gesamthaften Umweltbewertung von bestehenden und neuen alternativen Antrieben und Kraftstoffen“ [1].

Ausgehend von dieser Arbeit, in welcher die Flottenemissionsprognose für Personenkraftwagen (PKW) und leichte Nutzfahrzeuge (N1-Klasse) in Österreich umgesetzt wurde, soll diese um folgende Klassen erweitert werden:

- Zwei- und dreirädrige Kraftfahrzeuge sowie leichte vierrädrige Kraftfahrzeuge (L-Klasse)
- mittlere und schwere Nutzfahrzeuge (N2- und N3-Klasse) inklusive Sattelzugmaschinen.

In dieser Diplomarbeit soll das grundlegende Schema der zugrundeliegenden Arbeit übernommen werden, welche eine Vereinigung einer klassischen Life Cycle Assessment (LCA) und eines Flottenverbrauches bildet. Ein grober Überblick über das Verrechnungsschema der Arbeit ist in Abbildung 5 ersichtlich.

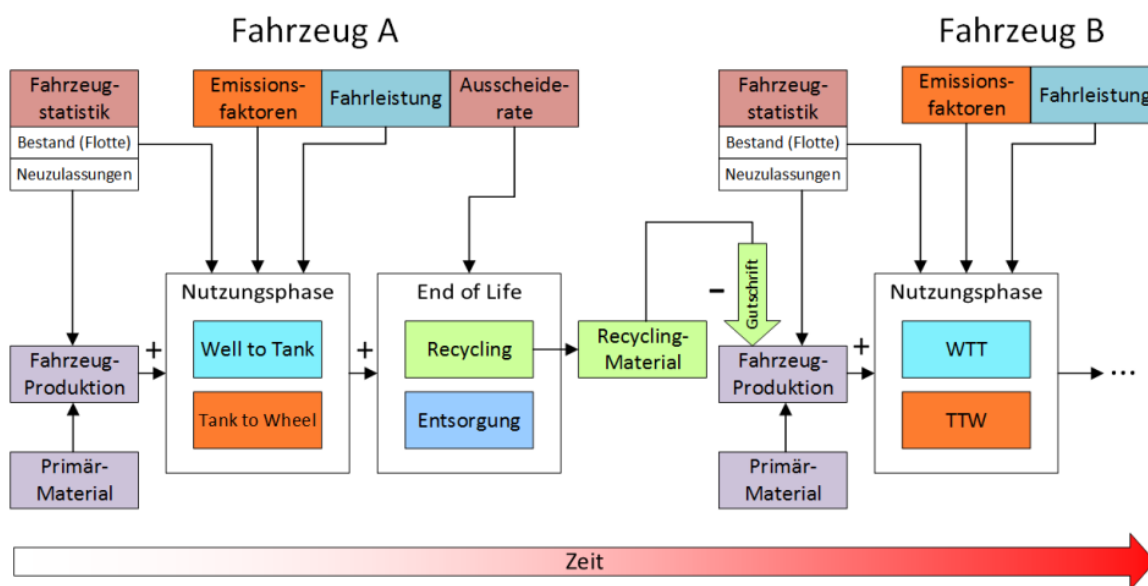


Abbildung 5: Verrechnungsschema der Flottenemissionsprognose. [1]

Mit diesem gemeinsamen Ansatz ist es möglich, die Entwicklung von Treibhausgasäquivalenten (CO<sub>2</sub>e) und Schadstoffen (Stickoxide) der gesamten österreichischen Fahrzeugflotte über der Zeit abzubilden und die Auswirkung gesetzter Maßnahmen (z.B.: Schadstoffklassen) als auch die Effekte zukünftiger Trends (z.B.: zunehmende Elektro-Mobilität) zu bewerten.

Um die Emissionen der beiden zu erweiterten Klassen in Kombination aus Ökobilanz bzw. Life Cycle Assessment (LCA) und Flotten-Emissionsprognose berücksichtigen zu können, wurden in dieser Arbeit zwei unterschiedliche methodische Ansätze verwendet:

- Für die L-Klasse (Krafräder/leicht Kraftfahrzeuge) werden die Emissionen anhand der Bestandsdaten und Fahrleistungen in Österreich registrierter Kraftfahrzeuge berechnet. Hinsichtlich der Emissionen während des Fahrzeugbetriebes wird angenommen, dass die von österreichischen Fahrzeugen im Ausland gefahrenen Kilometer sich mit jenen von ausländischen Fahrzeugen gefahrenen Kilometern in Österreich ausgleichen. Daher werden die Emissionen für den Fahrzeugbetrieb nur anhand der Fahrleistung österreichischer Fahrzeuge ermittelt.
- Für die N2- & N3-Klasse (mittleren und schweren Nutzfahrzeuge) inklusive Sattelzugmaschinen werden jene Emissionen, welche in der Fahrzeugherstellung und Entsorgung anfallen, anhand der in Österreich registrierten Fahrzeuge berechnet. Die Emissionen während des Fahrzeugbetriebes sollen aber sowohl die Fahrleistung inländischer als auch ausländischer Kraftfahrzeuge berücksichtigen. In diesem Fall gleichen sich die Fahrleistung von österreichischen Fahrzeugen im Ausland nicht mehr mit jenen ausländischen Fahrzeugen in Österreich aus. Daher sind für die Nutzfahrzeuge genauere Daten hinsichtlich der Fahrleistung nötig.

Für die Umsetzung dieser beiden methodischen Ansätze wird eine Vielzahl an Daten benötigt. Dabei ist wichtig, dass diese Daten immer mit einem Zeitstempel versehen sind, da diese nicht für ein bestimmtes Jahr, sondern für den in der ursprünglichen Arbeit gewählten Zeitbereich von 1950 bis 2050 benötigt werden. Nachstehen die benötigten Daten für beide Ansätze:

- Flottenstatistik der in Österreich registrierten Fahrzeuge, um die Emissionen während der Herstellung, des Betriebes und im End of Life (EOL) bestimmen zu können.
- Referenzfahrzeuge, welche die Klassen bestmöglich abbilden und die Grundlage der Emissionsberechnung für die Fahrzeugherstellung und Entsorgung bilden.
- Fahrleistung österreichischer Kraftfahrzeuge, um die TTW-Emissionen während der Fahrzeugnutzung sowie die Emissionen für den Betrieb (u.a. Verschleißteile) berechnen zu können.
- Emissionsdaten für die Fahrzeugherstellung, den Betrieb (Verschleißteile), die Energieumwandlung (Tank to Wheel, TTW), in der Beseitigung (End of Life,



EOL), sowie der Energiebereitstellung (Well to Tank WTT). Diese Emissionsdaten bilden die Basis der gesamten Flottenemissionsprognose.

Zusätzlich werden für die mittleren und schweren Nutzfahrzeuge die Jahreskilometer benötigt, welche die nicht in Österreich registrierten Nutzfahrzeuge auf der österreichischen Autobahn zurücklegen, um die Betriebsemissionen dieser Fahrzeuge bestimmen zu können, welche diese Fahrzeuge in Österreich verursachen.

Die gesammelten Daten werden in ein Matlab-Programm eingelesen und ausgewertet. Dieses Programm muss im Rahmen dieser Arbeit hinsichtlich der neuen Fahrzeugklassen erweitert werden. Dabei wird aufgrund der langen Rechendauer zunächst jede Fahrzeugklasse für sich berechnet und erst in einem letzten Schritt die berechneten Emissionen der einzelnen Fahrzeugklassen in eine gemeinsame Flottenemissionsprognose zusammengeführt. Zu guter Letzt werden Diagramme generiert, welche die Entwicklungen der Emissionen bestmöglich abbilden bzw. die zu untersuchenden Effekte darstellen.

## 3 Flottenstatistik

Die Basis der Lebenszyklusemissionsprognose bildet, neben den Emissions- und Fahrzeugdaten, die Flottenstatistik für den österreichischen Verkehr zur Bestimmung der Emissionen während der Herstellung, für den Betrieb sowie für Recycling bzw. Export. Die Flottenstatistik umfasst in dieser Arbeit folgende Daten:

- Fahrzeugbestände
- Neuzulassungen
- Ausscheider
- Zukünftige Prognosen

Für ein möglichst exaktes Einschwingverhalten des Programmes, werden die Daten wie auch schon bei der ursprünglichen Lebenszyklusemissionsprognose ab dem Jahr 1950 benötigt. Um zukünftige Entwicklungen möglichst gut abbilden zu können, werden die Daten bis 2050 prognostiziert. Somit erstreckt sich der gesamte Zeithorizont der Flottenstatistik von 1950 bis 2050.

Die benötigten historischen Daten wurden bei der Statistik Austria [8] angefragt. Dabei sei zu erwähnen, dass die Bestandsdaten und Neuzulassungen erst ab 2006 digital verfügbar waren. Für die Jahre 1950 bis 2005 wurden die Daten vor Ort in der Statistik Austria eingeholt, indem die Jahresberichte gesichtet und die benötigten Daten digitalisiert wurden.

### 3.1 Bestandsdaten bis 2019

Bei den Bestandsdaten wird wie bereits erwähnt zwischen den historischen Daten und den zukünftig prognostizierten Daten unterschieden. Die historischen Bestände erstrecken sich über den Zeitraum von 1950 bis 2019. Ab 2020 werden die Bestandsdaten mithilfe der Neuzulassungen und Ausscheider prognostiziert, siehe Kapitel 3.4.

Bei den Bestandsdaten muss zudem zwischen den sieben in der Flottenemissionsprognose berücksichtigten Antriebsarten unterschieden werden, nämlich:

- Verbrennungsmotor Benzin (VKM-Benzin)
- Verbrennungsmotor Diesel (VKM-Diesel)
- Verbrennungsmotor Gas (VKM-CNG)
- Plug-in-Hybrid Benzin (PHEV-Benzin)
- Plug-in-Hybrid Diesel (PHEV-Diesel)
- Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV)

- Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV)

Benötigt werden die Bestandsdaten der einzelnen Fahrzeugklassen nach dem Jahr der Erstzulassung, um eine möglichst exakte Prognose zu ermöglichen. Denn in der Fahrzeugflotte befinden sich Fahrzeuge unterschiedlichen Baujahres, welche unterschiedliche Emissionen im Betrieb aufweisen.

### 3.1.1 PKW und leichte Nutzfahrzeuge

Die Flottenbestände von PKW und leichten Nutzfahrzeugen (N1) wurden unverändert von der ursprünglichen Flottenemissionsprognose übernommen, da die Aktualisierung dieser Daten nicht Teil der Diplomarbeit ist.

### 3.1.2 Motorräder (L-Klasse)

Die L-Klasse beinhaltet in Österreich folgende Unterklassen [9]:

- L1e: Leichtes zweirädriges Kraftfahrzeug
- L2e: Dreirädriges Kleinkraftrad
- L3e: Zweirädriges Kraftrad
- L4e: Zweirädriges Kraftrad mit Beiwagen
- L5e: Dreirädriges Kraftfahrzeug
- L6e: Leichte vierrädrige Kraftfahrzeuge
- L7e: Schwere vierrädrige Kraftfahrzeuge

Repräsentativ für das Jahr 2017 sind in Tabelle 1 die Bestandsdaten der L-Klasse unterteilt nach den genannten Unterklassen dargestellt.

Tabelle 1: Bestandsdaten der L-Klasse unterteilt in die sieben Unterklassen in absoluten Zahlen und anteilig für das Jahr 2017. [10]

2017	L1e	L2e	L3e	L4e	L5e	L6e	L7e	Gesamt
Absolut	275.912	897	520.566	-	2.368	12.205	20.271	832.219
Anteilig	33,2%	0,1%	62,5 %	0 %	0,3%	1,5%	2,4%	100%

In Tabelle 1 ist ersichtlich, dass die beiden dominierenden Klassen die L1e-Klasse (33,2 %) und die L3e-Klasse (62,5 %) sind. Diese beiden Klassen haben einen gemeinsamen Anteil von 95,7 % an der gesamten L-Klasse. Daher werden diese beiden Unterklassen einzeln betrachtet und die restlichen L-Klassen (4,3 %) wird in einer gemeinsamen fiktiven Klasse „LRest“ zusammengefasst. Eine Zusammenfassung der L1e-Klasse und L3-Klasse ist nicht sinnvoll, da sich die Fahrzeuge deutlich bei den verursachten Emissionen sowohl in der Herstellung als auch im Betrieb unterscheiden.

Hinsichtlich der verfügbaren Daten von der Statistik Austria muss wie bereits erwähnt zwischen den beiden Zeiträumen vor und nach 2006 unterschieden werden. Nach 2006 sind die benötigten Daten verfügbar und können direkt übernommen werden [10]. Vor 2006 stehen folgende Statistiken zur Verfügung:

- Bestand der L1e-, L3e- und LRest-Klasse nach dem Jahr Erstzulassung. [11]
- Bestand der L1e-, L3e- und LRest-Klasse nach der Antriebsart. [12]

### 3.1.2.1 L1e-Klasse

Erste Bestandsdaten der L1e-Klasse (Motorfahräder) für Österreich wurden im Jahr 1958 publiziert. Bei den Motorfahrädern in der L1e-Kasse wird nur zwischen den beiden Antriebsarten Verbrennungsmotor-Benzin (VKM-Benzin) und batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) unterschieden. Die restlichen ausgewiesenen Antriebsarten machen im Jahr 2017 in Summe nur zwei Fahrzeuge (~0,001 % vom L1e-Bestand) aus und werden zu den Bestandszahlen von VKM-Benzin hinzugezählt. Diese deutliche Reduzierung ist auch dahingehend möglich, dass keine andere Antriebsart in bedeutender Stückzahl zukünftig angenommen wird.

Erste BEV-Motorfahräder wurden im Jahr 1991 ausgewiesen. Bis zum Jahr 1991 sind somit alle Bestandszahlen der Antriebsart VKM-Benzin zugeordnet worden.

Als Ergebnis dieser Klasse wurden die Bestandszahlen jeweils getrennt für die beiden Antriebsarten VKM-Benzin und BEV für jedes Jahr ab 1958 bis 2019 nach dem Jahr der Erstzulassung erfasst.

### 3.1.2.2 L3e-Klasse

Erste Bestandsdaten der L3e-Klasse (MOTORRÄDER) für Österreich wurden bereits vor 1950 publiziert. Für die Emissionsprognose werden aber die Daten erst ab dem Jahr 1950 erfasst. Wie schon bei der L1e-Klasse werden auch hier nur die beiden Antriebsarten VKM-Benzin und BEV berücksichtigt. Die restlich ausgewiesenen Antriebsarten machen im Jahr 2017 nur 54 Fahrzeuge (~ 0,0001 % vom L3e-Bestand) aus und werden wieder zu den Bestandszahlen von VKM-Benzin hinzugezählt. Auch hier ist die Reduktion auf zwei Antriebsarten zulässig, da keine alternative Antriebstechnik in naher Zukunft in bedeutender Stückzahl angenommen wird.

Erste BEV-MOTORRÄDER wurde in Österreich im Jahr 1970 ausgewiesen. Zwischen 1970 und 2005 betragen die Bestandszahlen der BEV-Fahrzeuge maximal 12 MOTORRÄDER. Da erst ab 2006 die Bestände nach dem Jahr der Erstzulassung verfügbar waren, wurden alle BEV-Fahrzeuge bis inklusive 2005 aufgrund der zu vernachlässigbaren Stückzahl zu der Antriebsart VKM-Benzin hinzugezählt und BEV-Fahrzeuge erst ab 2006 als eigene Antriebsart ausgewiesen. Aufgrund der geringen BEV-Stückzahlen

vor 2006 wird durch diese Vereinfachung keine Auswirkung auf die Flottenemissionsprognose erwartet.

Als Ergebnis dieser Klasse wurden die Bestandszahlen wieder jeweils getrennt für die beiden Antriebsarten VKM-Benzin und BEV für jedes Jahr ab 1950 bis 2019 nach dem Jahr der Erstzulassung erfasst.

### 3.1.2.3 LRest-Klasse

Bestandsdaten für die LRest-Klasse wurden erst sehr spät gesondert ausgewiesen und sind erst ab dem Jahr 1998 verfügbar. Im Vergleich zur L1e- und L3e-Klasse wird bei dieser Klasse neben den Antriebsarten VKM-Benzin und BEV auch noch Dieselfahrzeuge (VKM-Diesel) berücksichtigt, da diese vor allem in der L6e-Klasse dominierend sind, siehe Tabelle 2. Diese Reduktion auf drei Antriebsarten ist auch hier zulässig, da zukünftig nicht angenommen wird, dass es eine alternative Antriebsart mit bedeutenden Stückzahlen in dieser Klasse geben wird.

Alle Fahrzeuge mit anderen Antriebsarten („Sonstige“, siehe Tabelle 2) werden zu den Bestandszahlen von VKM-Benzin hinzugezählt, da diese nur in der L5e-Klasse existieren und diese von den Benzinfahrzeugen dominiert wird. Erste BEV-Fahrzeuge wurden in dieser Klasse erst im Jahr 2004 ausgewiesen.

Tabelle 2: Bestandszahlen im Jahr 2017 unterteilt nach Antriebsarten der LRest-Klasse. [10]

2017	VKM-Benzin	VKM-Diesel	BEV	Sonstige	Gesamt
L2e	815	0	82	0	897
L4e	0	0	0	0	0
L5e	2.261	84	18	5	2.368
L6e	2.021	9.905	279	0	12.205
L7e	19.430	138	703	0	20.271
%-Anteil	68,62 %	28,33 %	3,03%	0,02 %	100 %

Als Ergebnis dieser Klasse wurden die Bestandszahlen jeweils getrennt für die drei Antriebsarten VKM-Benzin, VKM-Diesel und BEV für jedes Jahr ab 1950 bis 2019 nach dem Jahr der Erstzulassung erfasst.

### 3.1.3 Mittlere und schwere Nutzfahrzeuge (N2 & N3)

Bei den mittleren und schweren Nutzfahrzeugen war die Datengewinnung deutlich aufwändiger, da die Bestandsdaten vor dem Jahr 2006 nicht in der benötigten Form verfügbar waren. Zudem muss bei den Nutzfahrzeugen der N3-Klasse zwischen Sattelzugmaschinen und Fahrgestell unterschieden werden. In den Jahresberichten der Statistik Austria stehen je nach betrachtetem Jahr folgende Statistiken zur Verfügung:

- Bestand der gesamten N-Klasse unterteilt nach Nutzlast [13]
- Bestand der gesamten N-Klasse nach zulässigem Gesamtgewicht [14]
- Bestand nach Jahr der Erstzulassung für die gesamte N-Klasse [11]
- Bestand nach Antriebsart für die gesamte N-Klasse [12]
- Sattelzugmaschinen nach dem Jahr der Erstzulassung [11]
- Sattelzugmaschinen nach Antriebsart [12]

Bei der Statistik „Bestand der gesamten N-Klasse nach zulässigem Gesamtgewicht“ sei Anzumerken, dass im Jahr 2004 die Grenzen der Gewichtsunterteilungen geändert worden sind, z.B.: von „3000 bis 3499“ auf „3001 bis 3500“. Dieses 1kg macht in den Stückzahlen einen sehr großen Unterschied, insbesondere bei der Grenze zwischen der N1- und N2-Klasse, siehe Tabelle 3. Somit kann diese Statistik nicht für die Aufteilung der Bestände der N-Klasse herangezogen werden.

Tabelle 3: Bestandszahlen der N-Klasse der Statistik „Bestand der gesamten N-Klasse unterteilt nach zulässigem Gesamtgewicht“. [14]

<b>bis 2003</b>	<b>3000-3499 kg</b>	<b>3500-4999 kg</b>
2002	22.350	42.878
2003	23.342	44.795
<b>ab 2004</b>	<b>3001-3500 kg</b>	<b>3501-5000 kg</b>
2004	68.444	1.499
2005	70.368	1.383

Daher wird für die Aufteilung der gesamten Bestände der N-Klasse auf die Unterklassen N1, N2 und N3 die Statistik „Bestand der gesamten N-Klasse unterteilt nach Nutzlast“ herangezogen, da hier keine Änderung der Gewichtsbereiche vorgenommen wurde. Diese Statistik ermöglicht zwar ebenfalls keine exakte Verteilung, da die Nutzlast der Fahrzeuge nur bedingt vom zulässigen Gesamtgewicht abhängt. Jedoch wird angenommen, dass diese Genauigkeit für die Emissionsprognose ausreichend ist. Für die Aufteilung der Bestände in die drei Unterklassen wurden folgende Grenzwerte der Nutzlast gewählt:

- Leichte Nutzfahrzeuge (N1): 0kg – 1999 kg Nutzlast
- Mittlere Nutzfahrzeuge (N2): 2000 kg bis 4999 kg + die Hälfte der Fahrzeuge der Gewichtsklasse 5000 kg – 5999 kg.
- Schwere Nutzfahrzeuge (N3): Hälfte der Fahrzeuge der Gewichtsklasse 5000 kg – 5999 kg + alle Fahrzeuge mit höherer Nutzlast.

Da für die beiden Jahre 2004 und 2005 beide Statistiken (Bestand nach zul. Gesamtmasse und Nutzlast) verfügbar sind, kann die Genauigkeit der Verteilung über die Nutzlast abgeschätzt werden. Dieser Vergleich ist in Tabelle 4 dargestellt. Man

sieht, dass die Verteilung nach Nutzlast von der exakten Verteilung nach zulässigem Gesamtgewicht geringfügig abweicht, diese Abweichung liegt aber bei unter 5 % und wird als ausreichend angesehen. Die Summe der Fahrzeuge für die gesamte N-Klasse ist aber in beiden Statistiken ident.

Tabelle 4: Vergleich der Bestandsaufteilung zwischen zulässigem Gesamtgewicht und Nutzlast für die beiden Jahre 2004 und 2005. [13], [14]

Jahr	N1		N2		N3	
	Zul. GG.	Nutzlast	Zul. GG.	Nutzlast	Zul. GG.	Nutzlast
2004	275.207	277.165	17.077	17.011	40.692	38.800
2005	282.068	283.886	16.179	16.111	40.641	38.891

Für jene Fahrzeuge, die hinsichtlich der Nutzlast als „Unbekannt“ eingestuft werden, wird angenommen, dass sich diese entsprechend der Bestandsanteile der Unterklassen im betreffenden Jahr am Gesamtbestand in diesem Jahr auf diese aufteilen.

Die Bestände der N1-Klasse aus der bestehenden Emissionsprognose werden bewusst nicht verwendet, weil diese Daten ebenfalls eine nicht näher bekannte Ungenauigkeit aufweisen und durch die Verteilung nach Nutzlast es zu Überschneidungen (Doppeltzählungen oder nicht Berücksichtigung) von Beständen kommen kann. Daher werden zukünftig auch die Bestände der N1-Klasse auf die so ermittelte Art über die Nutzlast angepasst, dies ist aber nicht Teil der Diplomarbeit und wird erst zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt. Daher wird in dieser Arbeit noch mit den alten Beständen der N1-Klasse aus der ursprünglichen Flottenemissionsprognose gerechnet.

Im nächsten Schritt wurde die Statistik „Bestand nach Antriebsart für die gesamte N-Klasse“ in die drei Unterklassen N1, N2 und N3 aufgeteilt, da die Bestände nach Antriebsarten nur für die gesamte Nutzfahrzeugklasse verfügbar sind. Dabei wurden folgende Annahmen für die Bestände bis 2005 getroffen:

- Die benzinbetriebenen Fahrzeuge werden nur der N1-Klasse zugeordnet, außer in den ersten Jahren nach 1950. In diesem Zeitraum werden jene Benzinfahrzeuge, welche den Bestand der N1-Klasse übersteigen der N2-Klasse zugeordnet. Diese Annahme wurde getroffen, da bei kleineren Fahrzeugen der Benzinmotor überwiegt und große Lastkraftwagen fast ausschließlich mit Dieselmotoren betrieben werden.
- Die elektrischen Fahrzeuge werden nur der N1-Klasse zugeordnet, da hier angenommen wird, dass kleinere Fahrzeuge leichter zu elektrifizieren sind als große Lastkraftwagen.



- Die gasbetriebenen Fahrzeuge werden nur der N2-Klasse zugewiesen. Gasbetriebene Fahrzeuge sind in bedeutender Zahl nur zwischen 1950 und 1970 ausgewiesen. Da in dieser Zeit die N1-Fahrzeuge als Benzinfahrzeuge angenommen wurden und N3-Fahrzeuge von den Stückzahlen noch sehr gering waren, wurden diese Fahrzeuge der N2-Klasse zugeordnet.
- Die Dieselfahrzeuge der N1- und N2-Klasse ergeben sich aus der Differenz der bereits zugewiesenen Benzin-, Gas- und Elektrofahrzeugen und dem jeweiligen Gesamtbestand der N1- und N2-Klasse für das betrachtete Jahr.
- Die N3-Klasse besteht nur aus Dieselfahrzeugen, da die großen Lastkraftwagen fast ausschließlich, sowohl historisch als auch heutzutage, von Dieselmotoren angetrieben werden.

Somit sind nun die Jahresbestände der drei Klassen N1, N2 und N3 unterteilt nach Antriebsarten bekannt. Im nächsten Schritt müssen für diese Bestände nun noch die Verteilung nach dem Jahr der Erstzulassung ermittelt werden.

Dafür wird die Statistik „Bestand nach Jahr der Erstzulassung für die gesamte N-Klasse“ herangezogen. In dieser Statistik sind jeweils für das entsprechende Jahr die Bestände der N-Klasse unterteilt nach dem Jahr der Erstzulassung enthalten.

Die Bestände nach Jahr der Erstzulassungen wurden nun wie folgt auf die einzelnen Antriebsarten der Unterklassen N1, N2 und N3 verteilt: Die Bestandszahlen einer Antriebsart der jeweiligen Unterklasse (z.B.: N2-Diesel) wird zum Gesamtbestand des jeweils betrachteten Jahres in das Verhältnis gesetzt. Dieser prozentuale Anteil wird anschließend mit den Bestandszahlen nach Erstzulassung multipliziert. Jene Fahrzeuge, welche in der Statistik nach Erstzulassungen als „Unbekannt“ geführt sind, werden ebenfalls nach dieser Gewichtung verteilt, aber jeweils nur zu dem zeitlich spätesten Jahr addiert, welches nach Erstzulassung ausgewiesen ist.

Zum Beispiel:

Im Jahr 1991 beträgt der Bestand der Gesamten N-Klasse 259.308 Fahrzeuge. Davon sind 25.849 Fahrzeuge der Kategorie N2-Diesel zugeordnet worden. Das entspricht einem Anteil von 9,96 %. Somit wurde die Verteilung wie in Tabelle 5 ersichtlich, ermittelt.

Tabelle 5: Verteilung der Bestände der gesamten N-Klasse nach Jahr der Erstzulassung (EZ) am Beispiel von N2-Diesel im Jahr 1991.

Jahr 1991	N-Klasse nach EZ	Anteil N2-Diesel	Bestand N2-Diesel nach EZ ohne „Unbekannt“	Bestand N2-Diesel nach EZ mit „Unbekannt“
bis 1980	55.056	9,96 %	5.488,2	5.490,3
...				
1990	25.482	9,96 %	2.540,2	2.540,2
1991	26.592	9,96 %	2.650,8	2.650,8
Unbekannt	21	9,96 %	2,1	-
Gesamt	259.308	9,96 %	25.849	25.849

Durch diese Verteilung der Bestände bleiben die Summen der Gesamtbestände für die N-Klasse sowohl innerhalb eines Jahres nach Erstzulassung, als auch die Summe der Bestände nach Antriebsarten korrekt, sodass keine Fahrzeuge nicht oder mehrfach berücksichtigt werden. Nachteilig ist aber, dass sich innerhalb einer Antriebsart keine Ganzzahlen bei den Stückzahlen ergeben. Da dies aber für das Programm zur Weiterverarbeitung der Daten kein Problem darstellt, wird auf etwaige Rundungen verzichtet.

Somit konnten nun die Bestände der Unterklassen N1, N2 und N3 nach Antriebsart und Jahr der Erstzulassung ermittelt werden. Im letzten Schritt werden noch die Bestände der Sattelzugmaschinen zu den Beständen der N3-Klasse hinzugefügt.

Statistiken über die Bestände von Sattelzugmaschinen sind erst ab dem Jahr 1968 verfügbar. Zudem sind zwischen 1968 und 2005 bei den Sattelzugfahrzeuge nur Dieselfahrzeuge vorhanden und keine anderen Antriebsarten. Ebenfalls ist auch eine Verteilung der Bestände nach Jahr der Erstzulassung verfügbar, die dank einer Antriebsart direkt übernommen werden kann. Bei den Sattelzugmaschinen wird allerdings nicht nach dem zulässigen Gesamtgewicht unterschieden. Fahrzeuge, welche per Definition in die N1- und N2-Klasse fallen würden (<12.001 kg zulässiges Gesamtgewicht) werden somit auch zur N3-Klasse gezählt. Dieser Fehler ist aber gering und liegt im Jahr 2017 bei 1,38 % vom Gesamtbestand der Sattelzugfahrzeuge, wie Tabelle 6 zeigt.

Tabelle 6: Anteil von Sattelzugfahrzeugen bis 12 Tonnen zulässiges Gesamtgewicht. [15]

Jahr	bis 12.000 kg	ab 12.001 kg	Gesamt	Anteil unter 12 Tonnen
2017	247	17.623	17.870	1,38 %

Eine Verteilung nach zulässigem Gesamtgewicht ist vor 2005 nicht verfügbar. Daher wurde dieser Fehler akzeptiert und die Bestandszahlen der Sattelzugmaschinen nach

dem Jahr der Erstzulassung werden zu den bereits ermittelten Bestandszahlen nach Jahr der Erstzulassung für die Untergruppe N3-Diesel hinzuaddiert. Jene Fahrzeuge, die bei den Sattelzugmaschinen in der Verteilung nach Erstzulassung als „Unbekannt“ eingestuft sind, werden wie auch schon bei den anderen Klassen wieder zum Bestand des spätesten verfügbaren Jahres hinzugezählt.

Für die Bestandsdaten ab 2006 bis 2019 sind alle Daten in der gewünschten Klassifizierung vorhanden [10], sodass diese direkt übernommen werden können. Dabei werden die Sattelzugmaschinen wie gehabt zu den N3-Nutzfahrzeugen entsprechend der jeweiligen Antriebsart hinzugezählt.

Als Ergebnis dieser Klasse wurden die Bestandszahlen für die Fahrzeugkategorien N1, N2 und N3 jeweils getrennt für die sieben Antriebsarten Verbrennungsmotor (Benzin, Diesel und Gas), Plug-in-Hybridfahrzeuge (Benzin, Diesel), batterieelektrische Fahrzeuge und Brennstoffzellenfahrzeuge unterteilt für jedes Jahr ab 1950 bis 2019 nach dem Jahr der Erstzulassung erfasst.

## 3.2 Neuzulassungen

Bei den Neuzulassungen wird wieder zwischen den historischen Daten und den zukünftig prognostizierten Daten unterschieden. Die historischen Bestände erstrecken sich über den Zeitraum von 1950 bis 2021. Ab 2022 werden für die Neuzulassungen prognostizierte Werte angenommen, siehe Kapitel 3.4. Die historischen Neuzulassungen von 1950 bis 2021 wurden wie auch schon die Bestandsdaten von der Statistik Austria eingeholt.

### 3.2.1 PKW und leichte Nutzfahrzeuge

Die Neuzulassungen von PKW und leichten Nutzfahrzeugen (N1) wurden unverändert von der ursprünglichen Flottenemissionsprognose übernommen.

### 3.2.2 Motorfahräder (L1e)

In der L1e-Klasse werden entsprechend der Bestandsdaten (Kapitel 3.1.2.1) nur die beiden Antriebsarten VKM-Benzin und BEV betrachtet. Ab dem Jahr 2000 sind die Neuzulassungen digital verfügbar [16] und können direkt für VKM-Benzin und BEV übernommen werden. Die Daten vor dem Jahr 2000 wurden wieder aus den Jahrbüchern der Statistik Austria [17] übernommen, wobei die Neuzulassungen wie auch schon die Bestandsdaten der L1e-Klasse erst ab dem Jahr 1968 verfügbar sind. Bei den Neuzulassungen in den Jahrbüchern wird allerdings nicht zwischen den Antriebsarten unterschieden. Daher wird folgende Annahme getroffen:

Erste Bestandsdaten von BEV-Motorfahrrädern sind im Jahr 1991 ersichtlich. Bis zum Jahr 2000 liegen die Bestandsdaten aber unter 250 Motorfahrrädern. Daher werden

die BEV-Neuzulassungen vor dem Jahr 2000 abgeschätzt, indem die Bestandsänderung zwischen zwei Jahren als Neuzulassungen angenommen wird. Es ist erwartbar, dass der dabei entstehende Fehler aufgrund der geringen Stückzahlen keine Auswirkungen auf das Ergebnis hat. Die VKM-Benzin Neuzulassungen vor dem Jahr 2000 ergeben sich somit aus der Differenz von den Gesamt-Neuzulassungen und BEV-Neuzulassungen.

Als Ergebnis erhält man die Neuzulassungen für die L1e-Klasse für jedes Jahr ab 1968 bis 2021 unterteilt in die beiden Antriebsarten VKM-Benzin und VKM-Diesel.

### 3.2.3 Motorräder (L3e)

Für die L3e-Klassen werden ebenfalls wieder nur die beiden Antriebsarten VKM-Benzin und BEV betrachtet, siehe Kapitel 3.1.2.2. Wie auch schon in der L1e-Klasse sind auch hier die Daten erst ab dem Jahr 2000 digital verfügbar [16]. Davor wurden die Neuzulassungen aus den Jahrbüchern der Statistik Austria [17] entnommen.

Erste BEV-Fahrzeuge werden in den Beständen erst im Jahr 2006 ausgewiesen. Somit können alle Neuzulassungen vor 2000 der Antriebsart VKM-Benzin zugeordnet werden. Ab dem Jahr 2000 ist bei den digitalen Daten eine Verteilung nach Antriebsarten verfügbar, sodass die Daten ohne Anpassung übernommen werden können.

Als Ergebnis erhält man die Neuzulassungen für die L3e-Klasse für jedes Jahr ab 1950 bis 2021 unterteilt in die beiden Antriebsarten VKM-Benzin und VKM-Diesel.

### 3.2.4 Restliche L-Klasse (LRest)

In der LRest-Klasse werden die drei Antriebsarten VKM-Benzin, VKM-Diesel sowie BEV berücksichtigt, siehe Kapitel 3.1.2.3. Bestandsdaten zu dieser Klasse sind erst ab dem Jahr 1998 (VKM-Diesel und VKM-Benzin) und BEV-Fahrzeuge erst ab dem Jahr 2004 verfügbar.

Ab dem Jahr 2006 sind die Neuzulassungen nach Antriebsarten digital verfügbar [18] und können direkt übernommen werden. Problematisch in dieser Klasse sind die Neuzulassungen vor 2006, da diese aus dem Jahrbuch [17] entnommen wurden und hier keine Verteilung zwischen den Antriebsarten verfügbar ist. Dieses Problem wurde wie folgt gelöst:

- BEV-Neuzulassungen für die Jahre 2004 und 2005 ergeben sich aus den Bestandsänderungen zwischen zwei Jahren.
- Bei den VKM-Diesel Neuzulassungen wird für das Jahr 1998 der Bestand an Diesel-Fahrzeugen übernommen, da all diese Fahrzeuge irgendwann produziert worden sind und somit Emissionen in der Herstellung erzeugt haben.

Für die Jahre ab 1999 bis 2005 ergeben sich die Neuzulassungen aus der Bestandsänderung von VKM-Diesel zwischen zwei Jahren. Jene Neuzulassungen, welche die Bestandsänderungen der Summe aus VKM-Diesel und VKM-Benzin übersteigen, werden im Verhältnis der Bestandsänderung der beiden Antriebsarten auf diese aufgeteilt.

- VKM-Benzin-Neuzulassungen ergeben sich aus der Differenz der Neuzulassungen im entsprechenden Jahr reduziert um die Neuzulassungen von BEV und VKM-Diesel.

Als Ergebnis erhält man die Neuzulassungen für die LRest-Klasse für jedes Jahr ab 1998 bis 2021 getrennt für die drei Antriebsarten VKM-Benzin, VKM-Diesel und BEV.

### 3.2.5 Nutzfahrzeuge (N1, N2 und N3)

Bei den Nutzfahrzeugen werden im Vergleich zur L-Klasse wieder alle sieben Antriebsarten berücksichtigt. Ab dem Jahr 2006 sind die Neuzulassungen in benötigter Form von der Statistik Austria [18] verfügbar und können direkt übernommen werden. Wie auch schon bei den Bestandszahlen werden die Neuzulassungen der Sattelzugmaschinen wieder zu jenen der N3-Klasse addiert.

Vor dem Jahr 2006 wurden die Neuzulassungen wieder aus den Jahrbüchern [17] entnommen, wobei hier nur der Gesamtwert für die N-Klasse angegeben ist und weder zwischen den Unterklassen noch zwischen den Antriebsarten unterschieden wird. Gemäß den Bestandsdaten vor 2006 (siehe Kapitel 3.1.3) werden für die Neuzulassungen von 1950 bis 2006 nur die vier Antriebsarten VKM-Benzin, VKM-Diesel, VKM-CNG und BEV berücksichtigt.

Weitere verfügbare Statistiken sind die Verteilung der Neuzulassungen nach Nutzlast [19] und zulässigem Gesamtgewicht [20], wobei bei letzterer wieder das Problem mit den veränderten Gewichtsbereichen auftritt (siehe Kapitel 3.1.3) und somit erst ab 2004 verwendet werden kann.

Daher erfolgt die Aufteilung der Neuzulassungen auf die drei Unterklassen wieder anhand der Nutzlast mit gleichen Nutzlastgrenzen wie für die Bestände:

- Leichte Nutzfahrzeuge (N1): 0kg – 1999 kg Nutzlast
- Mittlere Nutzfahrzeuge (N2): 2000 kg bis 4999 kg + die Hälfte der Fahrzeuge der Gewichtsklasse 5000 kg – 5999 kg.
- Schwere Nutzfahrzeuge (N3): Hälfte der Fahrzeuge der Gewichtsklasse 5000 kg – 5999 kg + alle Fahrzeuge mit höherer Nutzlast.

Somit sind nun die Neuzulassungen der Unterklassen bekannt, nicht aber die Verteilung nach Antriebsarten. Dies erfolgt nun wie folgt:

Im ersten Schritt wird der Anteil der Bestandszahlen jeder Unterklasse mit zugehöriger Antriebsart am Gesamtbestand jedes Jahres berechnet und angenommen, dass sich die Neuzulassungen gemäß diesen berechneten Anteilen auf die Unterklassen mit entsprechenden Antriebsarten aufteilen. Dabei wird aber nicht berücksichtigt, dass die Neuzulassungen die Änderungen der Bestandszahlen bestimmen. Somit werden im nächsten Schritt die Bestandsänderung zwischen zwei Jahren einer Unterklasse mit zugehöriger Antriebsart erfasst. Im dritten Schritt wird der Anteil dieser Bestandsänderung an der Summe der Betragswerte aller Bestandsänderungen zwischen zwei Jahre berechnet und die im ersten Schritt ermittelte Verteilung entsprechend der Änderungsrate angepasst. Im nächsten Schritt werden die so ermittelten Neuzulassungen auf den tatsächlichen Wert für jedes Jahr entsprechend der Jahrbücher normiert. Zu guter Letzt werden noch die Neuzulassungen der Sattelzugmaschinen zu den Neuzulassungen von N3-VKM-Diesel addiert. Für die Sattelzugmaschinen liegen die benötigten Daten ab 1969 vor, wobei wieder anzumerken ist, dass auch hier alle Sattelzugmaschinen unabhängig vom zulässigen Gesamtgewicht verwendet werden (siehe Kapitel 3.1.3). Somit liegt nun das Grundgerüst der verteilten Neuzulassungen vor.

In [Abbildung 6](#), [Abbildung 7](#) und [Abbildung 8](#) sind die Verteilung auf die drei Unterklasse mit den unterschiedlichen Modellen ersichtlich. Es ist zu erkennen, dass das angepasste Modell (Grundgerüst, orange) eine Verbesserung gegenüber der Verteilung nach Bestand (grau) bringt, aber nicht den Werten der Verteilung nach Nutzlast (blau) entspricht.

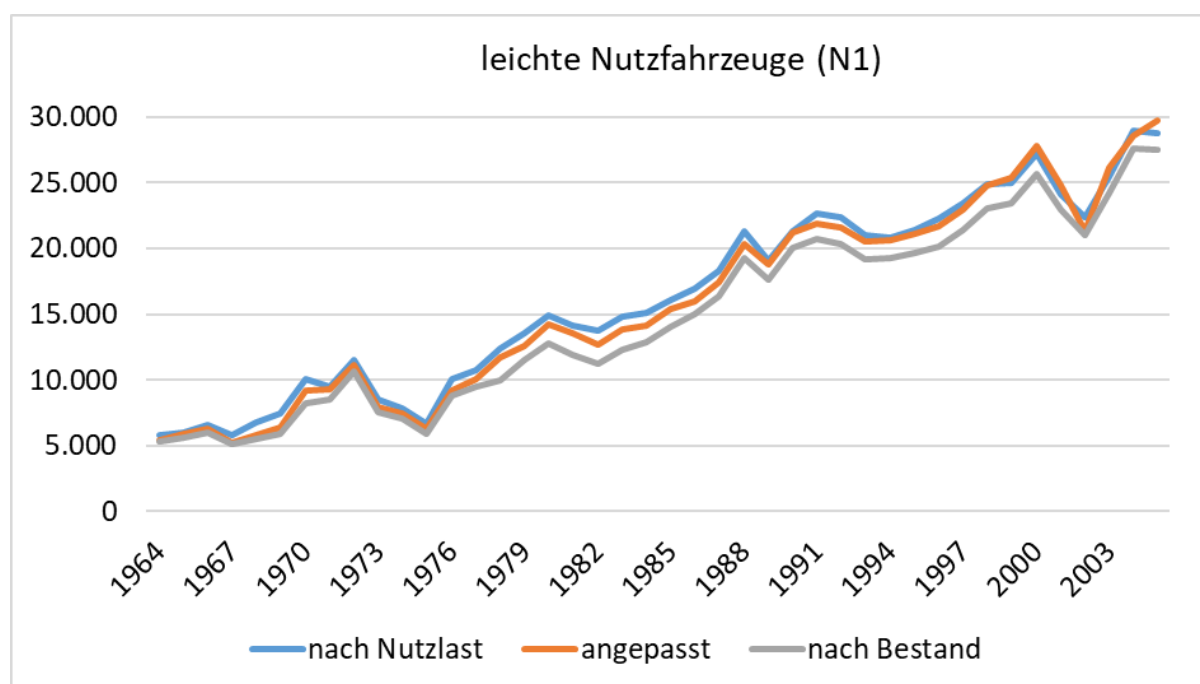


Abbildung 6: Vergleich der Neuzulassungen verteilt nach Nutzlast, Bestand und angepasstes Modell für die N1-Klasse.



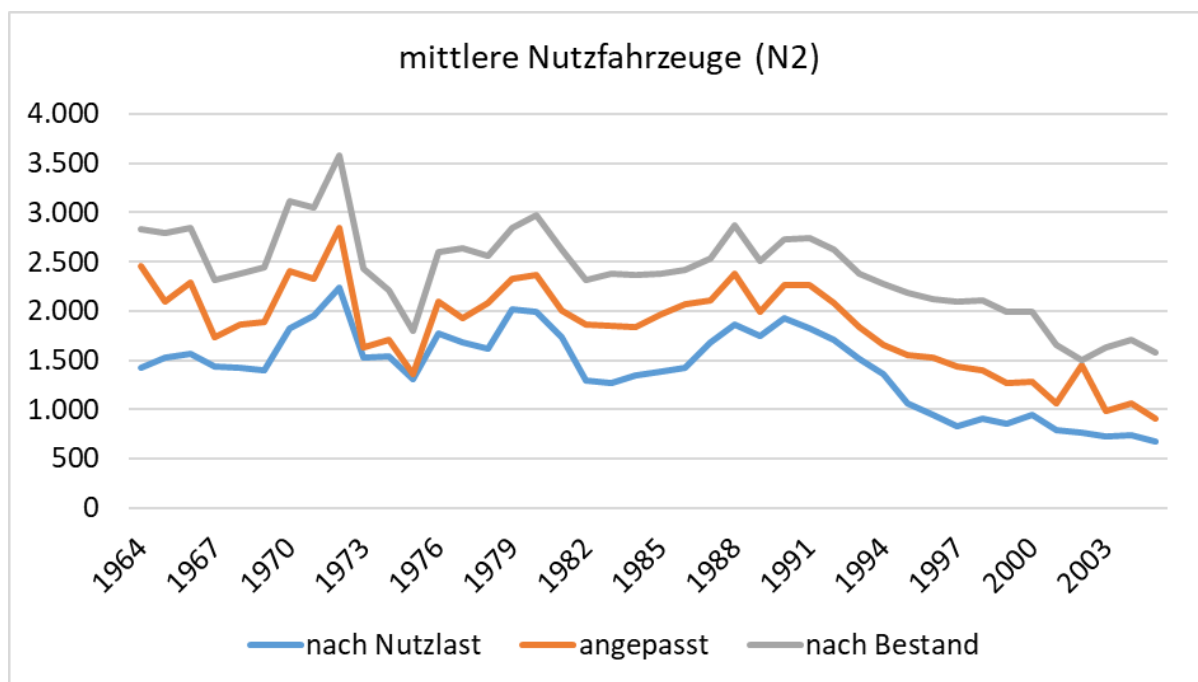


Abbildung 7: Vergleich der Neuzulassungen verteilt nach Nutzlast, Bestand und angepasstes Modell für die N2-Klasse.

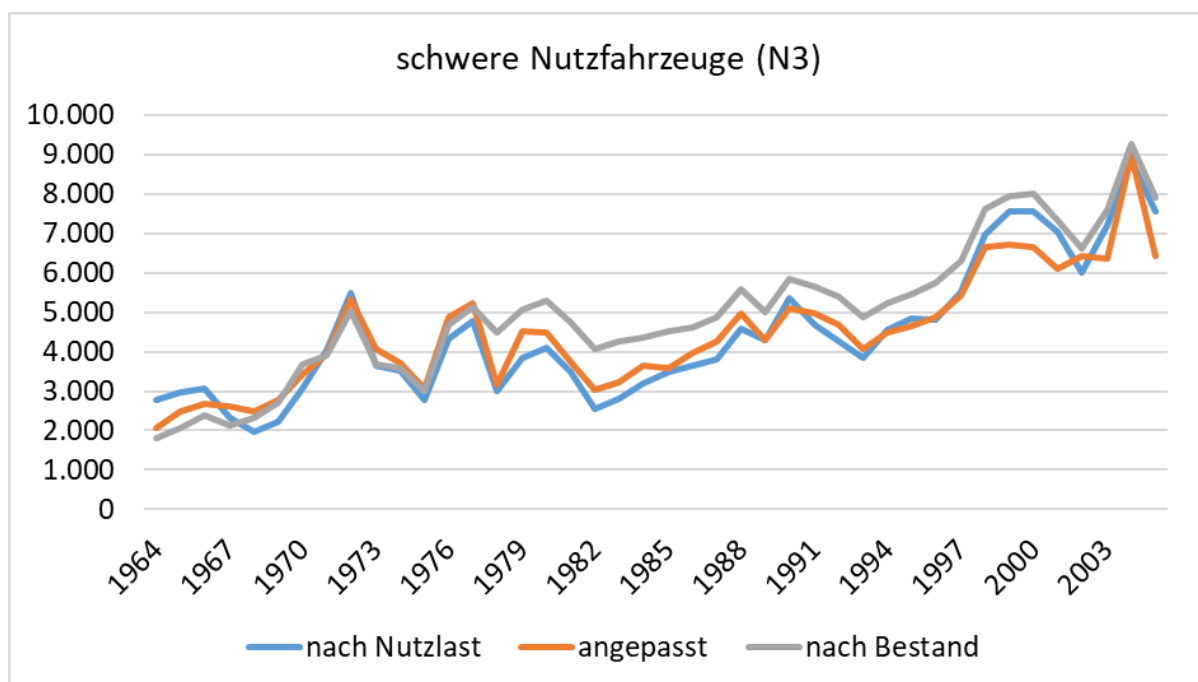


Abbildung 8: Vergleich der Neuzulassungen verteilt nach Nutzlast, Bestand und angepasstes Modell für die N3-Klasse.

Daher wird das soeben ermittelte Grundgerüst nun um bekannte Werte präzisiert:

- Für die N3-Klasse sind die Neuzulassungen mittels Verteilung nach Nutzlast bekannt. Da die N3-Klasse nur aus Dieselfahrzeugen besteht, werden diese Werte plus den Neuzulassungen der Sattelzugmaschinen nun für die Jahre 1964 bis 2005 in das Grundgerüst übernommen. Vor dem Jahr 1964 ist keine



Verteilung nach Nutzlast verfügbar und die ursprünglichen Werte für diese Jahre im Grundgerüst bleiben erhalten.

Wegen der Änderung der Neuzulassungen in der N3-Klasse, stimmt nun die Summe der Neuzulassungen innerhalb eines Jahres nicht mehr. Dies wird wie folgt angepasst:

- In der N1-Klasse werden die Werte für VKM-Benzin, VKM-CNG und BEV unverändert vom Grundgerüst übernommen, die diese nicht die dominierenden Antriebsarten in der N1-Klasse sind. Die Neuzulassungen der Dieselfahrzeuge ergeben sich aus der Differenz der N1-Neuzulassungen anhand der Nutzlast reduziert um die Neuzulassungen von VKM-Benzin, VKM-CNG und BEV.
- In der N2-Klasse werden dieselben Schritte wiederholt für die N1-Klasse.

Auf diese Weise konnten die gesamten Neuzulassungen für die N-Klasse auf die drei Unterklassen sowie auf die verschiedenen Antriebsarten aufgeteilt werden. Diese Aufteilung ist nicht exakt, da aber keine exakten Werte verfügbar sind wird angenommen, dass diese Verteilung eine ausreichende Genauigkeit für die Flottenemissionsprognose aufweist.

Eine grobe Orientierung, ob diese Vorgangsweise brauchbare Ergebnisse liefert, ermöglicht nur der Vergleich der Neuzulassungen der Jahre 2005 und 2006 [17], [18], da erst ab 2006 die exakten Daten verfügbar sind. Der dargestellte Vergleich dient lediglich als grobe Abschätzung, da sich die Neuzulassungen von Jahr zu Jahr ändern. Wie in Tabelle 7, Tabelle 8 und Tabelle 9 ersichtlich, liegen die Neuzulassungen in der gleichen Größenordnung, sodass die Werte vor 2006 als ausreichend genau angenommen werden können.

Tabelle 7: Vergleich der Neuzulassungen zwischen 2005 und 2006 für die N1-Klasse.

	N1 VKM-Benzin	N1 VKM-Diesel	N1 VKM-CNG	N1 BEV
2005	838	27.951	0	1
2006	682	29.619	50	0
Differenz abs.	156	1.668	50	1

Tabelle 8: Vergleich der Neuzulassungen zwischen 2005 und 2006 für die N2-Klasse.

	N2 VKM-Benzin	N2 VKM-Diesel	N2 VKM-CNG	N2 BEV
2005	0	676	0	0
2006	0	775	0	0
Differenz abs.	0	99	0	0

Tabelle 9: Vergleich der Neuzulassungen zwischen 2005 und 2006 für die N3-Klasse.

	N3 VKM-Benzin	N3 VKM-Diesel	N3 VKM-CNG	N3 BEV
2005	0	7.554	0	0
2006	0	6.840	0	0
Differenz abs.	0	714	0	0

Als Ergebnis erhält man Neuzulassungen für die Unterklassen N1, N2 und N3 für jedes Jahr ab 1950 bis 2021 unterteilt in die sieben Antriebsarten. Auch hier sei wieder angemerkt, dass die so ermittelten Neuzulassungen der N1-Klasse nicht übernommen, sondern erst nach Abschluss der Diplomarbeit eingefügt werden.

### 3.3 Ausscheider

Für jene Fahrzeuge, die aus der Flotte ausscheiden sind keine Aufzeichnungen bei der Statistik Austria vorhanden. Daher wird für die Ausscheiderate die Methode der ursprünglichen Flottenemissionsprognose übernommen.

Dabei ergibt sich die Ausscheiderate aus der Bestandsveränderung in Abhängigkeit des Fahrzeugalters eines Jahrganges im Verhältnis zu den Neuzulassungen des Jahrganges. Die Ausscheiderate hängt maßgeblich davon ab, wie lange sich die Fahrzeuge in der Flotte befinden und ist für die einzelnen Fahrzeugklassen unterschiedlich. Ab einem Fahrzeugalter von 40 Jahren wird die Ausscheiderate jeweils als konstant angenommen, da kaum mehr Bestände vorhanden sind.

#### 3.3.1 PKW und N1-Klasse

Für die Fahrzeugklassen PKW und N1 werden die Daten wieder aus der ursprünglichen Flottenemissionsprognose ohne Änderung übernommen.

#### 3.3.2 L1e-Klasse

Für die L1e-Klasse wird die Ausscheiderate nur anhand der VKM-Benzin Bestände berechnet, da bei den BEV-Fahrzeugen zu wenige Daten zur Verfügung stehen. Hier wird angenommen, dass die Ausscheiderate bei den BEV-Motorfahrrädern zukünftig gleich sein wird wie bei den VKM-Benzin-Motorfahrrädern.

Die berechnete Ausscheiderate für die L1e-Klasse ist in [Abbildung 9](#) ersichtlich.

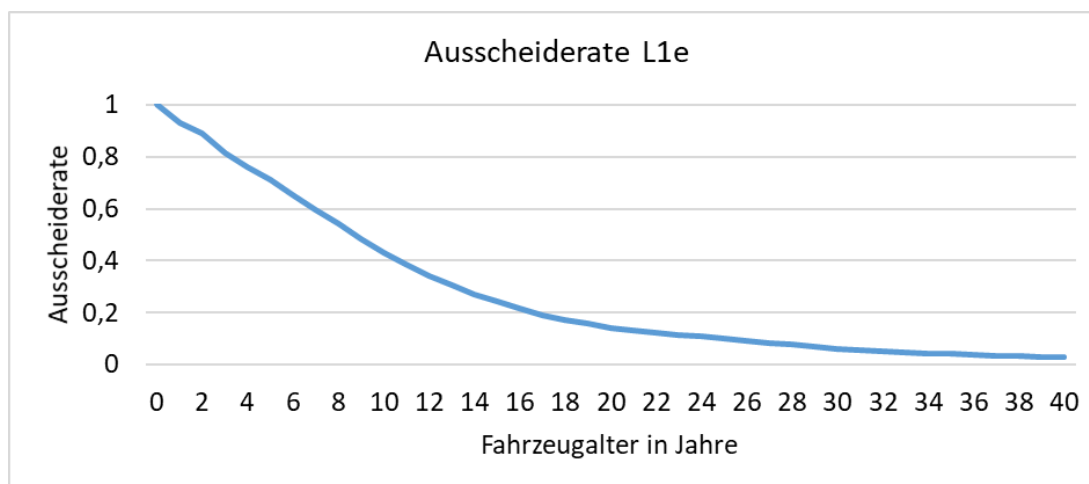


Abbildung 9: Ausscheiderate der L1e-Klasse.

### 3.3.3 L3e-Klasse

Für die L3e-Klasse wird die Ausscheiderate wiederum nur anhand der VKM-Benzin Bestände berechnet, da bei den BEV-Fahrzeugen noch weniger Daten zur Verfügung stehen als für die L1e-Klasse. Hier wird ebenfalls angenommen, dass die Ausscheiderate bei den BEV-Motorrädern zukünftig gleich sein wird wie bei den VKM-Benzin-Motorrädern, da keine Verhaltensänderung erwartbar ist.

Die berechnete Ausscheiderate für die L3e-Klasse ist in [Abbildung 10](#) ersichtlich.

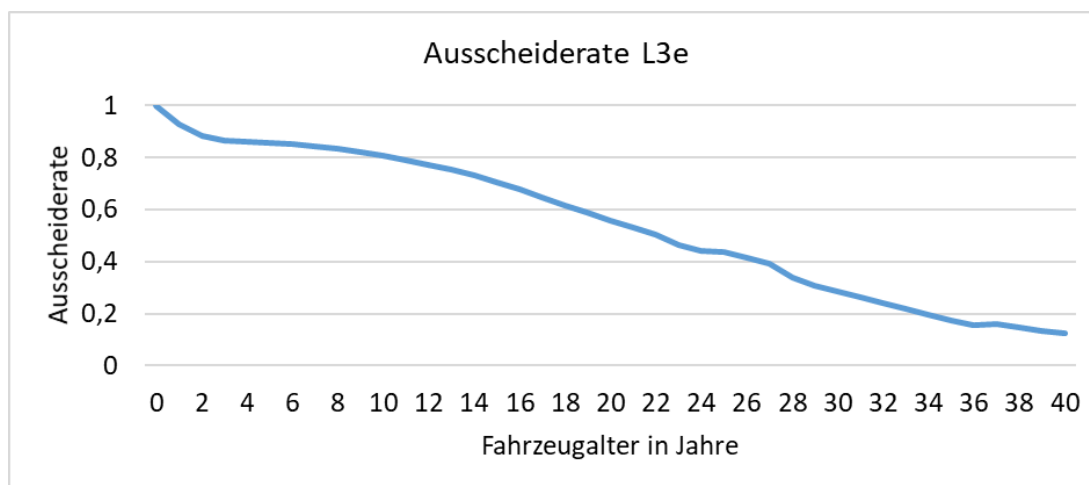


Abbildung 10: Ausscheiderate der L3e-Klasse.

### 3.3.4 LRest-Klasse

Für die L3e-Klasse werden die Ausscheideraten für VKM-Benzin, VKM-Diesel und BEV getrennt berechnet, wobei sich die Ausscheiderate für BEV als Mittelwert von VKM-Diesel und VKM-Benzin ergibt. Grund für diese Trennung ist, dass die Dieselfahrzeuge der L6e-Klasse eine unterschiedliche Nutzungsdauer aufweisen als die Benzinfahrzeuge der restlichen L-Rest-Klasse und sich daher verschiedene Ausscheidungsraten ergeben.

Für die LRest-Klasse sind nicht alle benötigten Daten zur Berechnung der Ausscheiderate für die ersten 40 Jahre vorhanden, sondern nur für die ersten 17 Jahre. Daher wird, sowohl für VKM-Benzin als auch VKM-Diesel, ab einem Fahrzeugalter von 18 Jahren der Mittelwert der Änderung zwischen dem Fahrzeugalter von 8-17 Jahre (letzten 10 Jahre) für die weiteren Jahre verwendet.

Die berechnete Ausscheiderate für die LRest-Klasse ist in [Abbildung 11](#) ersichtlich.

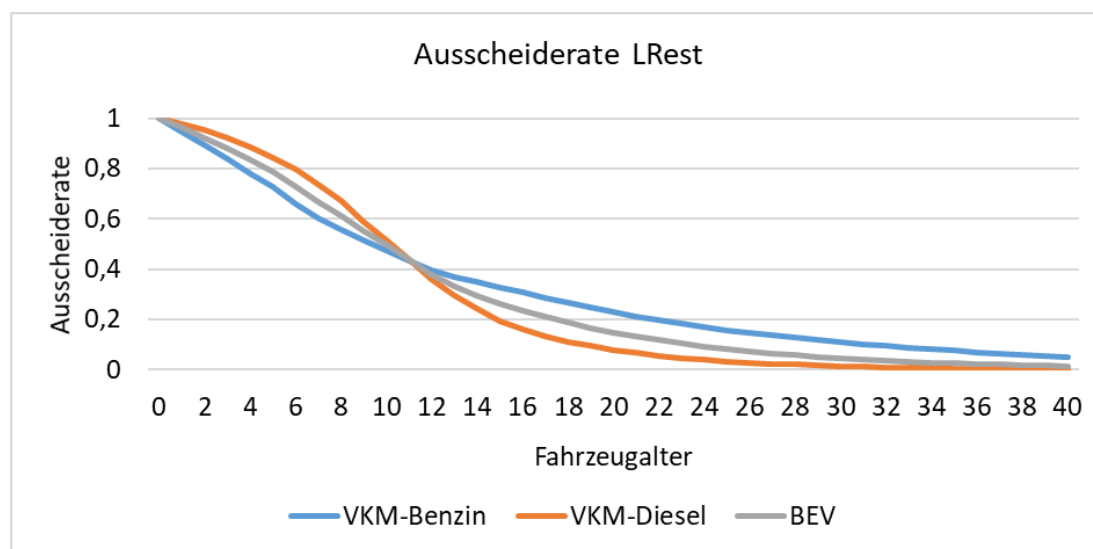


Abbildung 11: Ausscheiderate der LRest-Klasse.

### 3.3.5 N2-Klasse

Für die N2-Klasse wird die Ausscheiderate anhand der Gesamtbestände über alle Antriebsarten berechnet, da diese Klasse von den Dieselfahrzeugen dominiert wird und für alle anderen Antriebsarten nicht genügend Daten vorliegen. Es wird daher angenommen, dass das Ausscheideverhalten der N2-Klasse unabhängig von der Antriebsart ist.

Für die N2-Klasse stehen nicht alle benötigten Daten zur Berechnung der Ausscheiderate für 40 Jahre zur Verfügung, sondern nur bis zu einem Fahrzeugalter von 24 Jahren. Daher wird ab einem Fahrzeugalter von 25 Jahren wieder der Mittelwert der Änderung zwischen dem Fahrzeugalter von 15-24 Jahre (letzten 10 Jahre) verwendet.

Die berechnete Ausscheiderate für die N2-Klasse ist in [Abbildung 12](#) ersichtlich.

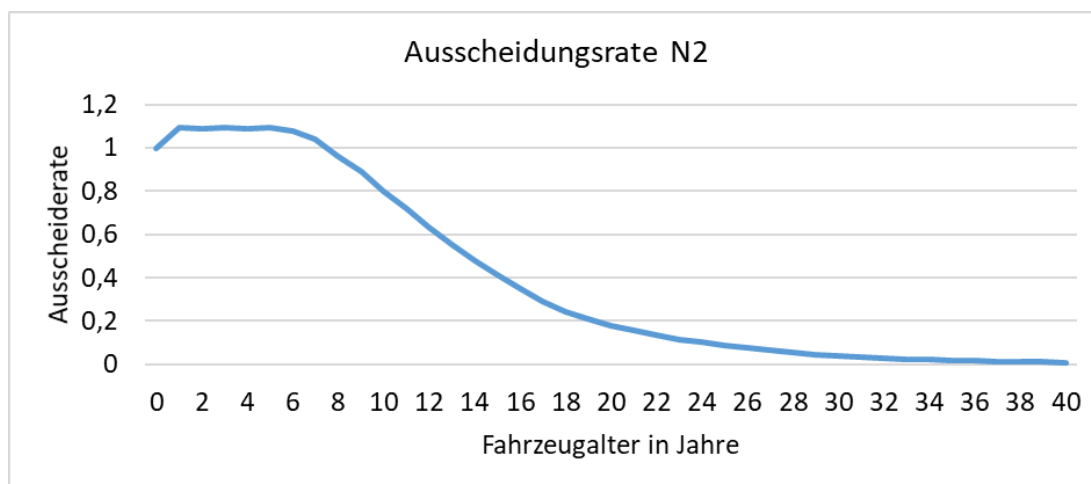


Abbildung 12: Ausscheiderate der N2-Klasse.

Ein Wert von über eins in der Ausscheiderate bedeutet, dass in den nächsten Jahren mehr Fahrzeuge zur Flotte mit gleichem Jahr der Erstzulassung dazukommen als ausscheiden. Dabei handelt es sich beispielsweise um Importe aus dem Ausland.

### 3.3.6 N3-Klasse

Für die N3-Klasse wird die Ausscheiderate wieder anhand der Gesamtbestände über alle Antriebsarten berechnet, da auch diese Klasse von den Dieselfahrzeugen dominiert wird und für alle anderen Antriebsarten nicht genügend Daten vorliegen. Es wird daher angenommen, dass das Ausscheideverhalten der N3-Klasse unabhängig von der Antriebsart ist.

Für die N3-Klasse stehen ebenfalls nicht alle benötigten Daten zur Berechnung der Ausscheiderate für 40 Jahre zur Verfügung. Daher wird ab dem Fahrzeugalter von 25 Jahren der Mittelwert der Änderung zwischen dem Fahrzeugalter von 15-24 Jahre (letzten 10 Jahre) verwendet.

Die berechnete Ausscheiderate für die N3-Klasse ist in [Abbildung 13](#) ersichtlich.

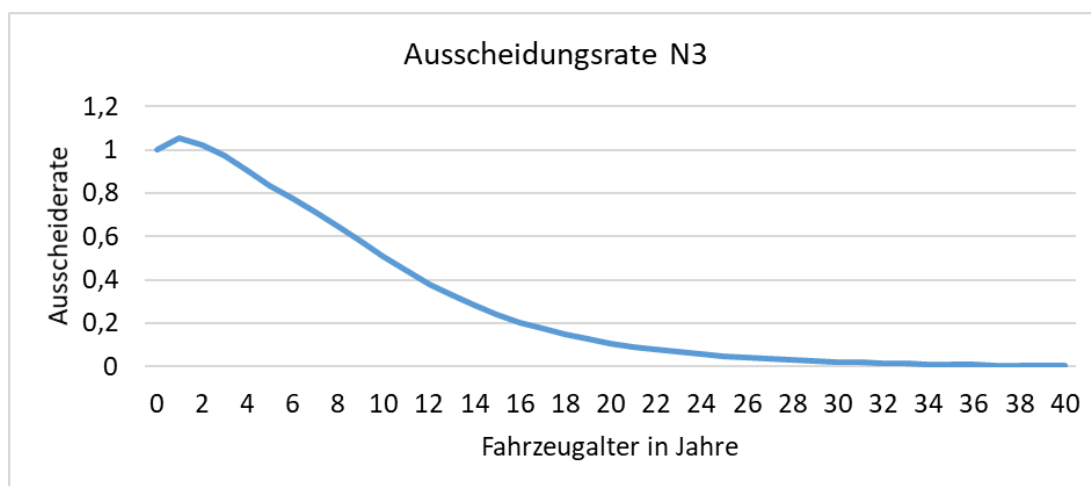


Abbildung 13: Ausscheiderate der N3-Klasse.

### 3.4 Zukünftige Prognose

Um Prognosen über zukünftige Emissionsentwicklungen zu ermöglichen, wird die Entwicklung der Flottenbestände zwischen 2020 und 2050 benötigt. Diese Bestände hängen maßgeblich von den prognostizierten Neuzulassungen ab, wobei die Neuzulassungen ab 2050 als konstant angenommen werden. Um die zukünftigen Bestände berechnen zu können, müssen daher zunächst die zukünftigen Neuzulassungen abgeschätzt werden. Da eine möglichst exakte zukünftige Prognose nicht Teil der Arbeit ist, sondern die Erweiterung der Flottenemissionsprognose an sich im Fokus steht, wurden für die Prognose der Neuzulassungen keine Studien gelesen, sondern diese nur aus den historischen Daten und eigenen Annahmen abgeleitet.

Dabei wurden folgende Neuzulassungsprognosen angenommen:

- L1e-Klasse:

In der L1e-Klasse wird ein höher BEV-Anteil angenommen, da sich diese Fahrzeuge leicht elektrifizieren lassen und bereits im Jahr 2020 13,4 % der Neuzulassungen ausgemacht haben, siehe [Tabelle 10](#). Hinsichtlich der Entwicklung des Gesamtbestandes wurde angenommen, dass sich der Trend der letzten Jahre in die Zukunft fortgesetzt, da keine genaueren Informationen verfügbar waren.

Tabelle 10: Prognostizierte Neuzulassungen für die L1e-Klasse.

Jahr	Gesamt	davon VKM-Benzin	davon BEV
2020	13.895	86,6 %	13,4 %
2025	13.452	61,2%	38,8 %
2030	14.902	16 %	84,0 %
2040	18.283	1 %	99,0 %
2050	22.434	0 %	100,0%

- L3e-Klasse:

Die L3e-Klasse weist im Jahr 2020 einen geringen BEV-Anteil von nur 2,4 % der Neuzulassungen auf. Hier wird im Vergleich zur L1e-Klasse ein geringer BEV-Anstieg angenommen, da es derzeit noch kein vergleichbares Angebot an BEV-Motorrädern gibt, wie in der L1e-Klasse, siehe [Tabelle 11](#). Auch in dieser Klasse wurde der Anstieg aus der Vergangenheit übernommen, welcher einen nahezu linearen Trend seit den 1970er Jahren aufweist.

Tabelle 11: Prognostizierte Neuzulassungen für die L3e-Klasse.

Jahr	Gesamt	davon VKM-Benzin	davon BEV
2020	32.204	97,6 %	2,4 %
2025	34.647	93,9 %	6,1 %
2030	37.517	84,4 %	15,6 %
2040	43.257	18 %	82 %
2050	48.997	0 %	100,0%

- LRest-Klasse:

Die LRest-Klasse weist im Jahr 2020 einen BEV-Anteil von 7 % der Neuzulassungen auf. In dieser Klasse wird angenommen, dass die Benzinfahrzeuge, welche überwiegend in der L7e Klasse (Quads) zu finden sind, leichter zu elektrifizieren sind als die Dieselfahrzeuge, welche die L6e-Klasse (leichte vierrädrige Fahrzeuge) dominieren. Die angenommene Entwicklung ist in Tabelle 12 ersichtlich. Die Gesamtanzahl war in den letzten Jahren vor 2020 rückläufig. Dieser Trend wird auch zukünftig angenommen, da zukünftige Prognosen in dieser Klasse kaum möglich sind.

Tabelle 12: Prognostizierte Neuzulassungen für die LRest-Klasse.

Jahr	Gesamt	davon VKM-Benzin	davon VKM-Diesel	davon BEV
2020	2.516	62 %	31 %	7%
2025	2.782	48 %	30 %	22 %
2030	2.512	33 %	24 %	43 %
2040	2.047	0 %	1 %	99 %
2050	1.668	0 %	0 %	100,0%

- N2-Klasse:

Die N2-Klasse weist im Jahr 2020 keine Neuzulassungen von BEV- oder FCEV-Fahrzeugen auf. Ein stärkerer Anstieg von BEV Fahrzeugen wird für diese Klasse erst nach 2025 erwartet sowie für die FCEV-Fahrzeuge erst nach 2030. Daher dominieren in dieser Klasse die Dieselfahrzeuge noch relativ lange die Neuzulassen. In der angenommenen Entwicklung werden die Plug-in-Hybridfahrzeuge in dieser Klasse vernachlässigt, da es derzeit keine derartigen Fahrzeuge gibt und diese auch zukünftig nicht als relevant angenommen werden. In der Programmstruktur werden die beiden Plug-in-Hybrid-Klassen aber hinterlegt, sodass zu einem späteren Zeitpunkt diese Fahrzeuge jederzeit mitberücksichtigt werden können. Die angenommene Entwicklung ist in Tabelle 13 ersichtlich. Die Gesamtanzahl an Neuzulassungen dieser Klasse ist sehr

gering und seit den 1950er-Jahren rückläufig. Dieser langfristige Trend wird aufgrund fehlender exakterer Prognosen auch für die Zukunft übernommen.

Tabelle 13: Prognostizierte Neuzulassungen für die N2-Klasse.

Jahr	Gesamt	davon VKM- Benzin	davon VKM- Diesel	davon VKM- CNG	davon BEV	davon FCEV
2020	365	0 %	99 %	1 %	0 %	0 %
2025	350	0 %	89 %	0 %	9 %	1 %
2030	302	0 %	82 %	0 %	15 %	3 %
2040	223	0 %	50 %	0 %	35 %	15 %
2050	164	0 %	0 %	0 %	50 %	50 %

- N3-Klasse:

Die N3-Klasse weist im Jahr 2020 keine Neuzulassungen von BEV- oder FCEV-Fahrzeugen auf. Ein stärkerer Anstieg von BEV Fahrzeugen wird für diese Klasse aufgrund der hohen Reichweitenanforderung sowie begrenzten Nutzlast nicht erwartet. Hier wird der Trend eher hinsichtlich der Brennstoffzellenfahrzeuge angenommen, welche aber erst nach 2030 in größeren Stückzahlen in den Neuzulassungen erwartet werden. Somit werden die Neuzulassungen in dieser Klasse ebenfalls noch lange von den Dieselfahrzeugen dominiert werden. Die restlichen Antriebsarten werden für die N3-Klasse als nicht relevant angenommen, sind jedoch implementiert. Die angenommene Entwicklung ist in [Tabelle 14](#) ersichtlich. Im Gegensatz zur N2-Klasse nehmen die N3-Neuzulassungen seit den 1950er konstant zu. Auch dieser Trend wird aufgrund fehlender Information zukünftig fortgesetzt.

Tabelle 14: Prognostizierte Neuzulassungen für die N3-Klasse.

Jahr	Gesamt	davon VKM- Benzin	davon VKM- Diesel	davon VKM- CNG	davon BEV	davon FCEV
2020	5.311	0 %	99 %	1 %	0 %	0 %
2025	6.734	0 %	97 %	0 %	1 %	2 %
2030	7.339	0 %	92 %	0 %	3 %	5 %
2040	8.716	0 %	75 %	0 %	10 %	15 %
2050	10.353	0 %	20 %	0 %	20 %	60 %

Die zukünftigen Bestände ergeben sich für die einzelnen Antriebsarten der Fahrzeugklassen als Funktion folgender Werte:

- Bestandsdaten bis 2019



- Prognostizierte Neuzulassungen
- Ausscheiderate

Dabei werden die Bestandszahlen nach dem Jahr der Erstzulassung um die Neuzulassungen erhöht und um die Ausscheider reduziert.

### 3.5 Recycling/Export

Bei jenen Fahrzeugen, welche aus der Flotte ausscheiden, wird zwischen Recycling- und Exportfahrzeugen unterschieden.

Wird ein Fahrzeug recycelt, kann ein Teil der eingesetzten Materialien wieder zurückgewonnen werden und diese sind für die Herstellung neuer Produkte wiederverwendbar. Für diese Menge an Materialien, welche zurückgewonnen werden können, wird ein Emissionswert hinterlegt, welcher als Gutschrift für später produzierte Fahrzeuge dient.

Hinsichtlich des Anteiles der recycelten Fahrzeuge wird angenommen, dass alle Fahrzeuge mit Totalschäden in Österreich recycelt werden. In Österreich ist allerdings keine Statistik bezüglich der Anzahl an Totalschäden verfügbar. Daher wird versucht diese anhand der von der Statistik Austria publizierten Unfallstatistik für die Jahre 2011 bis 2020 herzuleiten [21]. Aus dieser Statistik können die Anzahl an Unfällen mit Personenschäden für die einzelnen Jahre und Fahrzeugklassen entnommen werden. Diese Anzahl an Unfällen werden nun mit den Bestandszahlen der entsprechenden Jahre und jeweiligen Fahrzeugklassen in das Verhältnis gesetzt. Anschließend wird ein Faktor gewählt, welcher den Anteil der Totalschäden bei den Unfallszahlen beschreibt. Dieser Faktor wurde für die verschiedenen Fahrzeugklassen unterschiedlich angenommen. Für die L1e-Klasse wurde ein Wert von 0,3 gewählt, da ein Unfall mit Personenschaden nicht zwingend zu einem Totalschaden führen muss aufgrund der niedrigeren Geschwindigkeit aber dem schlechteren Schutz des Fahrers. Hingegen wird bei LKW mit Personenschaden ein Faktor von 0,6 gewählt, da diese Fahrzeuge dem Fahrer hohen Schutz bieten und Personenschäden oft mit schweren Unfällen und dementsprechend hohen Fahrzeugbeschädigungen in Verbindung stehen.

Dieser Faktor wird nun mit dem zuvor berechneten Anteil der Personenschäden am Bestand multipliziert. Als Referenzwert für die jeweiligen Klassen wird jeweils der gemittelte Wert zwischen den verfügbaren Jahren 2011 und 2020 verwendet, siehe Tabelle 15.

Die Daten für PKW und N1 wurden wieder aus der ursprünglichen Flottenemissionsprognose übernommen.

Tabelle 15: Durchschnittlicher Anteil der Totalschäden in Österreich nach Fahrzeugklassen.

Klasse	Durchschnittlicher Anteil Personenschäden am Bestand	Faktor Totalschadenanteil an Personenschäden	Durchschnittlicher Anteil Totalschäden am Bestand
L1e	1,49 %	30 %	0,45 %
L3e	0,82 %	40 %	0,33 %
LRest	0,59 %	50 %	0,29 %
PKW	0,52 %	50 %	0,26 %
N1	0,20 %	50 %	0,10 %
N2+N3	0,34 %	60 %	0,2 %

Neben den Totalschäden werden aber auch Fahrzeuge, welche das Ende der Nutzungsdauer erreicht haben, recycelt. In Summe liegt die Recyclingquote für Österreich laut dem Verband Österreichischer Entsorgungsbetriebe (VOEB) bei ca. 20 % [22]. Diese Quote wird für alle Fahrzeugklassen angenommen, da keine genaueren Daten verfügbar sind. Diese Gesamtsumme von 20 % tritt für den Fahrzeugbestand eines Jahrganges nicht in einem Jahr auf, sondern verteilt sich über das Fahrzeugalter. In den ersten Jahren nach der Erstzulassung überwiegt bei den Ausscheidern die Exportfahrzeuge, da diese Fahrzeuge meist in das Ausland weiterverkauft werden. Recycelt werden in diesen ersten Jahren lediglich die Totalschäden aufgrund von Unfällen. Mit zunehmendem Alter nimmt der Recyclinganteil an den ausscheidenden Fahrzeugen zu und der Anteil der Exportfahrzeuge nimmt stetig ab, siehe [Abbildung 14](#).

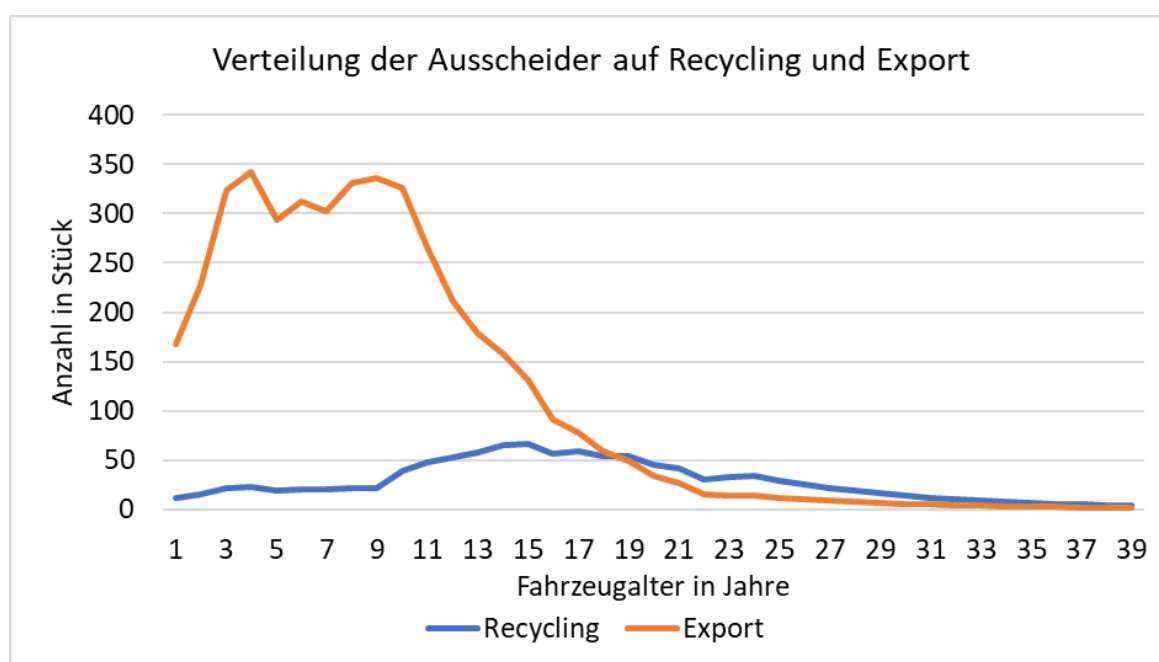


Abbildung 14: Verteilung von Recycling und Export am Beispiel der Dieselfahrzeuge in der N3-Klasse mit Erstzulassung in 2020.

Bei den Exportfahrzeugen, handelt es sich um Fahrzeuge, welche aus der österreichischen Bestandsflotte ausscheiden und in das Ausland exportiert werden. Die Anzahl der Exportfahrzeuge ergibt sich aus der Differenz aller ausscheidenden Fahrzeuge aus der österreichischen Fahrzeugflotte und den recycelten Fahrzeugen. Für die Exportfahrzeuge wird ebenfalls wieder eine Gutschrift berechnet, da die Herstellungsemissionen als Ganzes für Österreich verrechnet werden, das Fahrzeug aber nur zu einem Teil der Lebensdauer in Österreich betrieben wird. Daher soll die Gutschrift die Herstellungsemissionen reduzieren, sodass diese nur den Anteil abdecken, in welchem das Fahrzeug in Österreich betrieben wurde.

## 4 Referenzfahrzeuge

Um die Emissionen für Herstellung, Betrieb und End of Life bestimmen zu können werden Referenzfahrzeuge benötigt, welche die jeweilige Klasse und Antriebsart bestmöglich repräsentieren. Es wird aber nicht nur ein Referenzfahrzeug für ein Jahr betrachtet, sondern die Veränderung der Fahrzeugspezifikationen über den Zeitraum zwischen 1990 und 2050. Dabei werden jene Komponenten im Detail analysiert, welche direkt vom Antriebswandel betroffen sind. Alle Restlichen werden im Fahrzeugaufbau zusammengefasst.

Es werden folgende Komponenten im Detail betrachtet:

- Verbrennungsmotor inkl. Nebenverbraucher
- Elektromotor
- Getriebe
- Kraftstofftank
- Gasspeicher (CNG-Tank)
- Batterie
- Brennstoffzellensystem
- Wasserstoffspeicher (gasförmig)
- Leergewicht (trocken)

Der Antriebsstrang setzt sich für die einzelnen Antriebsarten wie folgt zusammen:

- VKM-Benzin, VKM-Diesel und VKM-CNG:  
Verbrennungsmotor, Getriebe und Kraftstofftank bzw. Gasspeicher.
- PHEV-Benzin und PHEV-Diesel:  
Verbrennungs- und Elektromotor, Getriebe, Kraftstofftank und Batterie.
- BEV:  
Elektromotor, Reduktionsgetriebe und Batterie.
- FCEV:  
Brennstoffzellensystem, Wasserstoffspeicher, Elektromotor,  
Reduktionsgetriebe und Batterie.

Der Fahrzeugaufbau ergibt sich jeweils aus dem Leergewicht reduziert und das Gewicht des Antriebsstranges.

### 4.1 PKW & N1

Die Daten von PKW und N1 wurden unverändert von der ursprünglichen Flottenemissionsprognose übernommen.

## 4.2 L1e-Klasse

In der L1e-Klasse wird zwischen den beiden Antriebsarten VKM-Benzin und BEV unterschieden.

Um das VKM-Referenzfahrzeug festzulegen, wurde eine Vielzahl in Österreich verfügbarer Motorfahräder mit Verbrennungsmotor für das Jahr 2020 recherchiert und dabei jeweils der Mittelwert der Leistungsparameter gebildet. Jenes Motorfahrrad, welches am nächsten diesen Mittelwerten entspricht ist die Generik XOR 50. Diese wurde als Referenzfahrzeug gewählt und weist folgende Fahrzeugdaten auf [23]:

- Hubraum: 49 ccm
- Leistung: 2,5 kW
- Leergewicht (trocken): 96 kg

Für das VKM-Referenzfahrzeug werden sowohl die Fahrzeugspezifikationen in der Vergangenheit aufgrund der stark eingegrenzten Leistung der Klasse als auch in der Zukunft aufgrund der zukünftig forcierten Elektrifizierung als konstant angenommen.

Für die BEV-Motorfahräder wurden ebenfalls die Fahrzeugkennwerte verschiedener im Jahr 2020 am Markt verfügbare Modelle recherchiert und daraus jeweils der Mittelwert gebildet. Als BEV-Referenzfahrzeug wurde die Askoll NGS2 mit folgenden Fahrzeugdaten gewählt [24]:

- Max. Leistung: 2,2 kW
- Batteriekapazität (brutto): 2,09 kWh
- Leergewicht: 82,2 kg

Das BEV-Referenzfahrzeug wurde für die Vergangenheit als konstant angenommen, da hier die Stückzahlen gering sind und keine genaue Betrachtung notwendig ist. Zukünftig werden folgende Entwicklungen angenommen:

- Die Leistung wird bis 2050 auf 2,6 kW zunehmen (ca. 0,55 % p.a.), da sich die Leistung an jene der VKM-Motorräder annähern bzw. geringfügig höher liegen wird.
- Die Batteriekapazität wird bis 2050 auf 3 kWh ansteigen um zukünftig höhere Reichweiten zu ermöglichen.
- Das Leergewicht reduziert sich aufgrund von Weiterentwicklungen auf 79 kg.

Da nur ein Aufbaugewicht in das System übernommen werden kann, wird folgendes für einen erste Näherung angenommen: Für den Zeitraum von 1990 bis 2020 wird das VKM-Aufbaugewicht verwendet, für 2050 das prognostizierte BEV-Aufbaugewicht und zwischen 2020 und 2050 wird linear interpoliert.

Für die Verschleißteile während des Betriebes werden folgende Komponenten berücksichtigt:

- Reifen
- Ölverbrauch
- Bremsscheiben
- Federung/Dämpfer
- Windschild am Lenker
- Antriebsstrang (Kette, Kettenrad, Ritzel)
- Kupplung
- 12V-Starterbatterie

Für die Ersatzteile wurden eine Vielzahl an Gewichtsgrößen für die einzelnen Komponenten recherchiert und daraus ein Mittelwert gebildet. Die benötigten Ersatzteile pro Kalenderjahr ergeben sich anhand der erwarteten Lebensdauer der einzelnen betrachteten Komponenten.

### 4.3 L3e-Klasse

In der L3e-Klasse werden ebenfalls nur die beiden Antriebsarten VKM-Benzin und BEV berücksichtigt. Im Vergleich zur L1e-Klasse gibt es in der L3e-Klasse eine Änderung der Fahrzeugspezifikationen über der Zeit, da diese Klasse einen viel größeren Leistungsbereich aufweist.

Für das VKM-Referenzfahrzeug werden die Fahrzeugspezifikationen jeweils für die drei Jahre 1990, 2005 und 2020 ermittelt, um die zeitliche Weiterentwicklung der Motorräder abbilden zu können. Zwischen diesen drei Jahren wird jeweils eine lineare Interpolation angenommen. Um die Klasse hinsichtlich des Hubraumes einzugrenzen, wurde der vom Industrie-Verband Motorrad Deutschland veröffentlichte Jahresbericht [25] aus dem Jahr 2020 herangezogen, in welchem die meistverkauften Fahrzeuge für Deutschland enthalten sind. Für diese Fahrzeuge wurde, sofern nicht angegeben, der Hubraum recherchiert und ein anhand der Verkaufszahlen gewichteten Referenzwert berechnet, welcher bei 610 ccm liegt. Mit der Annahme, dass dieser Mittelwert auch für Österreich gilt, werden nun für die drei gewählten Jahre Fahrzeuge recherchiert, welche in einer Hubraumgröße von 500 bis 750 ccm liegen und in etwa diesen Jahren auf den Markt gekommen sind. Aus diesen Daten werden jeweils gemittelte Spezifikationen berechnet und ein Referenzfahrzeug gewählt welches am nächsten an diese gemittelten Werte herankommt. Die gewählten Referenzfahrzeug sind in Tabelle 16 aufgelistet.

Tabelle 16: Gewählte Referenzfahrzeuge für die L3e-Klasse.

Jahr	Motorrad	Hubraum	Leistung	Leergewicht
1990	Honda CX 650 [26]	674 ccm	48 kW	218 kg
2005	Suzuki GSF 650 [27]	656 ccm	57 kW	201 kg
2020	Yamaha R7 [28]	689 ccm	54 kW	188 kg

Für die Jahre vor 1990 werden die Werte aus 1990 als konstant angenommen. Für die Jahre ab 2020 werden hinsichtlich der Fahrzeugspezifikationen folgende Annahmen getroffen:

- Die Leistung der gemittelten Werte weist zwischen 1990 und 2018 eine Zunahme von 0,55 % p.a. auf. Diese Leistungssteigerung wird auch zukünftig angenommen, wodurch sich eine Leistung von 60 kW für 2050 ergibt.
- Die Entwicklung des Leergewichtes beträgt zwischen den Jahren 1990 und 2018 ca. -2,07%. Dieser Wert wird auch zukünftig angenommen, sodass sich ein Leergewicht von 184 kg für das Jahr 2050 ergibt.

Für die BEV-Motorfahräder wurden ebenfalls die Fahrzeugkennwerte verschiedener am Markt verfügbare Modelle recherchiert, jedoch nur für das Jahr 2020, da die Elektrifizierung in dieser Klasse noch am Anfang steht. Anhand der gemittelten Fahrzeugspezifikationen wurde als BEV-Referenzfahrzeug die Zero SR mit folgenden Fahrzeugdaten gewählt [29]:

- Max. Leistung: 55 kW
- Batteriekapazität (brutto): 14,4 kWh
- Leergewicht: 222 kg

Das BEV-Referenzfahrzeug wurde für die Vergangenheit als konstant angenommen, da hier die Stückzahlen gering sind und keine genaue Betrachtung notwendig ist. Zukünftig werden folgende Entwicklungen angenommen:

- Für die Leistung wird die gleiche Leistungssteigerung wie beim VKM-Referenzfahrzeug von 0,55 % p.a. angenommen. Damit ergibt sich für 2050 eine Leistung von 64 kW.
- Die Batteriekapazität wird bis 2050 mit 15 kWh als annähernd konstant angenommen. Zukünftige geringfügige Reichweitensteigerungen entstehen durch eine Effizienzsteigerung des Antriebes. Eine deutlich größere Batterie wird nicht angenommen, da diese das ohnehin schwere Motorrad noch schwerer machen würde.
- Das Leergewicht reduziert sich um ca. 0,4 % p.a. aufgrund von Weiterentwicklungen.

Da nur ein Aufbaugewicht in das System übernommen werden kann wird wiederum folgendes für einen erste Näherung angenommen: Für den Zeitraum von 1990 bis 2020 wird das VKM-Aufbaugewicht verwendet, für 2050 das prognostizierte BEV-Aufbaugewicht und zwischen 2020 und 2050 wird linear interpoliert.

Für die Verschleißteile während des Betriebes werden folgende Komponenten berücksichtigt:

- Reifen
- Ölverbrauch
- Bremsscheiben
- Federung/Dämpfer
- Windschild am Lenker
- Antriebsstrang (Kette, Kettenrad, Ritzel)
- Kupplung
- 12V-Starterbatterie

Für die Ersatzteile wurden eine Vielzahl an Gewichtsgrößen für die einzelnen Komponenten recherchiert und daraus der Mittelwert gebildet. Die benötigten Ersatzteile pro Kalenderjahr ergeben sich anhand der erwarteten Lebensdauer der einzelnen betrachteten Komponenten.

#### 4.4 LRest-Klasse

In der LRest-Klasse werden die drei Antriebsarten VKM-Benzin, VKM-Diesel und BEV berücksichtigt. Da die LRest-Klasse aufgrund der geringen Bestände nur einen geringen Einfluss auf die Flottenemissionsprognose hat, wird hier nur für das Jahr 2020 ein Referenzfahrzeug gebildet und dies über die gesamte betrachtete Periode konstant gehalten. Um ein repräsentables Referenzfahrzeug für diese Klasse zu finden, wurden zunächst die Bestände der Unterklassen im Jahr 2017 betrachtet, siehe Tabelle 17.

Tabelle 17: Bestände der LRest-Klasse in Jahr 2017 in Österreich. [10]

Unterklasse	Bestand 2017	davon VKM	davon BEV
L2e	897	879	18
L4e	0	0	0
L5e	2.368	2.350	18
L6e	12.205	12.205	279
L7e	20.271	19.568	703



Man sieht, dass die LRest-Klasse von der L5e, L6e- und L7e-Klasse dominiert wird. Daher kann das Referenzfahrzeug anhand dieser drei Klassen gebildet werden und die L2e- und L4e-Klasse sind vernachlässigbar.

Für das VKM-Referenzfahrzeug wird nicht zwischen den beiden Antriebsarten VKM-Benzin und VKM-Diesel unterschieden, sondern ein gemeinsames Referenzfahrzeug bestimmt. Mittels Recherche wurden Fahrzeuge für die drei gewählten Untergruppen gesucht, welche um das Jahr 2020 auf den Markt gekommen sind. Für diese Spezifikationen wurde wieder der Mittelwert gebildet und anschließend jene drei Fahrzeuge gewählt, welche diesem am nächsten kommen, siehe [Tabelle 18](#):

Tabelle 18: VKM-Referenzfahrzeuge der L-Rest Unterklassen.

Unterklasse	Fahrzeug	Hubraum	Leistung	Leergewicht
L5e	Piaggio MP3 500 [30]	493 ccm	32 kW	282 kg
L6e	Aixam Coupe EVO [31]	479 ccm	6 kW	425 kg
L7e	Yamaha Kodiak 700 [32]	686 ccm	35 kW	300 kg

Das VKM-Referenzfahrzeug der LRest-Klasse ergibt sich nun aus den in Tabelle 18 aufgelisteten Fahrzeuge gewichtet nach den VKM-Bestandszahlen aus dem Jahr 2017 (Tabelle 17), wodurch sich ein fiktives Referenzfahrzeug für diese Klasse mit folgenden Spezifikationen ergibt:

- Hubraum: 600 ccm
- Leistung: 24,6 kW
- Leergewicht: 334 kg

Zur Bestimmung des BEV-Motorrades werden nur die zwei Unterklassen L6e und L7e herangezogen, da die restlichen Klassen keine nennenswerten Anteile im Bestand haben, siehe Tabelle 17. Für die beiden gewählten Klassen werden Fahrzeuge für das Jahr 2020 recherchiert und anhand der gemittelten Fahrzeugspezifikationen die beiden repräsentierenden Fahrzeuge gewählt, siehe [Tabelle 19](#).

Tabelle 19: BEV-Referenzfahrzeuge der L-Rest Unterklassen.

Unterklasse	Fahrzeug	Leistung	Batteriekapazität	Leergewicht
L6e	Yunlong EEC-Y2 [33]	3 kW	4,8 kWh	376 kg
L7e	Tazzari Zero City [34]	25 kW	14,2 kWh	560 kg

Das BEV-Referenzfahrzeug der LRest-Klasse ergibt sich wieder aus den Spezifikationen der in Tabelle 19 aufgelisteten Fahrzeuge gewichtet nach den BEV-Bestandszahlen aus dem Jahr 2017 (Tabelle 17) wodurch ein fiktives Referenzfahrzeug für diese Klasse mit folgenden Spezifikationen entsteht:

- Leistung: 19 kW

- Batteriekapazität: 11,5 kWh
- Leergewicht: 508 kg

Das BEV-Referenzfahrzeug wurde für die Vergangenheit als konstant angenommen, da hier die Stückzahlen gering sind. Zukünftig werden folgende Entwicklungen angenommen:

- Das Leergewicht reduziert sich aufgrund von Weiterentwicklungen auf 446 kg.

Für das Aufbaugewicht wird wieder folgende Näherung verwendet: Für den Zeitraum von 1990 bis 2020 wird das VKM-Aufbaugewicht verwendet, für 2050 das BEV-Aufbaugewicht und zwischen 2020 und 2050 wird linear interpoliert.

Für die Verschleißteile während des Betriebes werden folgende Komponenten berücksichtigt:

- Reifen
- Ölverbrauch
- Bremsscheiben
- Federung/Dämpfer
- Windschutzscheibe
- Kupplung
- 12V-Starterbatterie

Für die Ersatzteile wurden eine Vielzahl an Gewichtsgrößen der einzelnen Ersatzteilkomponenten für die drei VKM-Klassen L5e, L6e und L7e recherchiert und daraus der anhand der Bestandszahlen (siehe Tabelle 17) gewichtete Referenzwert gebildet. Die benötigten Ersatzteile pro Kalenderjahr ergeben sich anhand der erwarteten Lebensdauer der einzelnen betrachteten Komponenten.

## 4.5 N2-Klasse

In der N2-Klasse werden die vier Antriebsarten VKM-Benzin, VKM-Diesel, VKM-CNG sowie BEV berücksichtigt. In der N2-Klasse liegt das zulässige Gesamtgewicht zwischen 3501 kg und 12000 kg. Damit gehören zu dieser Klasse sowohl schwere Transporter an der unteren Gewichtsgrenze als auch kleine Lastkraftwagen für den Verteilverkehr am oberen Ende der Gewichtsgrenze. Daher wird für die Bestimmung des Referenzfahrzeuges die Klasse zweigeteilt:

- Transporter (bis 3,5 Liter Hubraum)
- Lastkraftwagen (über 3,5 Liter Hubraum)

Die dabei gewählte Grenze von 3,5 Liter Hubraum wurde anhand der recherchierten Fahrzeuge gewählt.

Da die Stückzahlen der N2-Klasse niedrig sind und nur einen begrenzten Einfluss auf das Endergebnis haben, wird in einer ersten Auswertung das Referenzfahrzeug nur anhand des Jahres 2020 gebildet. Außerdem werden aufgrund der geringen Benzinbestände in der N2-Klasse die beiden Antriebsarten VKM-Benzin und VKM-Diesel zusammengefasst.

Für die beiden Untergruppen Transporter und LKW wurde jeweils ein Referenzfahrzeug anhand der gemittelten recherchierten Fahrzeugspezifikationen gebildet, siehe Tabelle 20. Das gemeinsame Referenzfahrzeug für die N2-Klasse ergibt sich anschließend über das Verhältnis der Bestandszahlen beider Unterklassen. Diese Bestandszahlen stammten diesmal von der Zentralen Begutachtungsplakettendatenbank [35], da in dieser der Hubraum der Fahrzeugen miterfasst wird. Dafür wurden die Daten für die Jahre 2016, 2017 und 2018 angeschafft und für die N2-Klasse ausgewertet. Dabei ergibt sich anhand der Trennung über den Hubraum (Grenze 3,5 Liter) ein über die drei Jahre gemitteltes durchschnittliches Verhältnis von 2,5:1 (Lastkraftwagen:Transporter). Damit konnte das fiktive Referenzfahrzeug der N2-Klasse bestimmt werden und ist in Tabelle 20 ersichtlich.

Tabelle 20: VKM-Benzin und VKM-Diesel Referenzfahrzeug für die N2-Klasse.

Unterklasse	Fahrzeug	Hubraum	Leistung	Leergewicht
Transporter	Ford Transit [36]	2 Liter	125 kW	2.093 kg
LKW	MAN TGL 4x2 [37]	4,6 Liter	162 kW	5.840 kg
N2-Gesamt	Fiktiv	3,8 Liter	151 kW	4.769 kg

Für das VKM-CNG Referenzfahrzeug werden lediglich die Tankgröße bestimmt. Die restlichen Daten werden vom VKM-Diesel Referenzfahrzeug übernommen, da im Programm keine weiteren Fahrzeugdaten hinterlegt werden können. Für den CNG-Tank wurde ein Speichergewicht des Gases von 62 kg für das fiktive N2-Fahrzeug für das Jahr 2020 ermittelt. Zukünftig wird für das Tanksystem folgendes angenommen:

- Die Speichermenge des Gases bleibt konstant bei 62 kg, jedoch reduziert sich das Gewicht des Systems aufgrund von Weiterentwicklungen um 52 % bis 2050.

Zur Bestimmung des BEV-Referenzfahrzeuges wurde nicht zwischen den beiden Unterklassen unterschieden, da es noch keine BEV-LKWs im oberen zulässigen Bereich des Gesamtgewichtes der N2-Klasse gibt. Daher wurde das Referenzfahrzeug als Mittelwert der am Markt verfügbaren Fahrzeuge mit deren

Spezifikationen gewählt. Aufgrund der großen Bandbreite der Spezifikationen wurden die gemittelten Werte für ein fiktives Referenzfahrzeug mit folgenden Größen herangezogen:

- Leistung: 110 kW
- Batteriekapazität: 72 kWh (brutto)
- Leergewicht: 2504 kg

Das BEV-Referenzfahrzeug wurde für die Vergangenheit als konstant angenommen, da hier die Stückzahlen gering sind und keine genaue Betrachtung notwendig ist. Zukünftig wird erwartet, dass sich das BEV-Referenzfahrzeug an jene Werte des VKM-Referenzfahrzeuges annähern. Daher wurden folgende Annahmen getroffen:

- Die Leistung steigt von 110 kW im Jahr 2020 auf 150 kW im Jahr 2030 und bleibt danach konstant.
- Die Batteriekapazität steigt bis zum Jahr 2030 auf 100 kWh und bleibt danach ebenfalls konstant. Dabei wird angenommen, dass die Transporter zukünftig überwiegend BEV-Fahrzeuge sind und die LKW größtenteils einen Brennstoffzellenantrieb haben werden.

Für das FCEV-Referenzfahrzeug gibt es ebenfalls kaum am Markt verfügbare Fahrzeuge. Daher wurde zur Bestimmung des Referenzfahrzeuges der Mittelwert aller gefundenen Fahrzeuge herangezogen. Dabei konnten folgende Werte für ein fiktives Referenzfahrzeug ermittelt werden:

- Leistung des Stacks: 151 kW
- Leistung E-Motor: 150 kW
- Masse des speicherbaren Wasserstoffes: 6,8 kg
- Batteriekapazität: 32,7 kWh

Die restlichen Werte des Referenzfahrzeuges werden vom VKM-Diesel übernommen, da wiederum keine weiteren Spezifikationen im Programm hinterlegt werden können. Beim FCEV-Referenzfahrzeug werden zukünftig folgende Entwicklungen erwartet:

- Die Leistung des Brennstoffzellenantriebes wird mit 151 kW konstant gehalten, da diese bereits jetzt dem durchschnittlichen Wert der VKM-Fahrzeuge entspricht.
- Die Wasserstoffspeichermenge wird bis 2050 auf 8 kg ansteigen, die Masse des Tanksystems wird sich dabei um ca. 28 % reduzieren.

Da nur ein Aufbaugewicht in das System übernommen werden kann, wird in einer ersten Näherung das Aufbaugewicht des VKM-Diesels für alle Antriebsarten

übernommen, da dies auch bei den FCEV-Fahrzeugen hinterlegt ist und diese beiden Antriebsarten den größten Anteil der Klasse abdecken.

Für die Verschleißteile während des Betriebes werden folgende Komponenten berücksichtigt:

- Reifen
- Ölverbrauch
- Bremsscheiben
- Federung/Dämpfer
- Windschutzscheibe
- Kupplung
- 12V-Starterbatterie

Für die Ersatzteile wurden eine Vielzahl an Gewichtsgrößen für die zwei Unterklassen ermittelt und anschließend wird anhand des Verhältnisses der Bestandszahlen der Referenzwert für die N2-Klasse gebildet. Die benötigten Ersatzteile pro Kalenderjahr ergeben sich anhand der erwarteten Lebensdauer der einzelnen betrachteten Komponenten.

## 4.6 N3-Klasse

In der N3-Klasse werden wie auch in der N2-Klasse die vier Antriebsarten VKM-Benzin, VKM-Diesel, VKM-CNG sowie BEV berücksichtigt. Die N3-Klasse besteht sowohl aus N3-Fahrzeugen mit einem zulässigen Gesamtgewicht von über 12.001 kg (Fahrgestell) als auch aus Sattelzugmaschinen. Die sich diese beiden Fahrzeugtypen deutlich voneinander unterscheiden wird jeweils für beide ein Referenzfahrzeug gesucht und anschließend anhand der Bestände ein gemeinsamen N3-Referenzfahrzeug ermittelt. Um die zeitliche Entwicklung abbilden zu können, werden die Daten für die zwei Jahre 2006 und 2021 betrachtet und zwischen diesem Zeitraum wird linear interpoliert.

Da sich die Fahrzeuge der N3-Klasse hinsichtlich Gewicht und Leistung deutlich voneinander unterscheiden, wird um ein möglichst realistisches VKM-Referenzfahrzeug zu erhalten zunächst eine Vielzahl an Fahrzeugen sowohl für Fahrgestelle als auch für Sattelzugmaschinen recherchiert.

Von der Statistik Austria ist eine Statistik verfügbar, in der das zulässige Gesamtgewicht jeweils für Fahrgestelle und Sattelzugmaschine über der Leistung dargestellt ist [38]. Diese Statistik wird nun herangezogen und die recherchierten Fahrzeuge werden in Abhängigkeit des zulässigen Gesamtgewichtes und der Leistung diesen Teilbereichen zugeordnet. Anschließend wird für jeden Teilbereich,

welcher über die Leistung definiert ist, innerhalb einer Gewichtsklasse ein Referenzfahrzeug in Abhängigkeit der Stückzahlen gebildet. Zu guter Letzt wird anhand dieser Referenzfahrzeuge für jede Gewichtsklassen und in Abhängigkeit der Bestandszahlen jeweils ein gemeinsames Referenzfahrzeug für Fahrgestell und Sattelzugmaschine gebildet, siehe Tabelle 21.

Tabelle 21: Referenzfahrzeuge für Fahrgestell und Sattelzugmaschine.

Unterklasse	Fahrzeug	Hubraum	Leistung	Leergewicht
Jahr 2006				
Fahrgestell	Volvo FMX (4x4) [39]	9,5 Liter	268 kW	7.571 kg
Sattelzugmaschine	Volvo FH 13 (4x2) [40]	12,4 Liter	342 kW	7.406 kg
Jahr 2021				
Fahrgestell	MAN TGS (6x2) [41]	10,6 Liter	299 kW	8.198 kg
Sattelzugmaschine	Volvo FH 13 (4x2) [42]	13 Liter	365 kW	7.515 kg

Dabei wurde für das Leergewicht auch der Aufbau beim Fahrgestell sowie der Sattelaufleger bei der Sattelzugmaschine berücksichtigt da angenommen wird, dass die Fahrzeuge zum größten Teil mit Aufbau bzw. Auflieger unterwegs sind und dieser auch Emissionen in der Herstellung verursachen. Um das Gewicht dieses Aufbaus bzw. Sattelauflegers abschätzen zu können, wurde zunächst nach einer Statistik hinsichtlich der Aufbauarten gesucht. Da diese für Österreich nicht verfügbar ist, wurde diese vom Kraftfahrt Bundesamt [43] in Deutschland verwendet und angenommen, dass die prozentuale Verteilung der Aufbauten in Österreich gleich ist.

Gemäß den Fahrzeugzulassungen (FZ 26, 2020 [44]) sind bei den Sattelzugaufliegern die Plateau-Anhänger mit Seitenplanen am häufigsten vertreten und weisen einen Anteil von 27,7 % aus. Bei den Fahrgestellen ist mit 26,7 % der Kippaufbau im Jahr 2020 am häufigsten verbaut worden. Für den Plateau-Anhänger und Kippaufbau wurden mehrere Versionen des Herstellers Schwarzmüller [45] recherchiert und daraus das gemittelte Leergewicht bestimmt welches sich wie folgt ergibt:

- Plateau-Anhänger: 6.200 kg [46]
- Kippaufbau für 3-Achs LKW: 2.400 kg [47]

Diese ermittelten Gewichte werden zum Leergewicht des Fahrgestelles bzw. Sattelzugmaschine addiert und sind bereits in Tabelle 21 enthalten.

Die gesamten Bestandszahlen für Fahrgestell und Sattelzugmaschinen in Österreich stammen wieder von der Statistik Austria [10] und werden für die Gewichtung eines gemeinsamen fiktiven Referenzfahrzeuges herangezogen. Diese Bestandszahlen sind in Tabelle 22 aufgelistet.

Tabelle 22: Bestandszahlen von Fahrgestell und Sattelzugmaschine. [10]

	Jahr 2006	Jahr 2021
Fahrgestell	3.374	3.361
Sattelzugmaschine	3.466	2.925

Anhand der Daten aus Tabelle 21 und Tabelle 22 konnte nun ein gemeinsames fiktives VKM-Referenzfahrzeug bestimmt werden, siehe Tabelle 23.

Tabelle 23: Fiktives VKM-Referenzfahrzeug der N3-Klasse.

	Jahr 2006	Jahr 2021
Hubraum	11,8 Liter	12,6 Liter
Leistung	312 kW	343 kW
Leergewicht	6.943 kg	7.650 kg

Vor dem Jahr 2006 und nach dem Jahr 2021 werden die Werte als konstant angenommen, dazwischen wird linear interpoliert.

Für das VKM-CNG Referenzfahrzeug wird, wie auch schon bei der N2-Klasse, lediglich die Tankgröße bestimmt. Die Restlichen Daten werden vom VKM-Diesel Referenzfahrzeug übernommen. Außerdem wird hier nicht zwischen Sattelzugmaschine und Fahrgestell unterschieden. Als Speichergewicht des Gases wurde für 2006 ein Wert von 90 kg und für das Jahr 2021 ein Wert von 117,5 kg ermittelt. Vor 2006 wurden die Spezifikationen als konstant angenommen. Zukünftig wird für das Tanksystem folgendes angenommen:

- Die Speichermenge des Gases steigt bis 2030 auf 120 kg an und bleibt anschließend konstant.
- Das Gewicht des Tanksystems reduziert sich aufgrund von Weiterentwicklungen um 56 % bis 2050.

Zur Bestimmung des BEV-Referenzfahrzeuges wurde ebenfalls aufgrund der geringen Anzahl an verfügbaren Fahrzeugen nicht zwischen Fahrgestell und Sattelzugmaschine unterschieden, sondern der Mittelwert der gefundenen Fahrzeuge mit deren Spezifikationen berechnet. Aufgrund der großen Bandbreite der Spezifikationen wurden die gemittelten Werte als fiktives Referenzfahrzeug mit folgenden Größen herangezogen:

- Leistung: 360 kW
- Batteriekapazität: 360 kWh (brutto)

Das BEV-Referenzfahrzeug wurde für die Vergangenheit als konstant angenommen, da hier die Stückzahlen gering sind und keine genaue Betrachtung notwendig ist.



Zukünftig wird erwartet, dass sich das BEV-Referenzfahrzeug an jene Werte des VKM-Referenzfahrzeuges annähert. Daher wurden folgende Annahmen getroffen:

- Die Leistung wird mit 360 kW konstant gehalten, da diese bereits über jener der VKM-Fahrzeuge liegt.
- Die Batteriekapazität steigt bis zum Jahr 2030 auf 700 kWh an um mehr Reichweite zu ermöglichen und bleibt danach konstant.

Für das FCEV-Referenzfahrzeug gibt es kein Fahrzeug, welches in Serie produziert wird. Hier wurde als Referenzfahrzeug der Prototyp von Daimler, der Gen-H2-Truck, gewählt. Dieser entspricht von den Spezifikationen am ehesten einem N3-Fahrzeug, wo die Brennstoffzelle nicht als Range-Extender fungiert. Die Spezifikationen des Gen-H2-Trucks sind wie folgt [48]:

- Leistung des Stacks: 330 kW
- Leistung E-Motor: 360 kW
- Masse des speicherbaren Wasserstoffes: 80 kg
- Batteriekapazität: 70 kWh (brutto)

Die restlichen Werte des Referenzfahrzeuges werden vom VKM-Diesel übernommen. Beim FCEV-Referenzfahrzeug werden diese sowohl für die Vergangenheit als auch für die Zukunft konstant gelassen, da das Fahrzeug nicht weit von der VKM-Leistung abweicht und die angegeben Reichweite von 1000 km als ausreichend angesehen wird.

Da nur ein Aufbaugewicht in das System übernommen werden kann, wird in einer ersten Näherung das Aufbaugewicht des VKM-Diesels für alle Antriebsarten verwendet.

Für die Verschleißteile während des Betriebes werden folgende Komponenten berücksichtigt:

- Reifen
- Ölverbrauch
- Bremsscheiben
- Federung/Dämpfer
- Windschutzscheibe
- Kupplung
- 12V-Starterbatterie

Für die Ersatzteile wurden eine Vielzahl an Gewichtsgrößen für die zwei Unterklassen Fahrgestell und Sattelzugmaschine ermittelt und anschließend anhand der



Bestandszahlen der Referenzwert für die N3-Klasse gebildet. Dabei wird für den Betrieb auch der Reifenverschleiß des Sattelauflegers berücksichtigt. Die benötigten Ersatzteile pro Kalenderjahr ergeben sich anhand der erwarteten Lebensdauer der einzelnen betrachteten Komponenten.

## 5 Fahrleistungen

Die Fahrleistung wird zur Berechnung der Tank-to-Wheel Emissionen benötigt. Um diese für den österreichischen Verkehr bestimmen zu können, wurden in der ursprünglichen Flottenemissionsprognose die Überprüfungsdaten gemäß der §57a-Begutachtung [49] für die drei Jahre 2016, 2017 und 2018 angeschafft. Diese Daten werden erneut herangezogen und hinsichtlich der neuen Fahrzeugklassen ausgewertet.

Dabei werden zunächst jene Fahrzeuge aussortiert, welche keine vollständigen Daten aufweisen oder vor dem Jahr 1950 erstmals zugelassen wurden.

### 5.1 PKW und leichte Nutzfahrzeuge (N1)

Die Fahrleistung von Personenkraftwagen leichten Nutzfahrzeugen wurde unverändert von der ursprünglichen Flottenemissionsprognose übernommen.

### 5.2 L-Klasse

Innerhalb der L-Klasse wird wieder zwischen den drei Unterklassen L1e, L3e und LRest unterschieden, da diese ein unterschiedliches Fahrverhalten und somit keine einheitliche Fahrleistung aufweisen.

Hinsichtlich der Antriebsarten, wird in den §57a-Begutachtung zwischen folgenden Antriebsarten unterschieden:

- Diesel
- Otto-2-Takt
- Otto-4-Takt
- Elektro
- Sonstiges

Für die L-Klasse sei zu erwähnen, dass ab dem 01.03.2020 die 3-2-1 Regel eingeführt wurde, wie sie auch schon für Personenkraftwagen gültig ist [50]. Da die verwendeten Daten aber aus den Jahren 2016 – 2018 stammen, hat zu dieser Zeit noch die 1-1-1 Regel gegolten. Die Fahrzeuge mussten somit jährlich zur §57a-Überprüfung.

Bei der Auswertung der Überprüfungsdaten treten vereinzelt Fehler bei der Eintragung in das System auf, was zu einer viel zu hohen Fahrleistungen eines Fahrzeuges innerhalb eines Kalenderjahres führt. Daher wird eine maximale Jahresfahrleistung vorgegeben, um derartige Fehler herauszufiltern.

Zusätzlich werden auch noch Fahrzeuge mit einer zu hohen Gesamtfahrleistung herausgefiltert, da diese Fahrzeuge die Fahrleistung verzerren. In den meisten Fällen

handelt es sich hierbei erneut um Eintragungsfehler, es kann aber auch sein, dass ein Fahrzeug tatsächlich eine so hohe Fahrleistung aufweist. Dieses wird in dieser Arbeit nicht mitberücksichtigt, es kann aber angenommen werden, dass dies keine Auswirkung auf die verwendete durchschnittliche Fahrleistung der Fahrzeugklasse hat. Die Grenze der maximalen Fahrleistung wurde so gewählt, dass ca. 0,1 % der Eintragsdaten einer Antriebsart innerhalb einer Fahrzeugklasse rausfallen, siehe Tabelle 24.

Tabelle 24: Verwendete Grenzwerte für die L-Klasse.

Unterklasse	Antriebsart	Maximale jährliche Fahrleistung [km]	Maximale Gesamtfahrleistung [km]	Anteil nicht berücksichtigten Einträge
L1e	Otto-2-Takt	40.000	100.000	0,09 %
	Otto-4-Takt	40.000	100.000	0,19 %
L3e	Otto-2-Takt	70.000	180.000	0,06 %
	Otto-4-Takt	70.000	180.000	0,09 %
LRest	Otto-2-Takt	60.000	150.000	0,16 %
	Otto-4-Takt	60.000	150.000	0,11 %
	Diesel	150.000	300.000	0,14 %

Anhand dieser Grenzwerte wurden die Daten der §57a-Begutachtung aussortiert und die Daten der drei Jahre für die einzelnen Fahrzeuge anhand der Fahrzeugidentifikationsnummer zusammengefasst.

Da angenommen wird, dass sich die Fahrleistung wie auch beim PKW zwischen den Antriebsarten unterscheidet, werden nur jene Antriebsarten mit der dazugehörigen Fahrleistung berechnet, welche die Klasse repräsentieren. Dafür sind in Tabelle 25 die Anzahl der Einträge für die jeweiligen Antriebsarten der L-Klasse ersichtlich.

Tabelle 25: Anzahl an Einträgen in der §57a-Begutachtung unterteilt nach Unterklassen und Antriebsarten für die L-Klasse. [51]

	Diesel	Otto-2-Takt	Otto-4-Takt	Elektro	Sonstiges
L1e	70	200.963	34.529	3.496	4.639
L3e	96	52.522	428.625	818	5.032
LRest	10.924	7.978	21.128	961	563

Für die L1e- und L3e-Unterklasse wird nur die Antriebsart Benzin berücksichtigt. Da aber sowohl die 2-Takt als auch 4-Takt Fahrzeuge bedeutende Stückzahlen aufweisen, werden zur Berechnung der Fahrleistung beide Antriebsarten (2-Takt und 4-Takt) herangezogen und gemeinsam ausgewertet. Die restlichen Antriebsarten

können aufgrund der geringen Anzahl an Einträgen vernachlässigt werden bzw. würden keine repräsentativen Ergebnisse für die Unterklasse liefern.

In der Untergruppe LRest werden sowohl Diesel- als auch Benzinfahrzeuge berücksichtigt. Dabei wird für die Fahrleistung der Benzinler wieder die 2-Takt und 4-Takt Fahrzeuge gemeinsam ausgewertet. Die restlichen Antriebsarten können aufgrund der geringen Stückzahlen vernachlässigt werden.

Nach der Auswertung der Daten konnten folgende durchschnittliche Fahrleistungen in Abhängigkeit des Fahrzeugalters bestimmt werden:

- L1e-Klasse:

Die berechnete Fahrleistung der L1e-Benzinfahrzeuge ist in [Abbildung 15](#) ersichtlich. Diese Fahrzeuge weisen in den ersten drei Jahren eine sehr hohe Fahrleistung auf. Es ist anzunehmen, dass diese Klasse vom Neufahrzeug-Effekt sehr stark profitieren dürfte. Ab dem zwanzigsten Fahrzeugjahr nimmt die Fahrleistung nur mehr gering ab, hat aber auf die Flottenemissionsprognose keinen Einfluss mehr, da hier nur mehr geringe Fahrzeugbestände vorhanden sind.

Die durchschnittliche Jahresfahrleistung bezogen auf die Bestandsdaten des Jahres 2017 für die ersten 24 Fahrzeugjahre liegt bei 1.543 km/a.

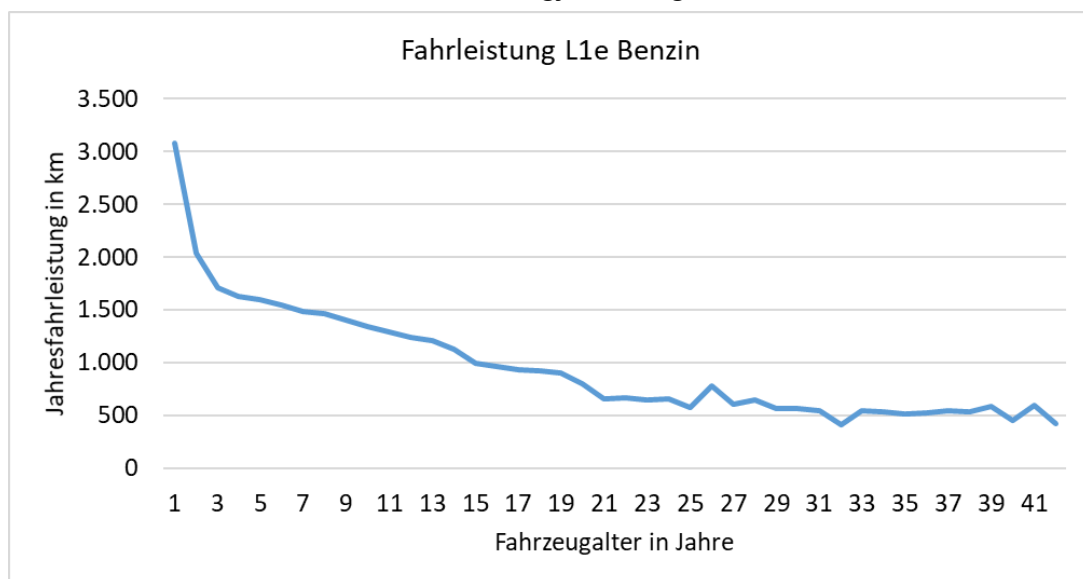


Abbildung 15: Fahrleistung der Benzinfahrzeuge in Abhängigkeit des Fahrzeugalters der L1e-Klasse.

- L3e-Klasse:

Die berechnete Fahrleistung der L3e-Benzinfahrzeuge ist in [Abbildung 16](#) dargestellt. Im Vergleich zur L1e-Klasse liegt hier die Fahrleistung im ersten Jahr in der gleichen Größenordnung, nimmt aber mit dem Fahrzeugalter

deutlich langsamer ab. Grund dafür könnte die höhere Lebensdauer als auch ein konstanteres Fahrverhalten der Zielkunden sein.

Die durchschnittliche Jahresfahrleistung bezogen auf die Bestandsdaten des Jahres 2017 für die ersten 24 Fahrzeugjahre liegt bei 2.257 km/a und damit deutlich über jener der L1e-Klasse.

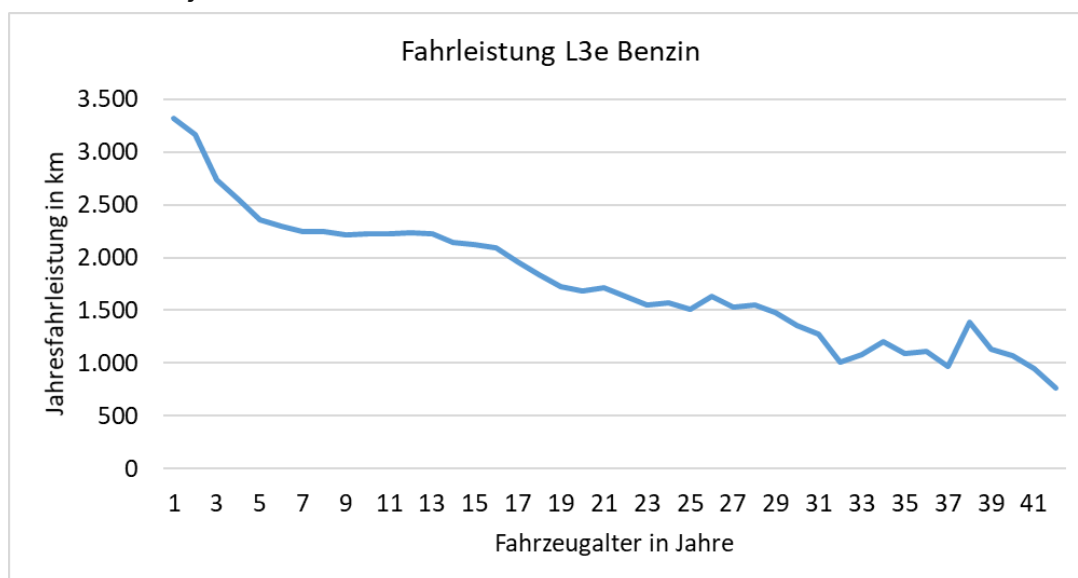


Abbildung 16: Fahrleistung der Benzinfahrzeuge in Abhängigkeit des Fahrzeugalters der L3e-Klasse.

- LRest-Klasse:

In der LRest-Klasse wird die Fahrleistung von Benzin- und Dieselfahrzeugen getrennt betrachtet, da sich diese deutlich voneinander unterscheiden, siehe [Abbildung 17](#). Zusätzlich wurde für diese Klasse noch eine mittlere Fahrleistung berechnet, welche für die batterieelektrischen Fahrzeuge verwendet wird. Diese ergibt sich aus den nach Fahrzeugbeständen gewichteten Fahrleistungen der Benzin- und Dieselfahrzeuge bzw. ab einem Fahrzeugalter von 24 Jahren werden nur mehr die Daten von den Benzinfahrzeugen herangezogen, da von den Dieselfahrzeugen keine Informationen verfügbar sind.

Ein Problem der LRest-Klasse ist die geringe Anzahl an verfügbaren Fahrzeugen und somit Einträgen in den Überprüfungen. Daher konnten insbesondere ab einem Fahrzeugalter von zehn Jahren die Fahrleistungen nur anhand sehr weniger Einträge berechnet werden und weisen daher deutliche Schwankungen auf. Bei den Dieselfahrzeugen waren ab einem Fahrzeugalter von 24-Jahren überhaupt keine Daten mehr verfügbar, weshalb die Fahrleistung ab diesem Zeitpunkt als konstant angenommen wurde.

Hinsichtlich des Ergebnisses der Flottenemissionsprognose kann angenommen werden, dass dies dünne Datenlage keine Auswirkungen haben wird, da die Bestandszahlen der LRest-Klasse sehr niedrig sind und daher die

verursachten Emissionen keinen nennenswerten Anteil an den Gesamtemissionen haben werden.

Die durchschnittliche Jahresfahrleistung bezogen auf die Bestandsdaten des Jahres 2017 für die ersten 24 Fahrzeugjahre liegt bei 1.172 km/a für Benzinfahrzeuge bzw. 4.986 km/a für Dieselfahrzeuge.

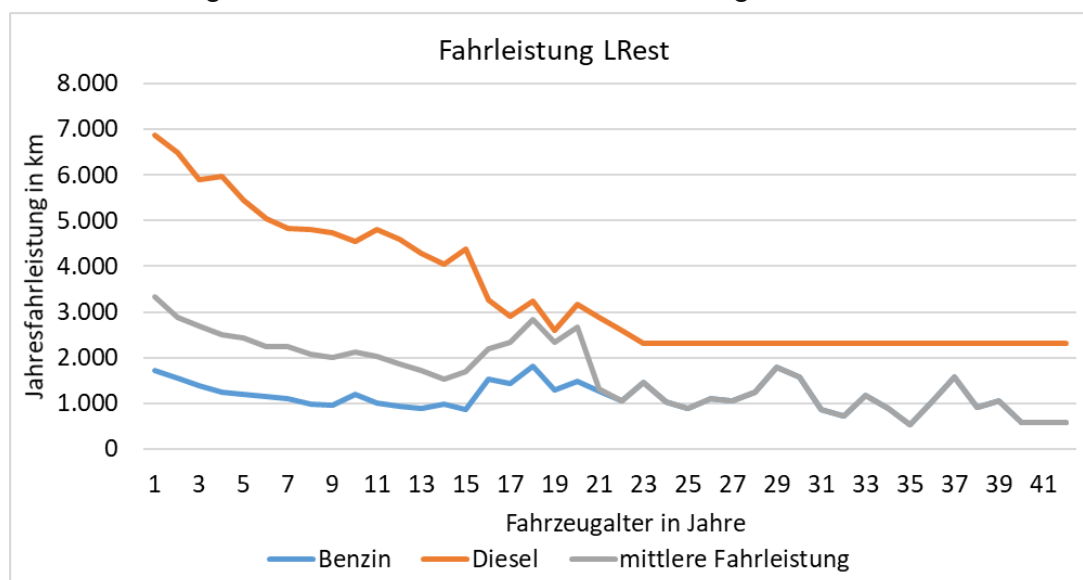


Abbildung 17: Fahrleistung der LRest-Klasse in Abhängigkeit des Fahrzeugalters und der Antriebsart.

Die ermittelten Fahrleistungen werden für alle Jahre als konstant angenommen, da derzeit keine genaueren historischen Fahrleistungen verfügbar sind.

### 5.3 Mittlere und schwere Nutzfahrzeuge

In der §57a-Begutachtung wird zwischen den mittleren Nutzfahrzeugen (N2) und schweren Nutzfahrzeugen (N3) unterschieden, wobei in der N3-Klasse die Sattelzugmaschinen enthalten sind.

Die Nutzfahrzeuge müssen jährlich zur §57a-Begutachtung, sie unterliegen somit der 1-1-1 Regel.

Hinsichtlich der Antriebsart werden bei den Nutzfahrzeugen nur die Dieselfahrzeuge berücksichtigt, da diese die dominierende Antriebsart ist.

Wie auch schon bei der L-Klasse, werden auch bei den Nutzfahrzeugen die Datensätze um unvollständige Daten und Fahrzeuge mit Erstzulassung vor 1950 korrigiert.

Zusätzlich werden auch Eintragungsfehler eliminiert, durch die in Tabelle 26 aufgelisteten Grenzwerte.

Tabelle 26: Gewählte Grenzwerte für die Nutzfahrzeuge.

Unterklasse	Antriebsart	Maximale jährliche Fahrleistung [km]	Maximale Gesamtfahrleistung [km]	Anteil nicht berücksichtigten Einträge
N2	Diesel	400.000	1.000.000	0,16 %
N3	Diesel	720.000	1.800.000	0,09 %

Anhand dieser Grenzwerte wurden die Daten der §57a-Begutachtung aussortiert und die Daten der drei Jahre für die einzelnen Fahrzeuge anhand der Fahrzeugidentifikationsnummer zusammengefasst.

Anschließend wird die Anzahl an Einträgen aller Antriebsarten überprüft, ob die Annahme, nur die Dieselfahrzeuge zur Bestimmung der Fahrleistung heranzuziehen, zulässig ist, siehe [Tabelle 27](#). Es ist ersichtlich, dass die Fahrleistung nur anhand der Dieselfahrzeuge bestimmt werden kann und die restlichen Antriebsarten eine untergeordnete Rolle spielen.

Tabelle 27: Anzahl an Einträgen in der §57a-Begutachtung unterteilt nach Unterklassen und Antriebsarten für die N-Klasse. [51]

	Diesel	Otto-2-Takt	Otto-4-Takt	Elektro	Sonstiges
N2	17.942	0	386	0	238
N3	74.211	0	34	0	830

Nach der Auswertung der Daten konnten folgende durchschnittliche Fahrleistungen in Abhängigkeit des Fahrzeugalters bestimmt werden:

- N2-Klasse:

Die berechnete Fahrleistung der N2-Dieselfahrzeuge ist in [Abbildung 18](#) ersichtlich. Dabei sei anzumerken, dass die Datenbasis im ersten Jahr sehr dünn ist und nur 20 Fahrzeuge umfasst. Diese Fahrzeuge weisen im gewichteten Durchschnitt eine Fahrleistung von 50.645 km auf, welche im Vergleich zu den nachfolgenden Jahren mit deutlich besserer Datenbasis als zu hoch angesehen wird. Als Korrektur wird der gewichtete Wert aus jenen Fällen berechnet, wo mehr als 5 Einträge vorhanden sind. Dieser Korrekturwert für das erste Jahr ergibt sich zu 34.254 km. Für die restlichen Jahre ist eine ausreichende Datenbasis zur Bestimmung der Fahrleistung vorhanden.

Die durchschnittliche Jahresfahrleistung bezogen auf die Bestandsdaten des Jahres 2017 für die ersten 24 Fahrzeugjahre liegt bei 19.910 km/a.



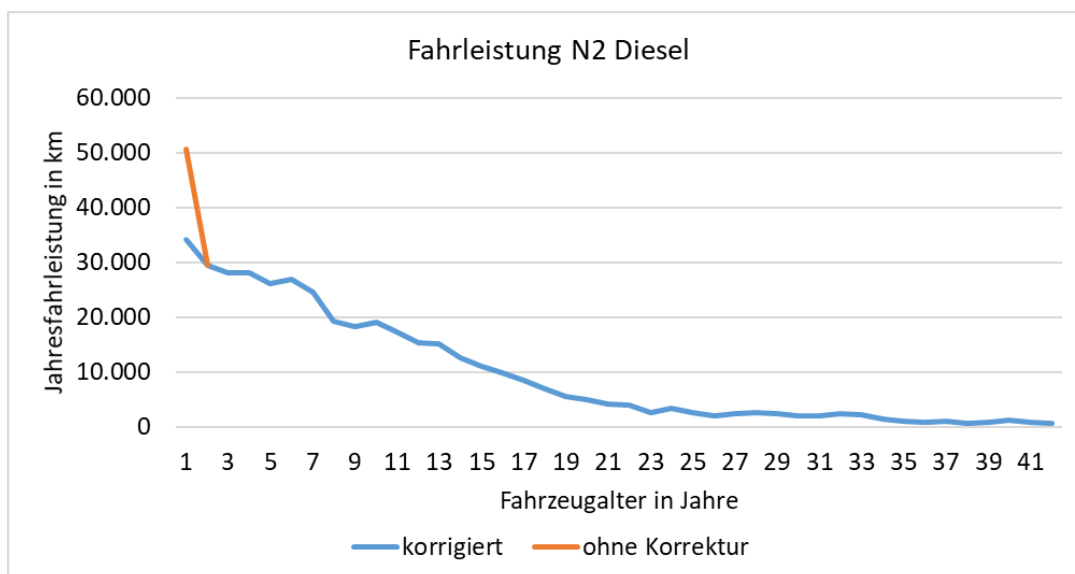


Abbildung 18: Fahrleistung der Dieselfahrzeuge in Abhängigkeit des Fahrzeugalters der N2-Klasse.

- N3-Klasse:

Die berechnete Fahrleistung der N3-Dieselfahrzeuge ist in Abbildung 19 dargestellt. Hier ist im Vergleich zur N2-Klasse keine Korrektur notwendig, da eine ausreichenden Datenbasis vorhanden ist. Im Vergleich zur N2-Klasse liegt hier die Fahrleistung deutlich höher, nimmt aber in den ersten zwanzig Jahren deutlich ab.

Die durchschnittliche Jahresfahrleistung bezogen auf die Bestandsdaten des Jahres 2017 für die ersten 24 Fahrzeugjahre liegt bei 54.221 km/a und damit deutlich über jener der N2-Klasse.

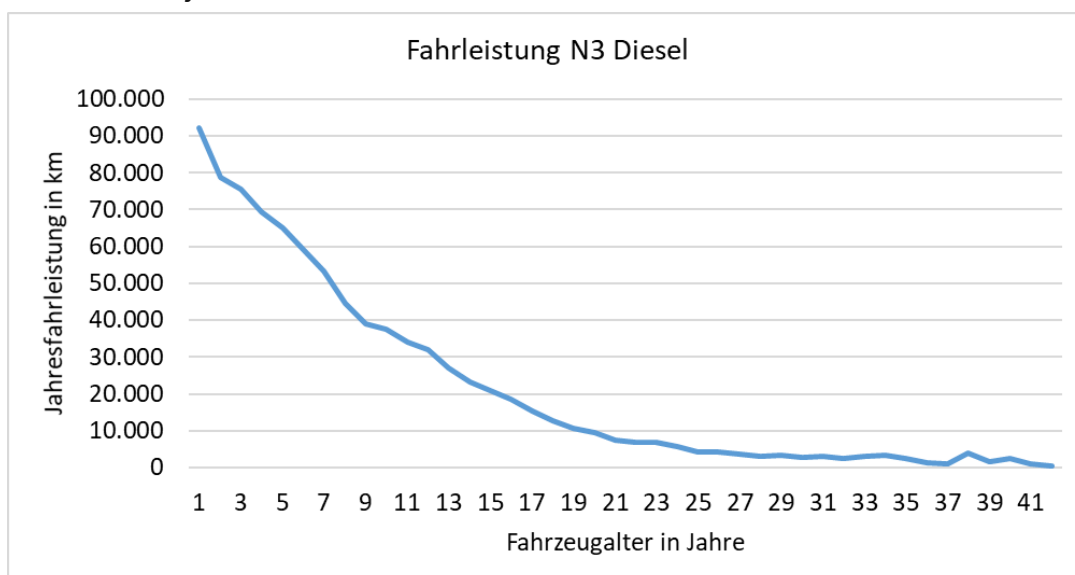


Abbildung 19: Fahrleistung der Dieselfahrzeuge in Abhängigkeit des Fahrzeugalters der N3-Klasse.

Die ermittelten Fahrleistungen der Nutzfahrzeuge werden wieder für alle Jahre als konstant angenommen, da derzeit keine genaueren historischen Fahrleistungen verfügbar sind. Für alle anderen Antriebsarten, welche neben den Dieselfahrzeuge existieren, konnte aufgrund der geringen Datenlage keine eigene Fahrleistung berechnet werden. Hier wird wieder angenommen, dass das Nutzungsverhalten unabhängig von der Antriebsart ist und die Fahrzeuge die gleiche Fahrleistung aufweisen.

## 5.4 Transitverkehr

Österreich weist bei den schweren Nutzfahrzeugen einen nicht zu vernachlässigen Transitverkehr auf. Dieser soll in der Flottenemissionsprognose erfasst werden, um die vom Verkehr in Österreich anfallenden Emissionen möglichst exakt abbilden zu können.

Um den Transitverkehr berücksichtigen zu können, werden folgende Daten benötigt:

- Gesamtfahrleistung der in Österreich registrierten Fahrzeuge, welche anhand der Fahrleistung und der Bestandszahlen im Rahmen dieser Arbeit berechnet werden.
- Fahrleistung der in Österreich registrierten Fahrzeugen im Ausland, da vor allem in den Jahren vor 2010 diese Fahrzeuge einen hohen Anteil der Fahrleistung im Ausland gefahren sind, welcher sich in den letzten Jahren sukzessive reduziert hat.

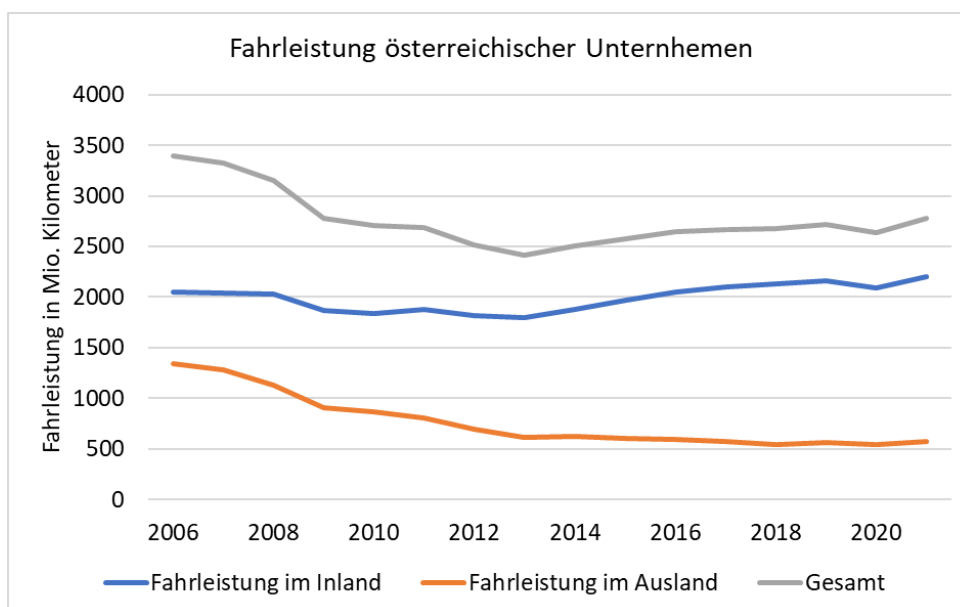


Abbildung 20: Fahrleistung österreichischer Unternehmen im In- und Ausland sowie gesamt.

Diese Fahrleistung wurde von der Statistik „Fahrten im Straßengüterverkehr ab 2006“ [52] von der Statistik Austria entnommen. Die Entwicklung der

Fahrleistung ist in [Abbildung 20](#) ersichtlich. Verfügbar waren die Daten von 2006 bis 2021.

- Die Fahrleistung von nicht in Österreich registrierten Fahrzeuge im österreichischen Autobahnnetz. Diese Daten wurden direkt von der Verkehrsstatistikabteilung der ASFiNAG [53] bezogen. Dabei sei angemerkt, dass die ASFiNAG nicht zwischen N2- und N3-Fahrzeugen unterscheidet. Somit entspricht die Fahrleistung aller Fahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht von über 3,5 Tonnen. Wie in [Abbildung 21](#) ersichtlich, nimmt diese über die Jahre stetig zu. Verfügbar waren die Fahrleistungsdaten nur von 2007 bis 2021. Da nicht zwischen Fahrzeugen der N2- und N3-Klasse unterschieden wird und die Fahrleistung ausländischer Fahrzeuge im österreichischen Autobahnnetz von den N3-Fahrzeugen dominiert ist, werden die Emissionen des Transitverkehrs nur der N3-Klasse zugeordnet.

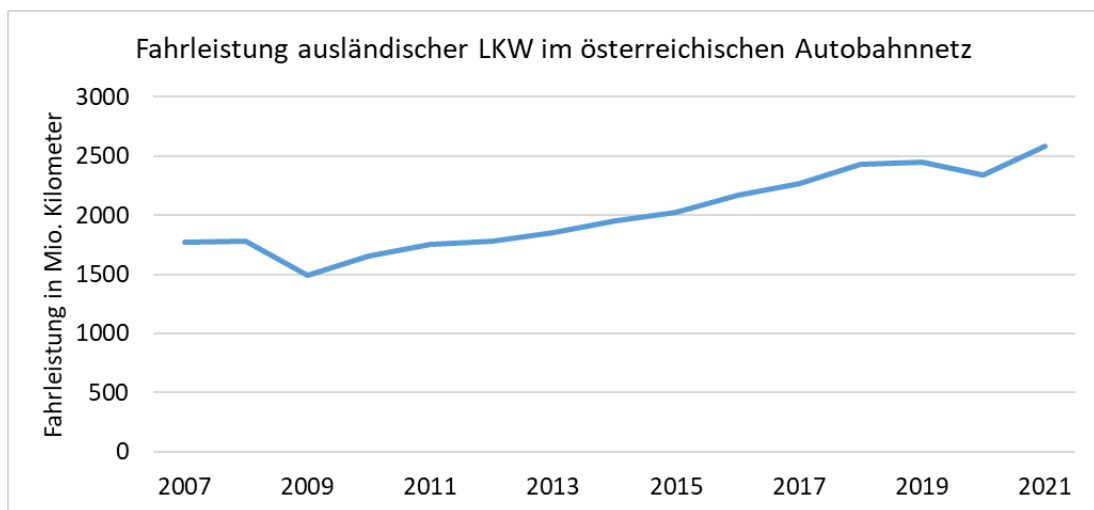


Abbildung 21: Fahrleistung ausländischer Nutzfahrzeuge ab 3,5 Tonnen im österreichischen Autobahnnetz.

- Fahranteil von nicht in Österreich registrierten Fahrzeuge außerhalb des Autobahnnetzes. Hier wurde für eine erste Abschätzung angenommen, dass diese Nutzfahrzeuge zusätzlich 10 % der Fahrleistung abseits der Autobahn fahren, wobei von dieser Fahrleistung 80 % außerorts und 20 % innerorts gefahren wird.

Anhand dieser Faktoren lässt sich nun der Einfluss des Transitverkehrs abschätzen. Einfluss hat dieser auf die LCA-Bereiche TTW, Betrieb sowie WTT. Dabei wird angenommen, dass die Emissionen für den Betrieb (Verschleißmaterial) direkt proportional zur Fahrleistung sind. Somit ergibt sich die Berücksichtigung dieses LCA-Bereiches des Transitverkehrs mit Hilfe eines Faktors, welche die N3-Emissionen in LCA-Bereich Betrieb erhöht. Dieser Faktor ergibt sich entsprechend [Gleichung 1](#):

$$\frac{\text{Fahrleistung inländischer LKW in Österreich}}{\text{Fahrleistung ausländischer LKW in Österreich}} + 1 \quad (1)$$

Wobei sich die Fahrleistung der inländischen LKW aus der Differenz der in diesem Programm berechneten Fahrleistung der N3-LKW ergibt, reduziert um die Fahrleistung im Ausland (Abbildung 20). Die Fahrleistung der ausländischen LKW ergibt sich aus den Daten der ASFINAG und der angenommenen Fahrleistungserhöhung um 10 %. Der berechnete Faktor wird für die Jahre vor 2007 und nach 2021 als konstant weitergeführt.

Für die TTW- & WTT-Emissionen kann der Faktor nicht direkt übernommen werden, da hier die Emissionen von den drei Fahranteilen Autobahn, außerorts und innerorts abhängen. Diese Fahranteile unterscheiden sich deutlich zwischen den N3-Fahrzeugen und dem Transitverkehr. Daher wird der Faktor um die unterschiedlichen Fahranteile korrigiert, sodass die TTW- & WTT-Emissionen der angenommenen Fahranteilverteilung für den Transit entsprechen. Dieser Korrekturfaktor wird für die unterschiedlichen Emissionen getrennt berechnet, siehe [Abbildung 22](#).

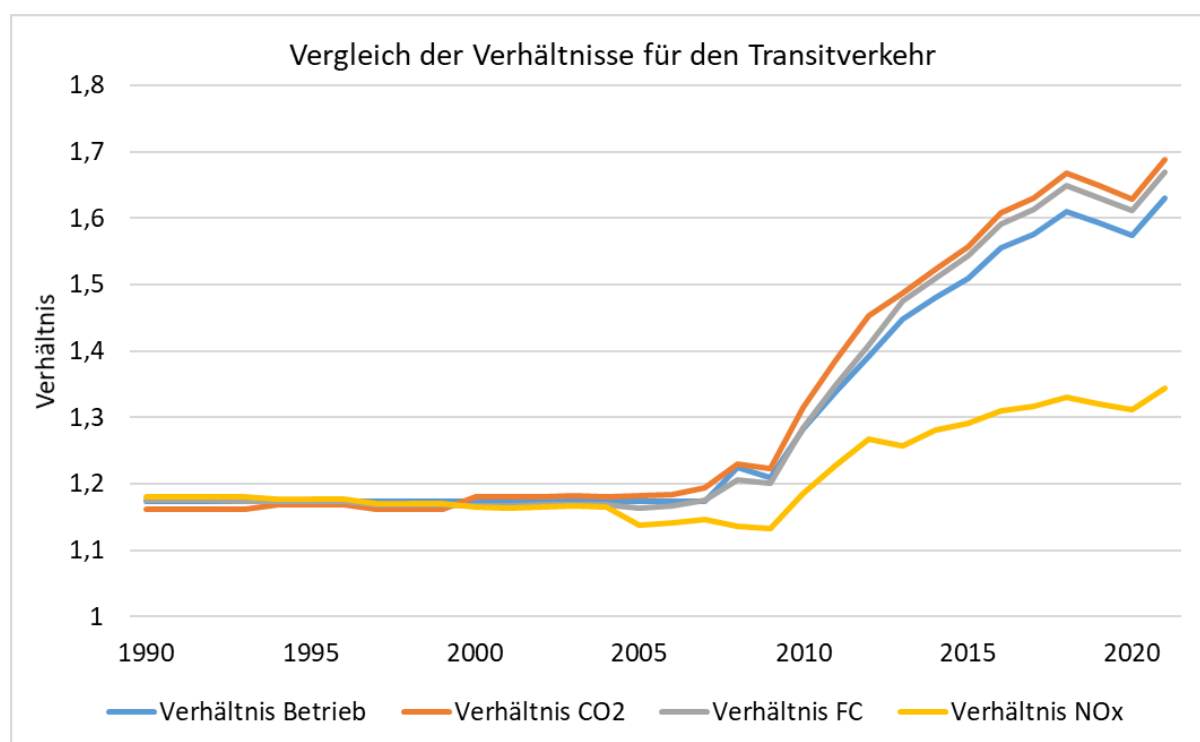


Abbildung 22: Faktoren für die Berücksichtigung des Transitverkehrs.

Dabei sieht man, dass aufgrund der starken Zunahme des Transitverkehrs um das Jahr 2010 der Faktor für den Betrieb (blau) stark ansteigt. Die Abweichung der Emissionen aufgrund der unterschiedlichen Fahranteile für die WTT- & TTW-Emissionen sind nur marginal, mit Ausnahme der Stickoxide (NOx), welcher deutlich geringer ist. Grund dafür ist sehr starke Reduktion der Stickoxide aufgrund der

Einführung der Schadstoffklassen, wodurch trotz der erhöhten Zunahme des Transitverkehrs, die NO<sub>x</sub>-Emissionen deutlich weniger stark zunehmen, als die restlichen Emissionen. Ab dem Jahr 2022 werden die Faktoren für die Zukunft in einer ersten Annahme als konstant weitergeführt.

Mithilfe dieser Faktoren kann nun der Transitverkehr in der Flottenemissionsprognose berücksichtigt werden, in dem die Emissionen der schweren Nutzfahrzeuge (N3-Klasse) der einzelnen Jahre und LCA-Bereiche um die Abbildung 22 dargestellten Faktoren erhöht werden.

## 6 Emissionsdaten

Die Emissionsdaten wurden bis auf die Tank to Wheel-Emissionen (TTW) in der ursprünglichen Flottenemissionsprognose von Joanneum Research [54] bezogen. Aufgrund der hohen Kosten der Emissionsdaten, wurden diese für die Erweiterung der Flottenemissionsprognose nicht neu angefragt, sondern werden erst zu einem späteren Zeitpunkt aktualisiert. Das bedeutet, dass nur die Emissionen der PKW zur Verfügung stehen und diese für alle neu hinzugefügten Fahrzeugklassen verwendet werden müssen. Dadurch sind keine genauen Emissionsprognosen möglich bzw. hat das berechnete Ergebnis dieser Arbeit keine Aussagekraft.

Damit Joanneum Research die benötigten Emissionsdaten bereitstellen kann, wird ein File übergeben, welches Informationen über Flottenbestände, Energiemengen und Herstellungs- bzw. Entsorgungsdaten enthält. Dieses File wurde entsprechend der neu hinzuzufügenden Fahrzeugklassen erweitert. Wichtig ist dabei, dass bei den Emissionen die jeweiligen Stückzahlen hinterlegt sind, da mit unterschiedlichen Produktionsgrößen unterschiedliche Herstellungsverfahren zur Verfügung stehen und diese unterschiedlichen Emissionen aufweisen. Zudem werden die Emissionsdaten nicht aus einem Jahr abgeleitet, sondern werden für den Zeitraum vom 1990 bis 2050 betrachtet. Auf diese Weise ist es möglich, unterschiedliche Technologien, die sich über die Jahre entwickelt haben und entwickeln werden abzubilden.

### 6.1 Allgemeine Annahmen

Zur Bestimmung der Emissionswerte, wurden in der ursprünglichen Flottenemissionsprognose einige Annahmen getroffen, siehe [Tabelle 28](#). Diese wurden unverändert übernommen, da keine neuen Emissionsdaten angefragt werden. Eine Änderung ist somit nicht möglich, da diese Annahmen die Grundlage für die Ermittlung der Emissionswerte bilden.

Tabelle 28: Zugrundeliegende Annahmen zur Bestimmung der Emissionswerte.

	1990	2000	2010	2020	2030	2050
Anteil erneuerbarer Strom	68 %	77 %	68 %	78 %	100 %	100 %
Anteil erneuerbarer Wasserstoff	0 %	0 %	0 %	0 %	10 %	80 %
Anteil erneuerbarer Kraftstoff (RED) [55]	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	14 %
Bio-Diesel Blend-Anteil	0 %	0 %	6 %	6 %	10 %	10 %
Ethanol Blend-Anteil	0 %	0 %	5 %	5 %	9 %	9 %
FT-/e-Fuels-Anteil	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Batterieherstellung Europa Anteil	0 %	0 %	0 %	0 %	10 %	10 %

## 6.2 Herstellung

Dabei werden die bei der Fahrzeugherstellung anfallenden Emissionen berücksichtigt. Diese hängen maßgeblich von den gewählten Referenzfahrzeugen der einzelnen Fahrzeugklassen sowie den hinterlegten Stückzahlen ab. Die Stückzahlen spielen insbesondere bei den BEV- und FCEV-Fahrzeugen eine bedeutende Rolle, da diese Antriebsarten sich derzeit im Hochlauf befinden und sich hier die Fertigungstechnologien und damit auch die Emissionen zukünftig noch weiterentwickeln werden, sodass die Herstellung derartiger Fahrzeuge weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen aufweisen wird. Entsprechend der Referenzfahrzeuge werden Herstellungsemissionen, je nach Antriebsart, für folgende Baugruppen ermittelt

- Antriebsstrang eines Verbrennungsmotors
- Antriebsstrang eines elektrischen Fahrzeuges
- Antriebsstrang eines Brennstoffzellenfahrzeuges
- Fahrzeugaufbau
- Traktionsbatterie (Lithium-Ionen-Batterie)
- Wasserstofftanksystem
- CNG-Tanksystem

Aus diesen einzelnen Baugruppen werden anschließend die Herstellungsemissionen für jedes einzelne Fahrzeug mit unterschiedlichen Antriebsarten durch entsprechendes zusammenzählen der relevanten Baugruppenelementen, wie auch schon bei den Referenzfahrzeugen beschrieben, bestimmt. z.B.: N2-VKM-Benzin besteht aus Fahrzeugaufbau (N2) und Antriebsstrang eines Verbrennungsmotors (N2).

Wie bereits erwähnt, werden für die neu hinzugefügten Fahrzeugklassen die Herstellungsemissionen der einzelnen Baugruppen vom PKW übernommen. Um dennoch annähernd verwendbare Emissionsdaten verwenden zu können, werden die auf das Gewicht normierte Emissionen verwendet. z.B.: N2-Fahrzeugaufbau weist denselben gewichtsbezogenen Emissionswert auf wie der PKW-Fahrzeugaufbau.

## 6.3 Betrieb

Die Emissionen des Betriebes berücksichtigen Verschleißteile, welche während der Fahrzeugnutzung gewechselt werden müssen. Dazu zählen beispielweise der Reifenverschleiß, Ersatzteile, usw. Beim Betrieb wurde die ursprüngliche Struktur, bestehend aus:

- Reifen
- Ölbedarf



- Ersatzteile

auf folgende neue Struktur geändert:

- Reifen
- Ölbedarf
- 12V-Starterbatterie
- Stahl
- Aluminium
- Glas
- Kunststoff

Grund dafür war, dass für die Ersatzteile ein fiktiver Emissionswert ermittelt wurde, welcher alle Ersatzteile repräsentieren soll. Mit der neuen Struktur können die Emissionen für die einzelnen Kategorien genauer bestimmt und weitere Teile leichter hinzugefügt werden, indem sie den aufgelisteten Kategorien zugeteilt werden.

Zudem wird durch die Strukturänderung ein Anstieg in der Genauigkeit erwartet, da nicht mehr wie ursprünglich zwischen den einzelnen Antriebsarten (VKM, PHEV, BEV und FCEV) und Fahrzeugarten (PKW und N1) unterschieden, sondern diese als Gesamtsumme behandelt und Joanneum Research übergeben werden. Auf diese Weise ergeben sich größere Herstellungsmengen, welche in effizienteren Produktionsprozessen bei niedrigeren Emissionsausstoß herstellbar sind. Dabei wird angenommen, dass z.B. die gewichtsbezogenen Herstellungsemissionen eines Reifens für die unterschiedlichen Antriebsarten (VKM, PHEV, BEV und FCEV) als auch für die Fahrzeugarten (PKW, L-Klasse, N-Klasse) gleich sind. Diese Annahme wird in der Realität auch so umgesetzt, da nicht jeweils eine Fabrik für Reifen unterschiedlicher Antriebsarten oder Fahrzeugklassen gebaut wird, sondern ein Hersteller fertigt die Reifen von BEV-PKW in der gleichen Fabrik wie jene für VKM-Benzin-PKW.

Da die Emissionsdaten in dieser Arbeit nicht neu angefragt werden, wurden die Emissionsdaten wie folgt vom PKW übernommen:

- Reifen vom „Reifen“-Emissionswert PKW-VKM
- Ölbedarf vom „Ölbedarf“-Emissionswert PKW-VKM
- 12V-Starterbatterie vom „Traktionsbatterie“-Emissionswert vom PKW-VKM
- Stahl vom „Ersatzteil“-Emissionswert PKW-VKM
- Aluminium vom „Ersatzteil“-Emissionswert PKW-VKM
- Glas vom „Ersatzteil“-Emissionswert PKW-VKM
- Kunststoff vom „Ersatzteil“-Emissionswert PKW-VKM

## 6.4 End of Life (EOL)

Dabei werden jene Emissionen berücksichtigt, welche im Recycling wieder zurückgewonnen werden können. Diese werden als Gutschrift in der späteren Berechnung berücksichtigt. Im EOL werden wie schon bei der Herstellung folgende Baugruppen, je nach Antriebsart betrachtet:

- Antriebsstrang eines Verbrennungsmotors
- Antriebsstrang eines elektrischen Fahrzeuges
- Antriebsstrang eines Brennstoffzellenfahrzeuges
- Fahrzeugaufbau
- Traktionsbatterie (Lilon-Batterie)
- Wasserstofftanksystem
- CNG-Tanksystem

Im Vergleich zur Herstellung wird im EOL nicht zwischen den unterschiedlichen Fahrzeugarten unterschieden, da die Emissionen nicht in der benötigten Genauigkeit verfügbar sind. Somit wird angenommen, dass der gewichtsbezogene Emissionswert einer Baugruppe für alle Antriebsarten gleichbleibt.

In dieser ersten Form der Flottenemissionsprognose werden wieder die gewichtsbezogenen Werte vom PKW für die einzelnen Baugruppen übernommen. Anhand der Baugruppen werden dann wieder die Fahrzeuge für die unterschiedlichen Antriebsarten aufgebaut nach dem gleichen System wie in der Fahrzeugherstellung.

## 6.5 Well to Tank (WTT)

Dabei werden die Emissionen der Energiebereitstellung von der Förderung/Erzeugung bis hin zum Kraftstofftank/Batterie berücksichtigt. In der Flottenemissionsprognose sind folgende Energieträger hinterlegt:

- Benzin
- Ethanol
- LPG (Liquefied Petroleum Gas)
- FT-Benzin (Fischer-Tropsch-Benzin)
- Diesel
- FAME (Fatty Acid Methyl Esters)
- HVO (Hydrotreated Vegetable Oil)
- FT-Diesel (Fischer-Tropsch-Diesel)
- CNG (Verdichtetes Erdgas)
- CRG (Compressed Renewable Gas)

- Strom
- Wasserstoff

Wie auch schon bei den vorherigen Kategorien spielen auch hier die verwendeten Mengen der Energieträger eine große Rolle bei den Herstellungsemissionen, besonders bei der Einführung und dem Hochlauf alternativer Kraftstoffe. Daher werden auch hier die benötigten Mengen aller Fahrzeugklassen und Antriebsarten zusammengefasst.

Ein weiterer wichtiger Punkt hinsichtlich der Emissionen in der Erzeugung bei alternativen Kraftstoffen ist, aus welchen ursprünglichen Quellen der Kraftstoff gewonnen wurde. Die Rohstoffquellen einiger der genannten Energieträger sind in Tabelle 29 aufgelistet.

Tabelle 29: Rohstoffzusammensetzung alternativer Kraftstoffe für die betrachteten Jahre.

Kraftstoff	Rohstoffquelle	1990	2000	2010	2020	2030	2050
FAME	Pflanzenöle	75 %	75 %	75 %	78 %	75 %	75 %
	Reststoffe	25 %	25 %	25 %	19 %	25 %	25 %
HVO	Pflanzenöle	90 %	90 %	90 %	90 %	90 %	90 %
	Reststoffe	10 %	10 %	10 %	10 %	10 %	10 %
Ethanol	Pflanzenöle & -zucker	100 %	100 %	100 %	49 %	47 %	47 %
	Holz & Stroh	0 %	0 %	0 %	51 %	53 %	53 %
CRG	Mais(silage) & Gülle	60 %	60 %	60 %	60 %	0 %	0 %
	Reststoffe	40 %	40 %	40 %	40 %	0 %	0 %
	Holz, Stroh & Strom	0 %	0 %	0 %	0 %	100 %	100 %
FT-Benzin	Holz, Stroh & Strom	0 %	0 %	0 %	0 %	100 %	100 %
FT-Diesel	Holz, Stroh & Strom	0 %	0 %	0 %	0 %	100 %	100 %

Die Verteilung in Tabelle 29 aufgelisteten Zusammensetzungen der Energieträger wurde wieder unverändert von der ursprünglichen Flottenemissionsprognose übernommen, da die Emissionsdaten nicht neu angefragt wurden und somit keine Änderungen möglich sind.

## 6.6 Tank to Wheel (TTW)

In dem LCA-Bereich Tank to Wheel werden jene Emissionen berücksichtigt, welche bei der Verbrennung des Kraftstoffes im Verbrennungsmotor entstehen. BEV- und FCEV-Fahrzeuge weisen keine TTW-Emissionen auf, da sowohl Wasserstoff in der Brennstoffzelle als auch Strom im Elektromotor keine CO<sub>2</sub>-Emissionen oder Schadstoffe wie Stickoxide bei der Energieumwandlung erzeugt.

Die Daten für die TTW-Emissionen stammen nicht von Joanneum Research sondern werden vom „Handbuch für Emissionsfaktoren“ [56] entnommen. Berücksichtigt wurden dabei die Versionen 2.1 sowie 4.2. Bei der Version 4.2 handelt es sich um die aktuellste Version. Diese behaltet jedoch nur die Emissionsdaten ab dem Jahr 1980. Um einen möglichst genauen Einschwingvorgang erreichen zu können, werden aber die Emissionsdaten ab 1950 benötigt. Daher wurde für die Emissionsdaten vor 1980 die Version 2.1 des Emissionshandbuches herangezogen. An dieser Stelle sei angemerkt, dass sich die historischen Daten vor dem Jahr 2000 zwischen diesen beiden Versionen zum Teil deutlich unterscheiden. Um keinen Sprung in den Emissionsdaten zu haben, wurden die Emissionsdaten der Version 2.1 mithilfe eines Faktors korrigiert, damit diese mit der Version 4.2 in den überscheidenden Jahren übereinstimmen.

Für die Flottenemissionsprognose werden jeweils die im Emissionshandbuch angegeben durchschnittlichen Emissionswerte für Autobahn, Außerorts und Innerorts verwendet. Da es keine verfügbaren Daten hinsichtlich der Aufteilung für den österreichischen Verkehr gibt, wurden in der ursprünglichen Flottenemissionsprognose versucht, diese mithilfe des Ausbaus des Straßennetzes herzuleiten. Da sich das Straßennetz seither nicht geändert hat, bildet die Verteilung der Straßenarten für PKW die Basis für die zu erweiternden Fahrzeugklassen, wobei für eine erste Abschätzung folgende vereinfachte Näherung angenommen werden:

- Die L1e-Klasse weist keinen Autobahnanteil auf und der Fahrleistung für außerorts und innerorts wird mit jeweils 50 % angenommen.
- Die L3e-Klasse weist einen geringen Autobahnanteil von 10 % auf. Die Anteile für außerorts und innerorts betragen 50 % und 40 %.
- Für die LRest-Klasse wird kein Autobahnanteil angenommen. Die Fahrleistung teilt sich daher wie auch schon in der L1e-Klasse gleichmäßig auf außerorts und innerorts mit jeweils 50 % auf.
- Für die mittleren und schweren Nutzfahrzeuge wurden die Fahranteile vom PKW übernommen.

Diese grobe Verteilung der Fahranteile wurde getroffen, da das Ziel dieser Arbeit der Strukturaufbau der Programmerweiterung ist und nicht eine möglichst exakte Prognose. Daher werden die Fahranteile erst nach der Diplomarbeit mit höherer Genauigkeit versehen.

Für die L-Klasse sind im Emissionshandbuch nur die Emissionsdaten für den Betrieb verfügbar und keine Kaltstartemissionen. Daher wurden für die Flottenemissionsprognose folgende Daten verwendet:

- L1e-Klasse: Emissionsdaten für Motorfahräder unter 50 ccm jeweils während des Betriebes ohne Kaltstartemissionen. BEV-Emissionen sind null.
- L3e-Klasse: Emissionsdaten für Motorräder über 50 ccm jeweils während des Betriebes ohne Kaltstartemissionen. BEV-Emissionen sind null.
- LRest-Klasse: Für diese Klasse sind keine Daten im Emissionshandbuch vorhanden. Daher wird folgende Näherung angenommen: Für die Benzinfahrzeuge (größtenteils L2e- und L7e-Klasse, Motordreiräder und Quads) werden die Emissionsdaten der L3e-Klasse übernommen. Für die Dieselfahrzeuge (größtenteils L6e-Klasse, leichte vierrädrige Fahrzeuge) wurden die Emissionsdaten von den PKW-Fahrzeugen übernommen. BEV-Emissionen sind wiederum null. Diese Näherung ist nicht exakt, jedoch beinhaltet die LRest-Klasse unterschiedliche Fahrzeugtypen, was keine exakte Datenabschätzung zulässt und zudem sind die Emissionen dieser Klasse aufgrund der geringen Bestände und Fahrleistung ohnehin sehr gering.

Für die mittleren und schweren Nutzfahrzeuge (N2- & N3-Klasse) sind im Emissionshandbuch nur die Emissionen der Dieselfahrzeuge verfügbar, wiederum jedoch keine Kaltstartemissionen. Da aber in der Flottenemissionsprognose weitere Antriebsarten berücksichtigt sind, werden für diese ebenfalls Emissionsdaten benötigt. Aufgrund der geringen Bestände dieser nicht Dieselfahrzeuge, wird folgende grobe Abschätzung als ausreichend angenommen: Die Emissionen jener nicht Dieselfahrzeuge, ergeben sich aus dem gleichen Verhältnis, welches bei den PKW-Fahrzeugen zwischen den Dieselfahrzeugen und der zweiten Antriebsart ergibt. BEV- und FCEV-Fahrzeuge werden wieder als emissionsfrei in der TTW-Betrachtung angenommen.

## 7 Datenverarbeitung

Zur Verarbeitung der in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Daten der Flottenstatistik, Referenzfahrzeuge, Fahrleistung und Emissionsdaten wird wie auch schon in der ursprünglichen Flottenemissionsprognose das Programm Matlab (Version R2019b) [57] gewählt, da dieses eine effiziente Verarbeitung großer Datenmengen ermöglicht.

Aufgrund der enormen Menge an zu verarbeitenden Daten und begrenzten Arbeitsspeichers, werden zunächst die Fahrzeugklassen getrennt voneinander berechnet und erst in einem letzten Schritt zusammengeführt.

Als Grundlage dient das vorhandene Programm der ursprünglichen Flottenemissionsprognose, welches um die beschriebenen Änderungen angepasst und um die hinzuzufügenden Fahrzeugklassen erweitert wurde. Ein grober Überblick über den Aufbau der Datenverarbeitung ist in [Abbildung 23](#) ersichtlich.

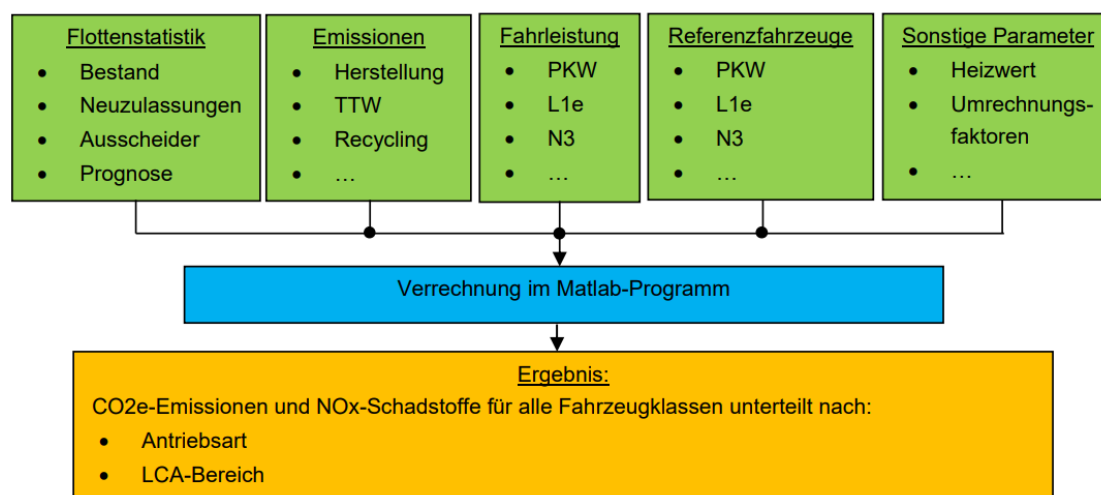


Abbildung 23: Grober Überblick über den Aufbau der Datenverarbeitung

Zur Berechnung der Flottenemissionsprognose wurden von dem ursprünglichen Projekt folgende Parameter übernommen:

- Durchschnittlichen Kaltstarts pro Tag: 2,4
- Untere Heizwert von Benzin: 40,9 MJ/kg
- Untere Heizwert von Diesel: 42,6 MJ/kg
- Untere Heizwert von CNG: 50 MJ/kg
- Dichte Benzin: 0,748 kg/l
- Dichte Diesel: 0,833 kg/l
- CO<sub>2</sub> pro Liter Benzin: 2,33 kg/l
- CO<sub>2</sub> pro Liter Diesel: 2,65 kg/l
- CO<sub>2</sub> pro kg CNG: 2,79 kg/kg

- Umrechnungsfaktor CH<sub>4</sub> in CO<sub>2</sub>-Äquivalente: 25
- Umrechnungsfaktor N<sub>2</sub>O in CO<sub>2</sub>-Äquivalente: 298

Zunächst werden für die einzelnen Fahrzeugklassen die zukünftigen Bestandsdaten anhand der Bestände und prognostizierten Neuzulassungen bestimmt.

Die Emissionen während des Betriebs ergeben sich anhand der Emissionsdaten, der Fahrleistungen und Bestandsdaten. Diese werden zunächst für die Emissionen Fuel Consumption (CO<sub>2</sub>), Lachgas (N<sub>2</sub>O) und Methan (CH<sub>4</sub>) sowie Stickoxide (NO<sub>x</sub>) berechnet und zum Schluss in Form von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten zusammengeführt bzw. Stickoxid getrennt ausgewiesen. Dies erfolgt innerhalb der Fahrzeugklasse getrennt für alle Antriebsarten.

Im nächsten Schritt werden die LCA-Emissionen für Herstellung, Betrieb, Energiebereitstellung (WWT) sowie Recycling (EOL) und Export berechnet. Dabei wird wieder zwischen den Emissionen CO<sub>2</sub>-Äquivalente und Stickoxide unterschieden. Um in der Auswertung zwischen den Antriebsarten und LCA-Typen unterscheiden zu können, werden die Emissionen für diese Untergruppen getrennt berechnet und anschließend entsprechend der gewünschten Auswertung addiert.

Die Herstellungsemissionen ergeben sich in Abhängigkeit der Neuzulassungen, Fahrzeugkomponenten sowie den hinterlegten Herstellungsemissionen.

Die Emissionen hinsichtlich des Betriebs berücksichtigen die Verschleißteile während der Fahrzeugnutzung und ergeben sich in Abhängigkeit der Bestandsdaten, Fahrleistung inkl. Transit für Nutzfahrzeuge, der Menge an Verschleißteilen sowie den hinterlegten Emissionen.

Die Emissionen der Energiebereitstellung errechnen sich in Abhängigkeit der benötigten Energie unterteilt nach Energieträger während der Nutzung der Fahrzeuge inkl. Transit und den hinterlegten Emissionsdaten.

Die Emissionen welche im Recycling zurückgewonnen werden hängt von der Anzahl der recycelten Fahrzeuge, deren Komponenten im Fahrzeugaufbau sowie den hinterlegten Emissionen ab.

Die zurückgewonnenen Emissionen für den Export hängt von der Anzahl an Exportierten Fahrzeugen, deren Nutzungsdauer in Österreich, sowie deren Komponenten im Fahrzeugaufbau und den hinterlegten Emissionen ab.

Als Ergebnis der Berechnung sind die Emissionen von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten als auch Stickoxide (NO<sub>x</sub>) für die einzelnen Fahrzeugklassen und Untergruppen verfügbar und können beliebig entsprechend der gewünschten Betrachtung in der Auswertung addiert werden.



## 8 Ergebnisse

Dieses Kapitel befasst sich mit den berechneten Ergebnissen der erweiterten Flottenemissionsprognose. Das Ziel dieser Diplomarbeit war es, die Fahrzeugklassen Motorräder (L-Klasse) sowie leichte und schwere Nutzfahrzeuge (N2- & N3-Klasse) in die bereits bestehende Flottenemissionsprognose zu integrieren. Nicht Teil dieser Arbeit war die Aktualisierung der Daten der beiden Klassen Personenkraftwagen (PKW) und leichte Nutzfahrzeuge (N1).

An dieser Stelle sei zu erwähnen, dass es sich bei den nachfolgend dargestellten Ergebnissen um keine exakten Werte handelt, sondern diese lediglich Richtwerte für eine grobe Orientierung bieten. Grund dafür ist, dass die Emissionsdaten der LCA-Teilbereiche Herstellung, WTT, Betrieb, EOL sowie Export für die hinzugefügten Klassen aus Kostengründen nicht neu angefragt wurden, sondern aus den PKW-Emissionen angenähert wurden. Zudem war es aus Zeitgründen nicht Teil der Arbeit, eine möglichst exakte Prognose für die zukünftige Flottenentwicklung auszuarbeiten, sondern diese wurde lediglich anhand historischer Werte grob angenähert.

Ziel dieses Kapitels ist es somit nicht möglichst exakte Daten zu präsentieren, sondern aufzuzeigen, welche Möglichkeiten die Flottenemissionsprognose zur Analyse des österreichischen Verkehrs bietet.

### 8.1 Flottenemissionsprognose aller Fahrzeugklassen

Für die Betrachtung der gesamten österreichischen Fahrzeugflotte wurden jeweils drei Diagramme für die Kohlenstoffdioxid-Emissionen (CO<sub>2</sub>) als auch für die Stickoxide (NO<sub>x</sub>) erstellt. Die Fahrzeugklassen PKW, L1e, L3e, LRest als auch N1 repräsentieren dabei ausschließlich die österreichische Fahrzeugflotten. Bei den mittleren und schweren Nutzfahrzeugen (N2- & N3-Klasse) wird neben der österreichischen Fahrzeugflotte auch der Transitverkehr der nicht österreichisch registrierten Fahrzeuge berücksichtigt.

Das Ergebnis der Flottenemissionsprognose nach Antriebsart ist in Abbildung 24 dargestellt. Dabei ist ersichtlich, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen zwischen den Jahren 1990 und 2003 stark zugenommen haben und nahezu ausschließlich von den Benzin- und Dieselfahrzeugen verursacht werden. Ab dem Jahr 2004 stabilisieren sich die Emissionen auf hohem Niveau und es kommt zu einer Art Plateaubildung. Begründbar ist diese mit der freiwilligen Einhaltung eines Flottendurchschnittes sowie nachfolgend der gesetzlichen Verpflichtung dazu. Ein weiterer nicht zu vernachlässigender Aspekt ist die Finanzkrise im Jahr 2008, welche zu einem Einbruch der Fahrzeugverkäufe als auch der Fahrleistung geführt hat. Erst nach 2017 beginnen die Emissionen in

Österreich langsam zu sinken, wenn auch nur auf sehr niedrigem Niveau. Hervorgerufen wird diese Abnahme durch effizientere und umweltfreundlichere Fahrzeuge aufgrund der gesetzlichen Flottenverbrauchsvorschriften, welche sich auch zunehmend in der Bestandsflotte durchschlagen. Ab dem Jahr 2020 nimmt der Anteil der alternativen Antriebssysteme vermehrt im Bestand zu, was auch in den Emissionen ersichtlich ist. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der BEV-Fahrzeugen entstehen dabei größtenteils in der Fahrzeugherstellung sowie im LCA-Bereich Betrieb und nur zu einem geringen Teil in der Energiebereitstellung (TTW).

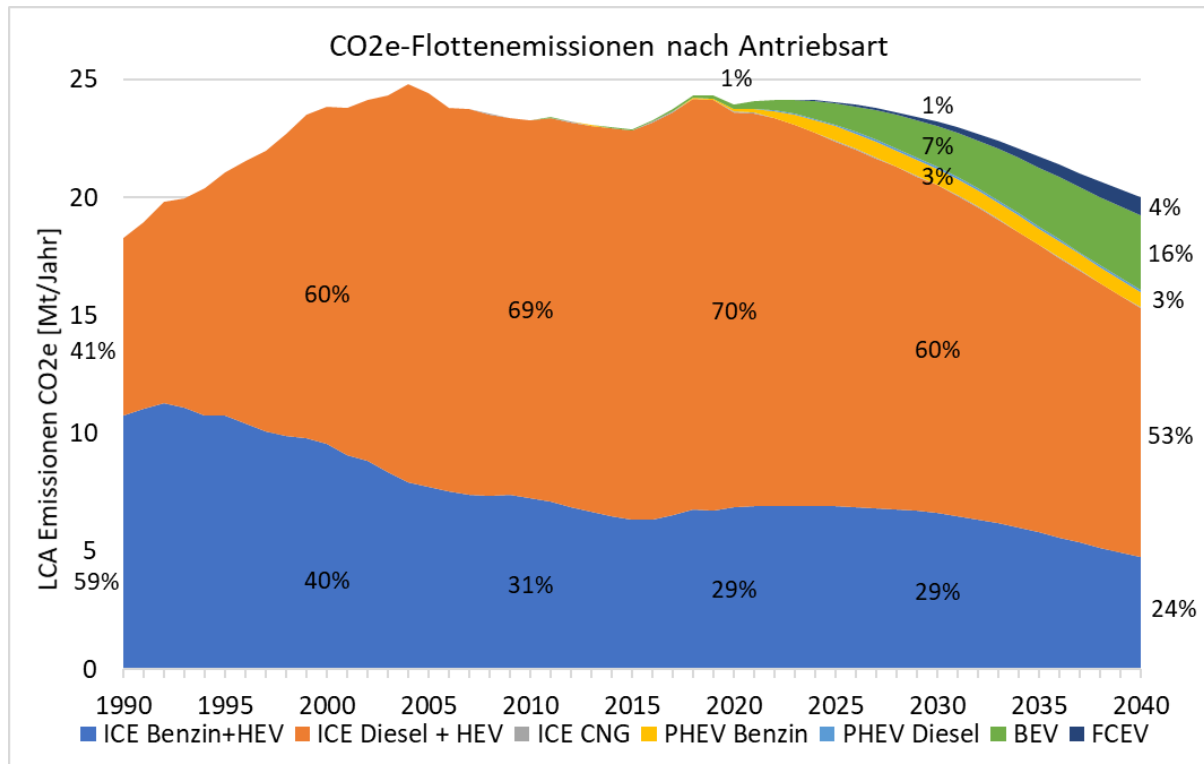


Abbildung 24: CO<sub>2</sub>e-Flottenemissionen nach Antriebsart.

In [Abbildung 25](#) ist die Auswertung der gesamten Flotte nach Fahrzeugklasse dargestellt. Hier ist ersichtlich, dass die meisten CO<sub>2</sub>-Emissionen von den Personenkraftwagen ausgestoßen werden, gefolgt von den schweren Nutzfahrzeugen (N3) und leichten Nutzfahrzeugen (N1). Dabei verursachen die PKW in allen Jahren mehr Emissionen, als die Summe der restlichen betrachteten Fahrzeugklassen. Die L-Klasse als auch die mittleren Nutzfahrzeuge (N2) haben nur einen sehr geringen Anteil an den Gesamtemissionen, was durch die verhältnismäßig geringen Bestandszahlen als auch der geringen Fahrleistung begründbar ist.

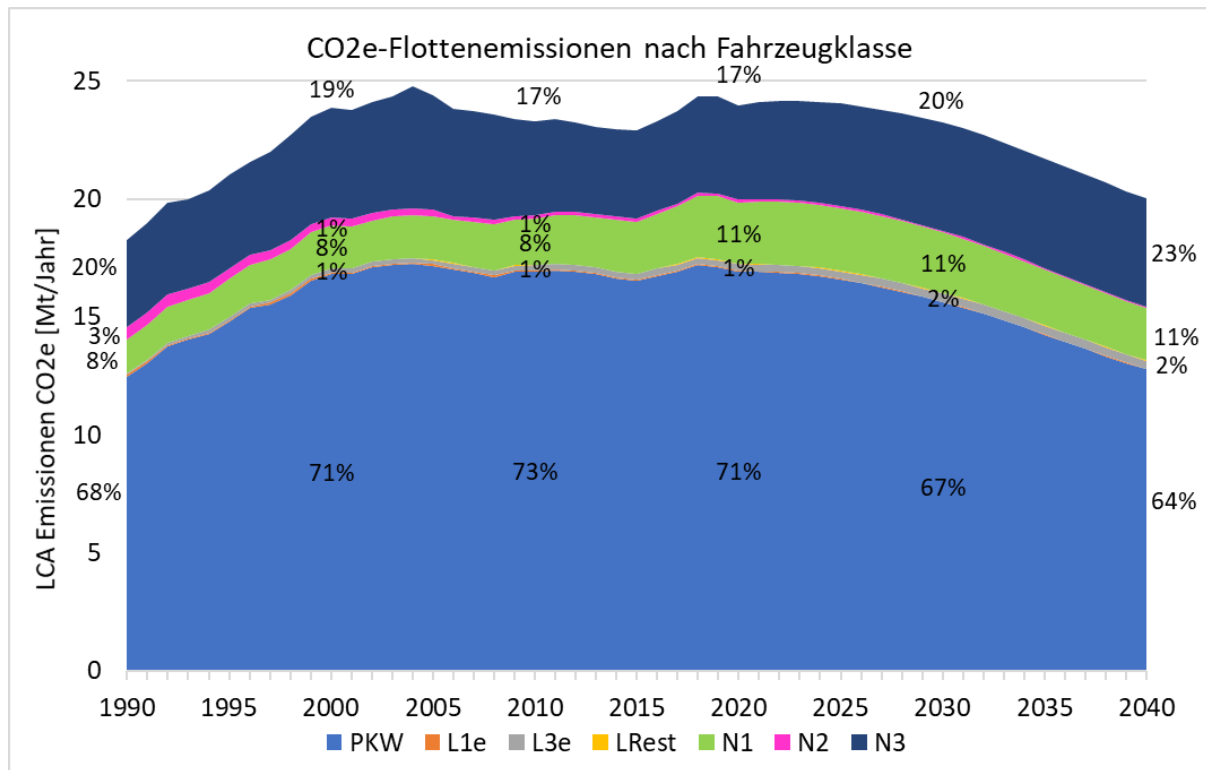


Abbildung 25: CO<sub>2</sub>e-Flottenemissionen nach Fahrzeugklasse.

Die Flottenemissionen unterteilt nach den verschiedenen LCA-Bereichen ist in Abbildung 26 ersichtlich.

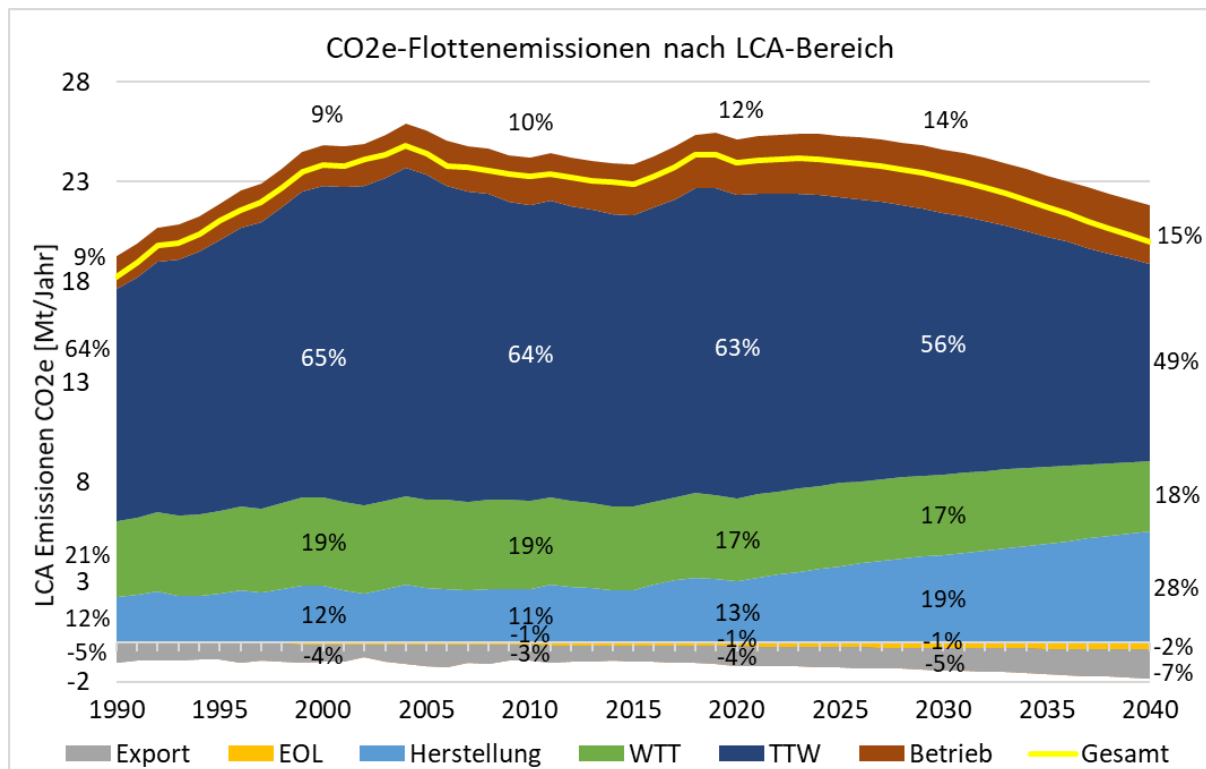


Abbildung 26: CO<sub>2</sub>e-Flottenemissionen nach LCA-Bereich.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen des TTW-Bereiches machen den größten Teil der Gesamtemissionen aus. Der Anteil der TTW-Emissionen nimmt im Zeitverlauf geringfügig aufgrund von Effizienzsteigerungen der Fahrzeuge sowie höheren Anteilen an alternativen Antriebssystemen, welche sehr geringe bis gar keine Emissionen im TTW-Bereich aufweisen, ab. Im Gegenzug dazu nimmt jedoch der Anteil der Herstellungsemissionen an den Gesamtemissionen kontinuierlich zu. Begründbar ist dies durch einen kontinuierlichen Anstieg der Neuzulassungen sowie ab ca. 2020 durch Fahrzeuge mit alternativen Antriebssystemen, welche höhere Emissionen in der Fahrzeugherstellungen aufweisen.

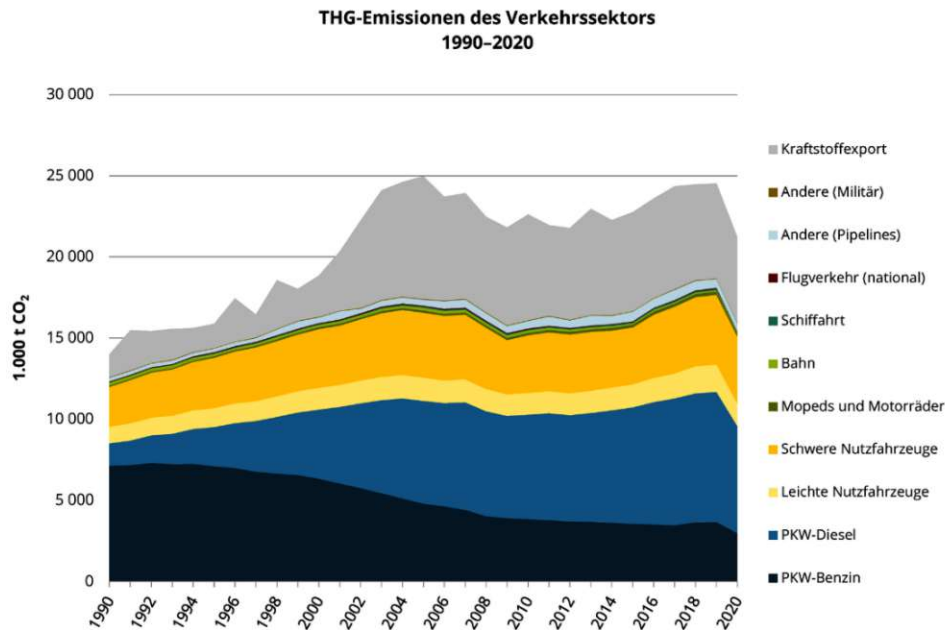
Aus diesen drei Diagrammen lässt sich ableiten, dass historisch die meisten CO<sub>2</sub>-Emissionen von den Benzin- und Dieselfahrzeugen der Fahrzeugklassen PKW, N1 und N3 bei der Kraftstoffverbrennung (TTW) ausgestoßen wurden. Zukünftig wird es durch die alternativen Antriebssysteme eine Verschiebung weg vom TTW-Bereich hin zu den Herstellungsemissionen geben, wobei sich die Gesamtemissionen nur im geringen Ausmaß reduzieren werden.

Um eine grobe Aussage über die Richtigkeit der erweiterten Flottenemissionsprognose treffen zu können, wurde nach Studien gesucht, die eine ähnliche Betrachtung des Verkehrssektors aufweisen. Da keine derartige Studie im Netz auffindbar war, wird eine Untersuchung, welche auf der Homepage des Umweltbundesamtes veröffentlicht wurde, als Vergleich herangezogen und ist in Abbildung 27 dargestellt. Im Vergleich zu dieser Arbeit untersucht die Studie nicht die Emissionen über das gesamte Fahrzeugleben, sondern nur die TTW-Emissionen. Dennoch weist dieser LCA-Bereich historisch den größten Anteil aus und bietet sich daher für einen Vergleich an. Basis der Vergleichsstudie bildeten die Kraftstoffverkäufe in Österreich. Jene Kraftstoffe, welche im Inland verkauft aber im Ausland verfahren werden, fallen in den Bereich Kraftstoffexport. Da in dieser Arbeit nur die Emissionen im Inland berücksichtigt wurden, sind die Kraftstoffexporte im Vergleich der beiden Arbeiten zu vernachlässigen.

Vergleicht man die beiden Ergebnisse ohne Kraftstoffexport, so sieht man eine hohe Übereinstimmung. Beide starten bei ca. 12 Mt/Jahr CO<sub>2</sub>e-Emissionen pro Jahr und nehmen bis 2005 auf ca. 16 Mt/Jahr CO<sub>2</sub>e-Emissionen zu, bevor es wieder zu einer Abnahme auf ca. 14,5 Mt/Jahr kommt. Der Anstieg ab 2015 weist Unterschiede in der Steigung auf. In der vom Umweltministerium veröffentlichten Studie ist der Anstieg steiler und höher, bevor die Emissionen 2020 aufgrund der Corona-Krise wieder abnahmen. Das Jahr 2020 wird in dieser Arbeit bereits als Zukunftsjahr gesehen, da die Bestandsdaten und Fahrleistungen nur bis 2019 eingespielt wurden, somit ist die Corona-Krise noch nicht darstellbar. Die Abweichung der Steigung in den Jahren

davor stammt von den PKW-Fahrzeugen, welche nicht Teil dieser Arbeit sind. Hier sind im Nachgang insbesondere die hinterlegten Fahrleistungen zu überprüfen.

Hinsichtlich der Verteilung nach Fahrzeugklassen sind beide Studien sehr ähnlich. An dieser Stelle soll noch einmal darauf hingewiesen werden, dass die Daten der PKW- und N1-Klasse nicht aktualisiert wurden, was aufgrund des in dieser Arbeit entwickelten Auswerteschemas für Nutzfahrzeuge zu Abweichungen im Bestand kommen kann.



Anmerkung: Nicht dem Transportsektor zugerechnet sind Emissionen aus mobilen Geräten und Maschinen (Traktoren, Baumaschinen) sowie der internationale Flugverkehr.

Abbildung 27: CO<sub>2</sub>-Emissionen des österreichischen Verkehrssektors in Mio. Tonnen. [58]

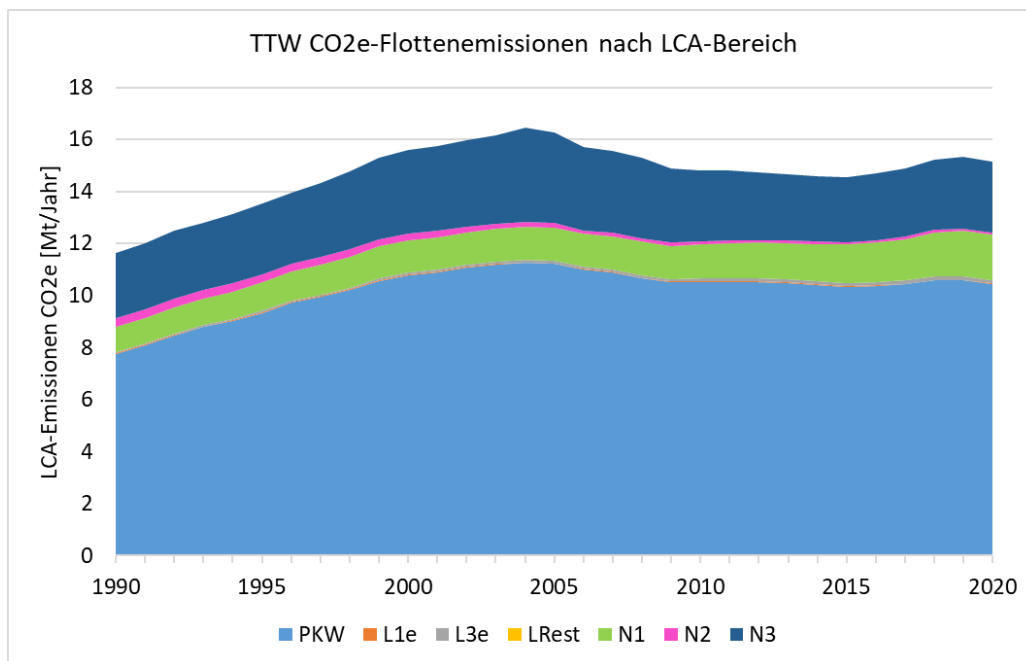


Abbildung 28: TTW-Emissionen in CO<sub>2</sub>e-Äquivalente nach Fahrzeugklassen.

Im Vergleich zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen ist bei den Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) eine deutliche Abnahme im zeitlichen Verlauf erkennbar, welcher maßgebend auf die Einführung der Schadstoffklassen (EURO-Klassen) zurückzuführen ist, siehe [Abbildung 29](#). Die Hauptverursacher sind wie auch schon bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen die Personenkraftwagen (PKW) sowie die leichten und schweren Nutzfahrzeuge (N1 & N3). Auffallend ist dabei, dass die NO<sub>x</sub>-Emissionen bei den PKW und N3-Fahrzeugklasse sich im Zeitverlauf deutlich reduzieren, jene der N1-Klasse aber konstant bleibt. Dies ist durch die starke Bestandszunahme (mehr als Verdoppelung zwischen 1990 und 2020) der N1-Klasse begründbar, sodass trotz der über die Zeit abnehmenden Emissionen pro Fahrzeug die Gesamtemissionen der Fahrzeugklasse konstant bleiben.

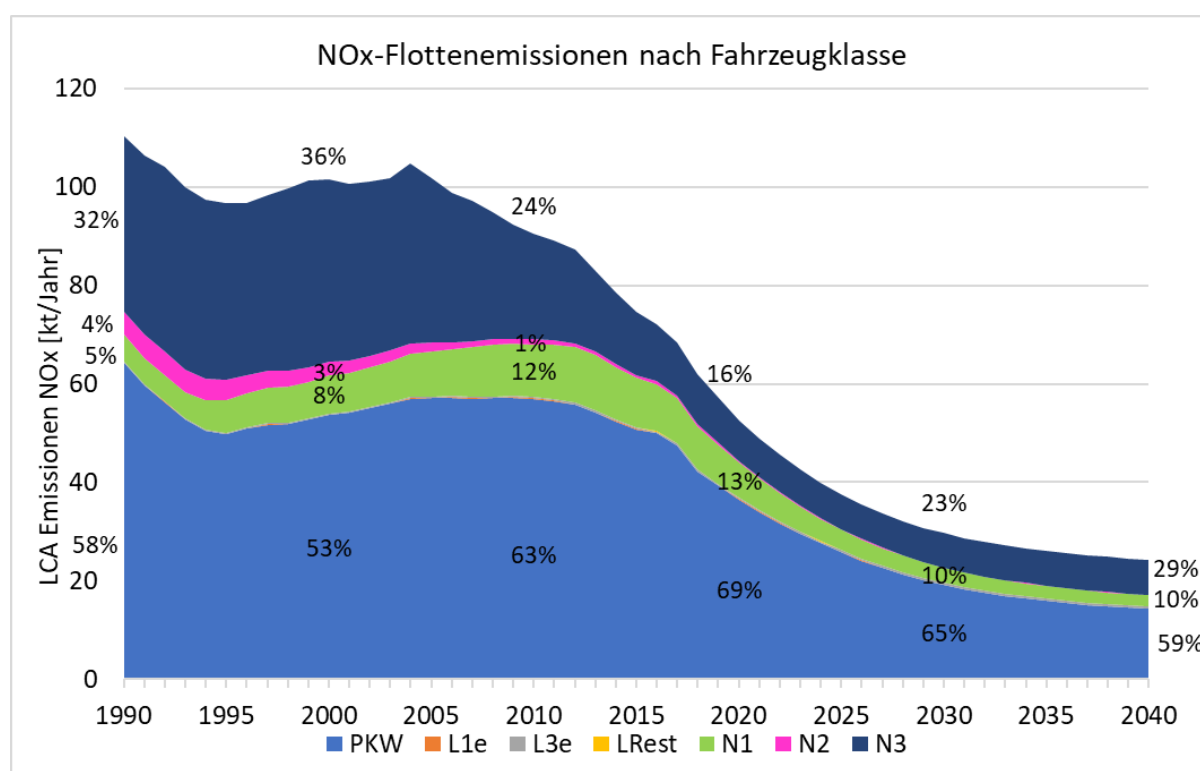


Abbildung 29: NO<sub>x</sub>-Flottenemissionen nach Fahrzeugklasse.

Den deutlich größten Anteil der Stickoxide verursachen die Dieselfahrzeuge siehe [Abbildung 30](#). Dieser hohe Anteil der Dieselfahrzeuge sinkt aber mit der Zeit von zwischenzeitlich 90 % auf knappe 50 % im Jahr 2040, was eine sehr starke Reduktion entspricht, da sich die Gesamtemissionen ebenfalls deutlich reduzieren. Die Stickoxide der BEV-Fahrzeuge sind wiederum zu einem großen Anteil auf die Herstellungsemissionen zurückzuführen, welche wie auch schon bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen mit der Zeit zunehmen, siehe [Abbildung 31](#). Den größten Anteil weist hier der TTW-Bereich auf.

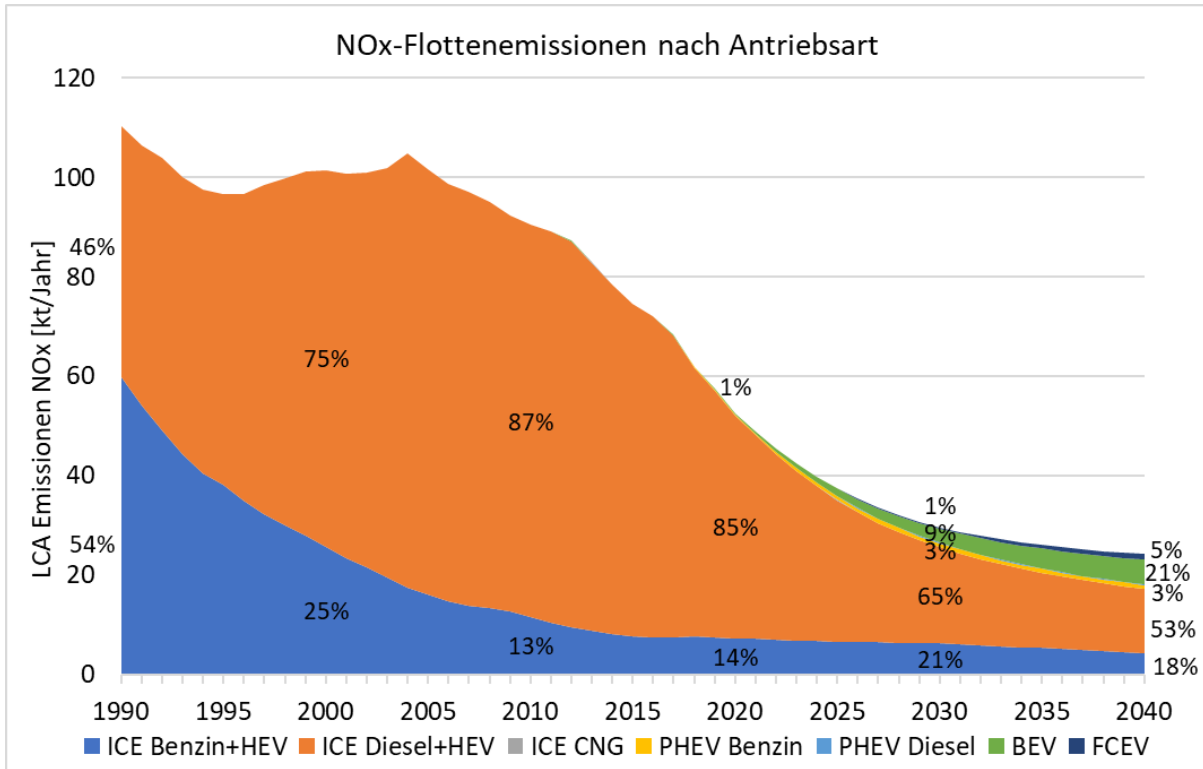


Abbildung 30: NO<sub>x</sub>-Flottenemissionen nach Antriebsart.

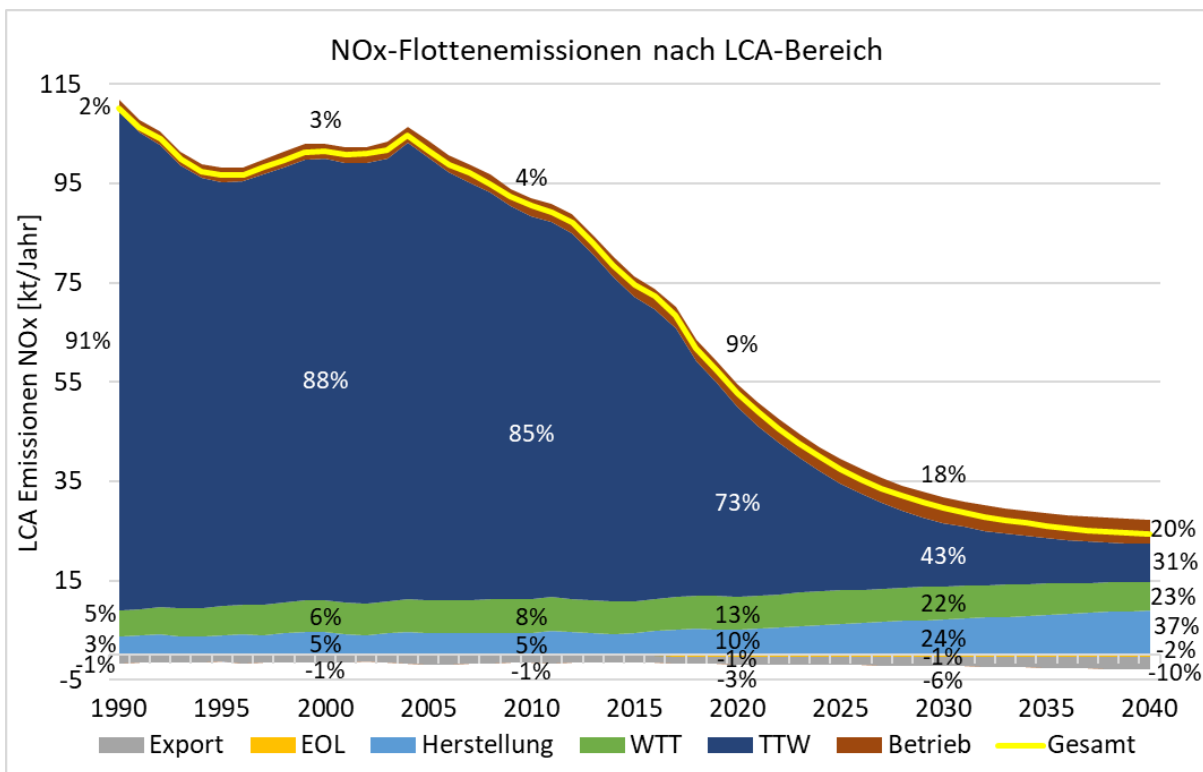


Abbildung 31: NO<sub>x</sub>-Flottenemissionen nach LCA-Bereich.

Daraus lässt sich schließen, dass der größte Teil der NO<sub>x</sub>-Emissionen von den Dieselfahrzeugen durch die Verbrennung des Kraftstoffes bei den PKW, N1 und N3-Fahrzeugen verursacht wird.



Das Programm bietet auch die Möglichkeit, den Energieverbrauch zu betrachten. Eine derartige Auswertung für die österreichischen Fahrzeugflotte unterteilt nach den in diesem Programm hinterlegten Antriebsarten ist in Abbildung 32 ersichtlich.

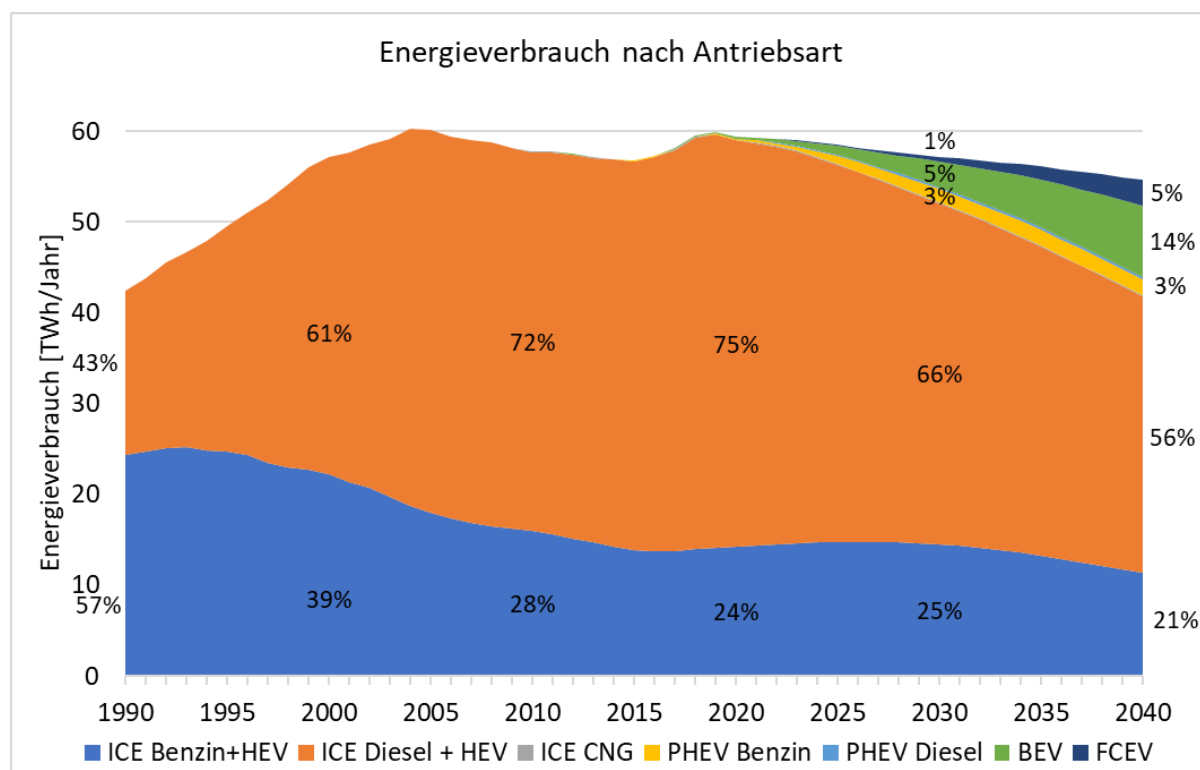


Abbildung 32: Energieverbrauch der österreichischen Flotte unterteilt nach Antriebsart.

Der Verlauf ist ähnlich zu den CO<sub>2e</sub>-Emissionen, was auch erwartet wurde, da die Emissionsberechnung auf der des Energieverbrauches beruht. Die Corona-Krise ist in dieser Arbeit wie bereits erwähnt noch nicht berücksichtigt. Für die Jahre ab 2020 ist zu erkennen, dass der Energieverbrauch leicht abnimmt und die alternativen Antriebsarten an Anteilen gewinnen. Diese Reduktion resultiert hauptsächlich aus dem niedrigeren Energieverbrauch der BEV-Fahrzeuge. Zukünftig bleiben jedoch Benzin und Diesel die dominierenden Energiequellen des Straßenverkehrs in Österreich.

Um zukünftig die Emissionen im Hinblick auf die Klimaziele ausreichend senken zu können, reicht ein hoher Anteil an BEV-Neufahrzeugen alleine nicht aus, sondern es werden auch Maßnahmen für die Bestandsflotte notwendig sein. Als Beispiel wären hier E-Fuels zu erwähnen. Diese verursachen, wenn der Strom zur Herstellung aus erneuerbaren Energiequellen gewonnen wurde, kaum zusätzliche Emissionen und können von den Verbrennungsfahrzeugen der gesamten Bestandsflotte verwendet werden.

## 8.2 PKW

Die Flottenemissionsprognose für Personenkraftwagen wurde in dieser Arbeit nicht behandelt, wird hier aber zu Vervollständigung angeführt, siehe Abbildung 33. Die Daten wurden unverändert von der ursprünglichen Arbeit übernommen, allerdings neu aufbereitet, sodass eine bessere Vergleichbarkeit gegeben ist.

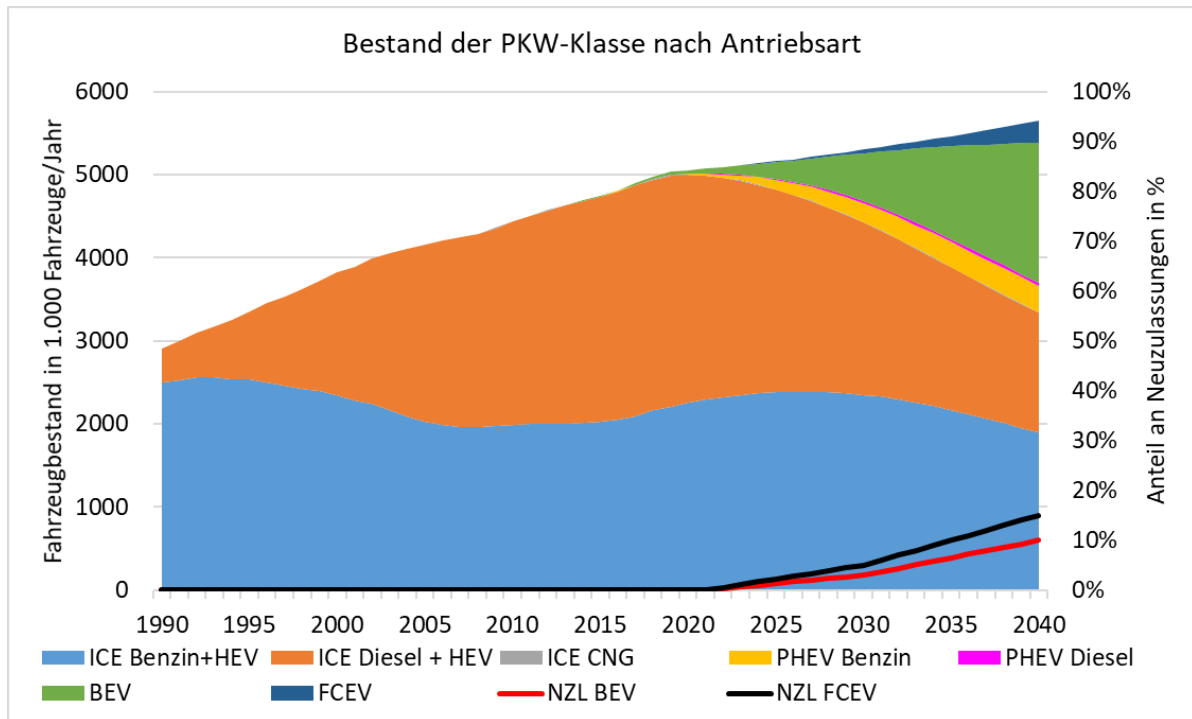


Abbildung 33: Bestand der PKW-Klasse nach Antriebsart.

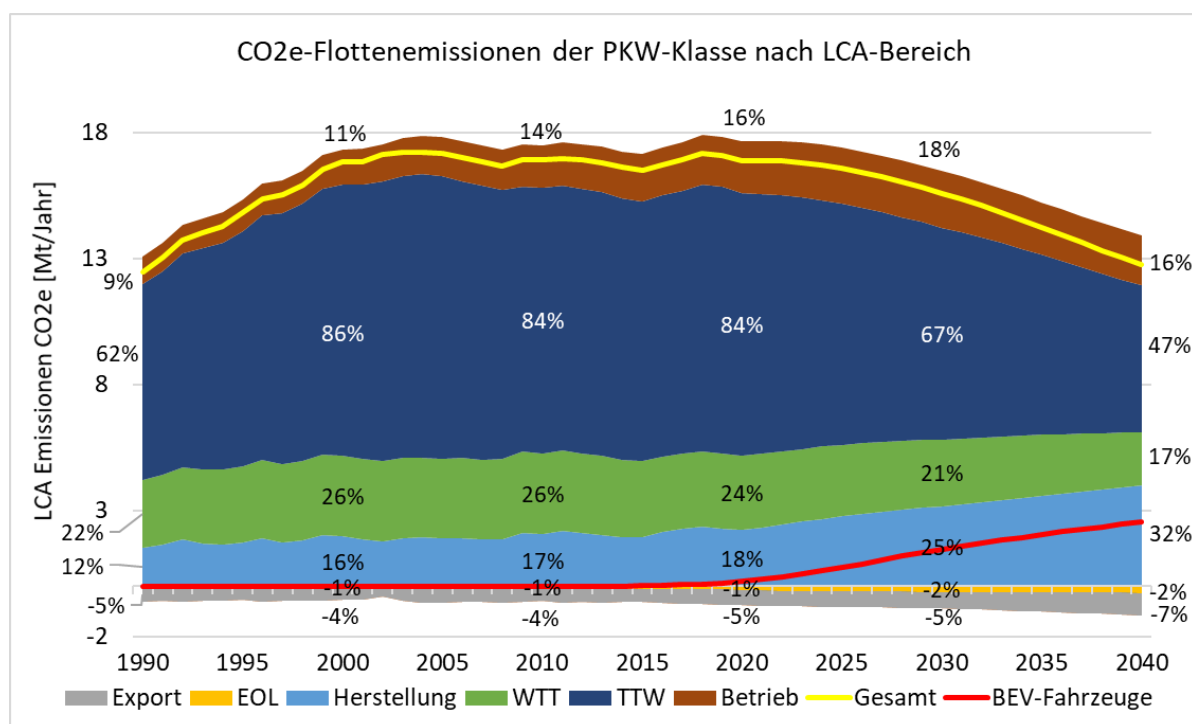


Abbildung 34: CO<sub>2</sub>e-Flottenemissionen der PKW-Klasse nach LCA-Bereich.

### 8.3 L1e-Klasse

In der Detailbetrachtung der L1e-Klasse wird zunächst zur groben Einordnung der Ergebnisse die Bestandsentwicklung nach Antriebsart sowie der Anteil an BEV-Fahrzeugen bei den Neuzulassungen in [Abbildung 35](#) dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Bestandszahlen geringfügig abnehmen und bereits sehr früh ein bedeutender BEV-Anteil im Bestand erreicht wird, was auf die einfache Elektrifizierbarkeit der Fahrzeuge zurückzuführen ist. Dementsprechend hoch ist auch der Anteil an BEV-Fahrzeugen bei den Neuzulassungen.

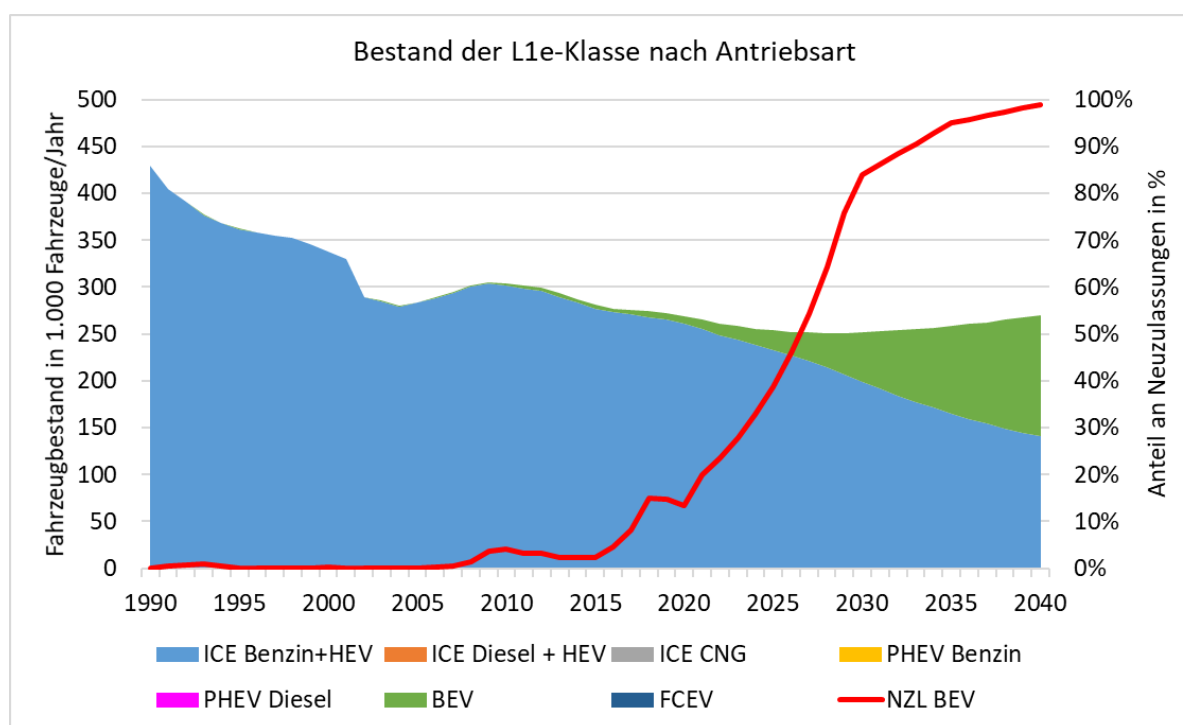


Abbildung 35: Bestand der L1e-Klasse nach Antriebsart.

Hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Emissionen ist diese Klasse aufgrund der geringen Emissionen in der Gesamtbetrachtung für Österreich von untergeordneter Rolle. Die höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen sind im Jahr 1990 ausgewiesen und liegen unter 0,2 Mt/Jahr und reduzieren sich bis 2050 auf unter 0,03 Mt/Jahr, siehe [Abbildung 36](#). Diese Reduktion kommt größtenteils durch die starke Abnahme der TTW-Emissionen durch Effizienzsteigerungen als auch durch den hohen Anteil an BEV-Fahrzeugen zustande. Die Emissionsanteil des Betriebes, welcher Verschleißteile berücksichtigt, ist in dieser Klasse hoch und steigt bis 2040 auf 65 % an. Grund dafür ist, dass gewisse Ersatzteile wie Reifen aufgrund der geringen Fahrleistung nicht aus Verschleißgründen, sondern durch auftretende Alterung ersetzt werden. Die Herstellungsemissionen nehmen in dieser Klasse trotz des hohen BEV-Anteils nicht zu, was durch die geringe Batteriekapazität begründbar ist, welche der maßgebende Treiber bei den Herstellungsemissionen ist.

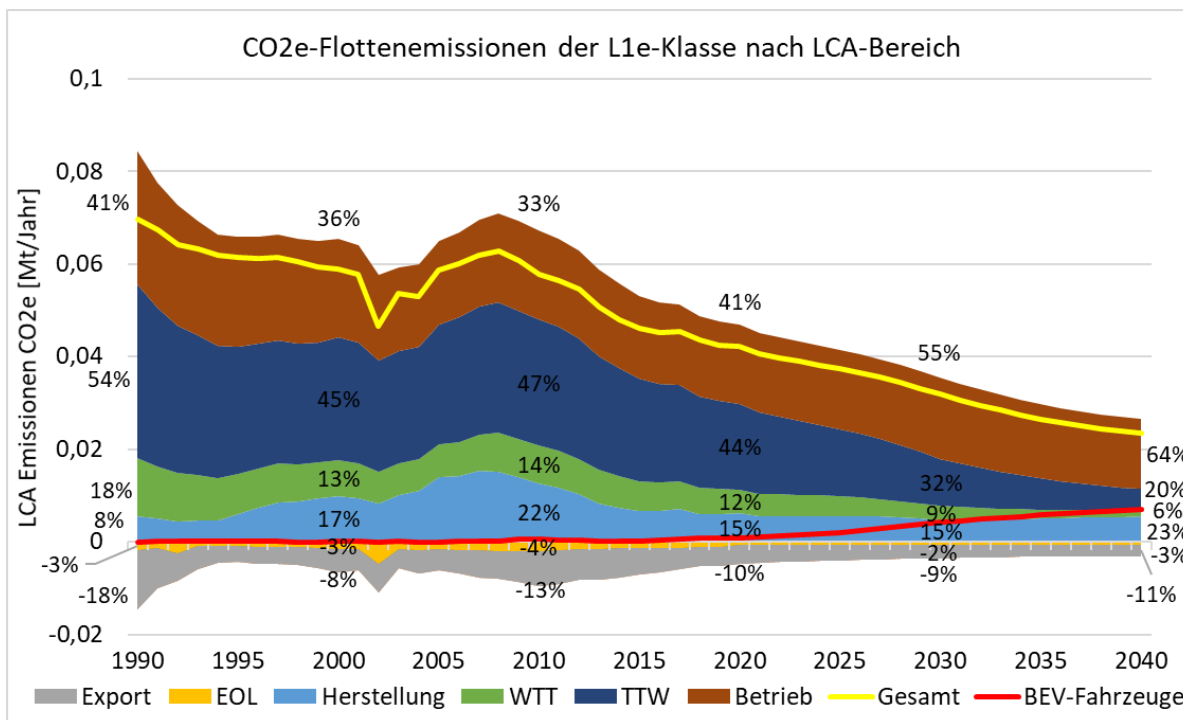


Abbildung 36: CO<sub>2</sub>e-Flottenemissionen der L1e-Klasse nach LCA-Bereich.

### 8.4 L3e-Klasse

Die Bestandsentwicklung der L3e-Klasse ist in Abbildung 37 dargestellt.

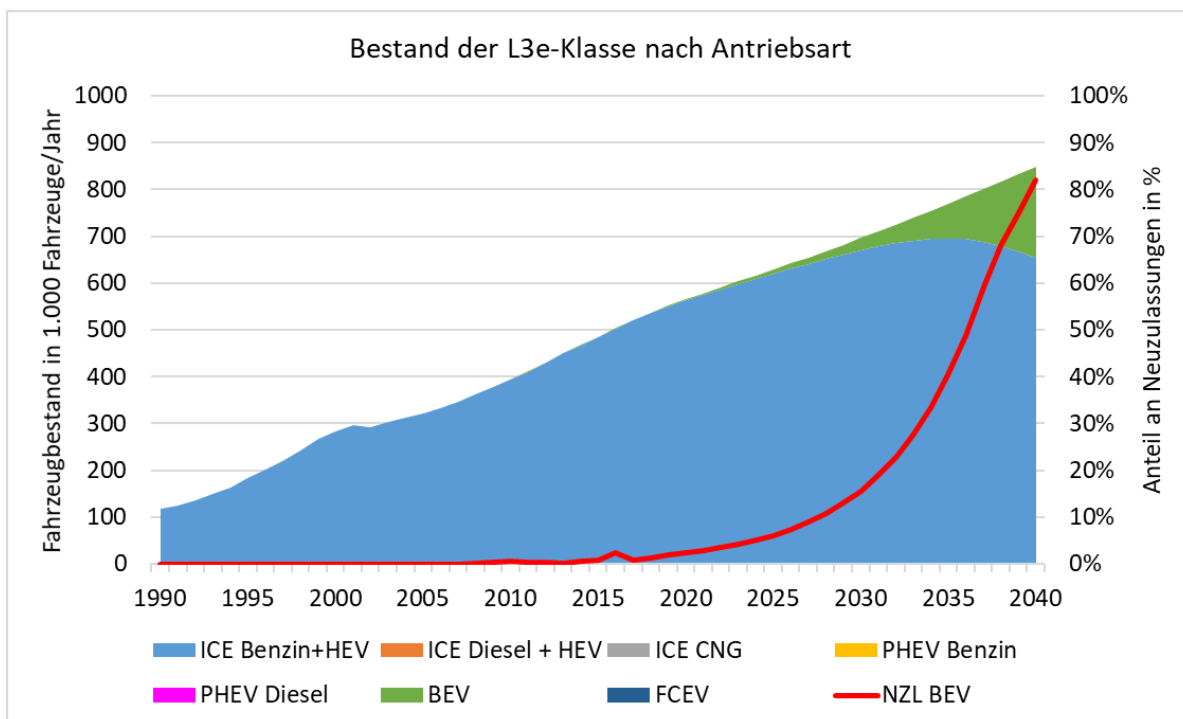


Abbildung 37: Bestand der L3e-Klasse nach Antriebsart.

Die Bestände nehmen über die Jahre deutlich zu und es ist auch in den Wirtschaftskrisen kaum ein Einbruch erkennbar. Der Anteil der BEV-Fahrzeuge ist in dieser Klasse im Vergleich zur L1e-Klasse deutlich niedriger, da derzeit noch sehr

wenige Modelle am Markt verfügbar sind und diese von den Kunden nur bedingt gekauft werden, da diese Fahrzeuge oft als Freizeitvergnügen gesehen werden und hier der Spaßfaktor bei Verbrennungsmotorrädern derzeit noch überwiegt.

Hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Emissionen weisen die Motorräder im Vergleich zur L1e-Klasse deutlich höhere Werte auf, haben aber in der Gesamtbetrachtung mit maximal knapp über 0,4 Mt/Jahr ebenfalls nur einen sehr geringen Anteil, siehe [Abbildung 38](#). In der L3e-Klasse nehmen die Emissionen für den Betrieb aufgrund der stetig steigenden Bestände zu, die TTW-bleiben aufgrund von Weiterentwicklungen hinsichtlich Umweltfreundlichkeit und reduzierten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes trotzdem annähernd konstant. Auffallend ist, dass die Herstellungsemissionen zwischen 2030 und 2040 verstärkt zunehmen, was aufgrund der steigenden Neuzulassungen von BEV-Motorrädern und deren größeren Batterie im Vergleich zu den Motorfahrrädern zurückzuführen ist.

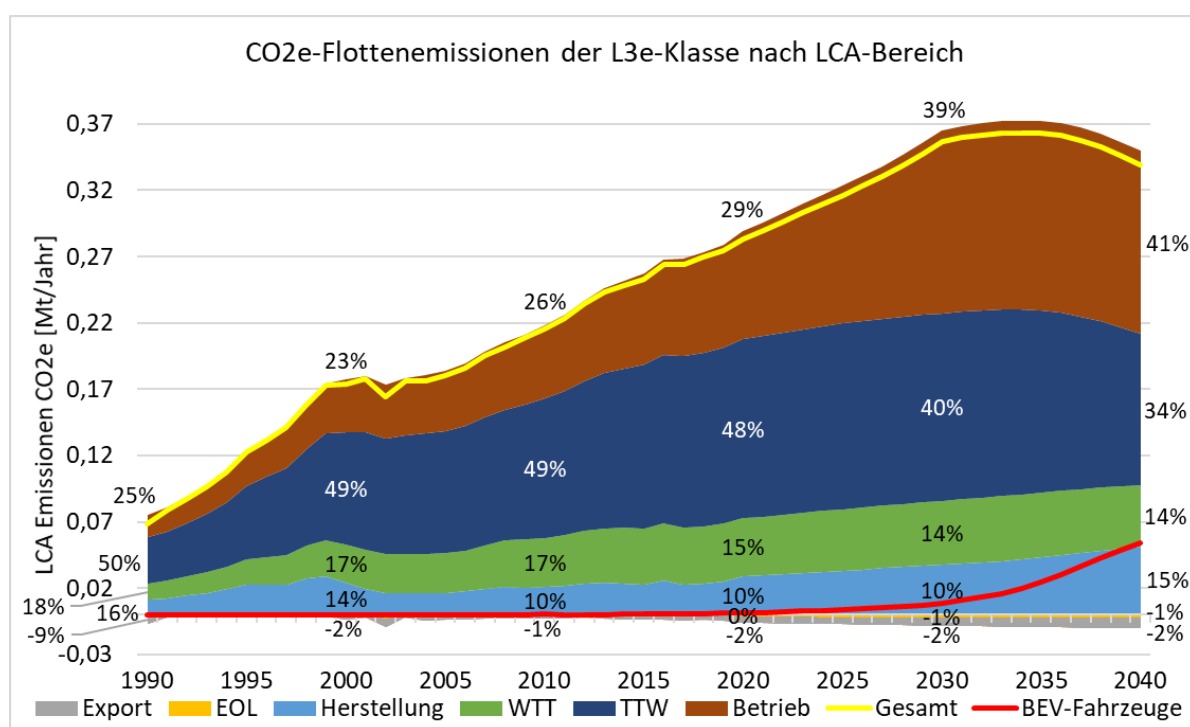


Abbildung 38: CO<sub>2</sub>e-Flottenemissionen der L3e-Klasse nach LCA-Bereich.

## 8.5 LRest-Klasse

Die Einzelbetrachtung der LRest-Klasse ist erst ab dem Jahr 2000 sinnvoll, da vorher nur vereinzelte Bestandszahlen verfügbar sind. Die Entwicklung der Bestände sowie des BEV-Anteils bei den Neuzulassungen ist in [Abbildung 39](#) ersichtlich. Auffällig ist der starke Zuwachs der Klasse vor allem zwischen den Jahren 1990 bis 2017.

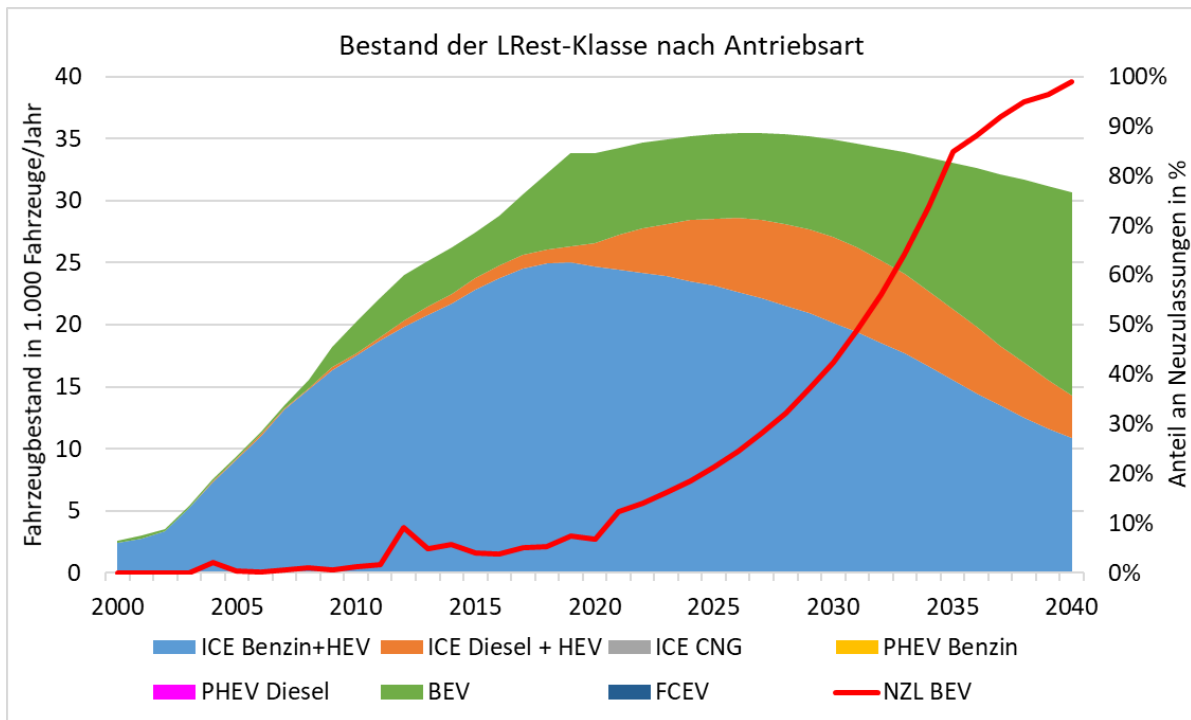


Abbildung 39: Bestand der LRest-Klasse nach Antriebsart.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen dieser Klasse weisen deutliche Schwankungen auf, was mit der schlechten Datenlage bei den Emissionsdaten begründbar ist, da diese Fahrzeuge kaum Betrachtung finden.

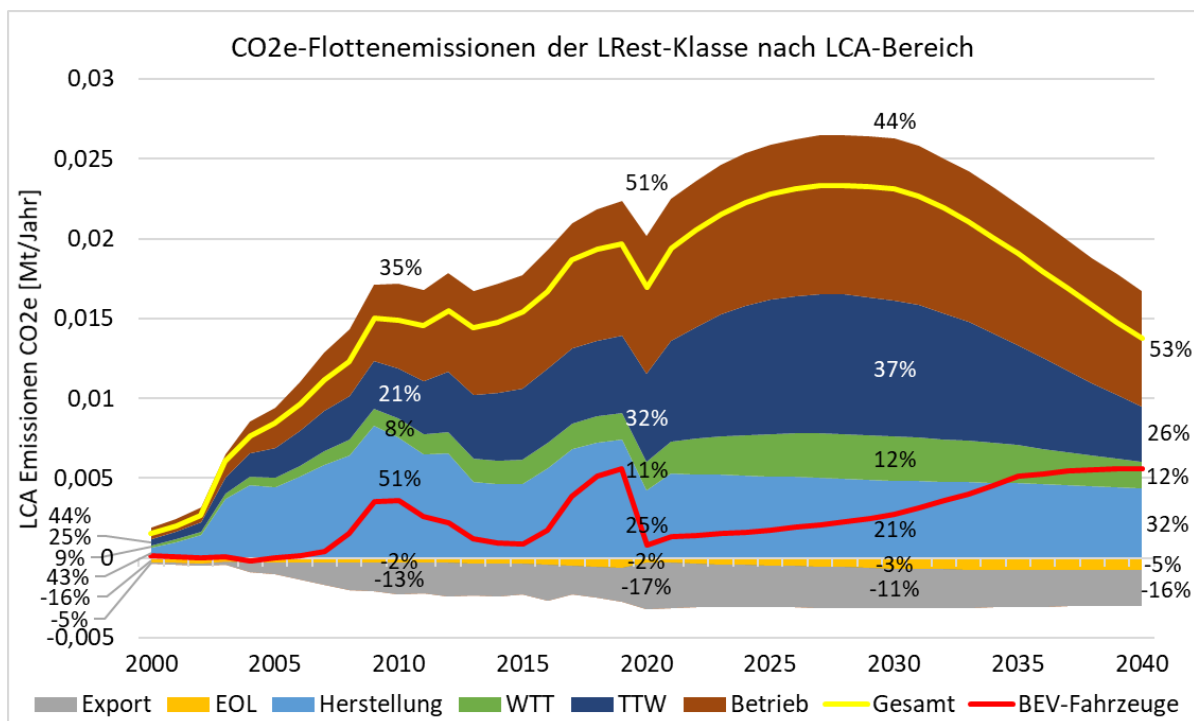


Abbildung 40: CO<sub>2</sub>e-Flottenemissionen der LRest-Klasse nach LCA-Bereich.

Wie in Abbildung 40 ersichtlich, bewegen sich die Emissionen aber auf sehr geringem Niveau von 0,03 Mt/Jahr und sind somit niedriger als jene der Motorfahräder (L1e-

Klasse). Daher kann angenommen werden, dass die schlechte Datenlage aufgrund der niedrigen Gesamtemissionen keinen Einfluss auf die Gesamtemissionsbetrachtung des österreichischen Verkehrs hat.

## 8.6 N1-Klasse

Wie schon bei den Personenkraftwagen wird die Klasse der leichten Nutzfahrzeuge zur Vervollständigung der Ergebnisse angeführt, siehe [Abbildung 41](#) und [Abbildung 42](#). Dabei wurden die Daten unverändert von der ursprünglichen Arbeit übernommen, jedoch neu aufbereitete, um eine bessere Vergleichbarkeit mit den anderen Fahrzeugklassen zu bieten.

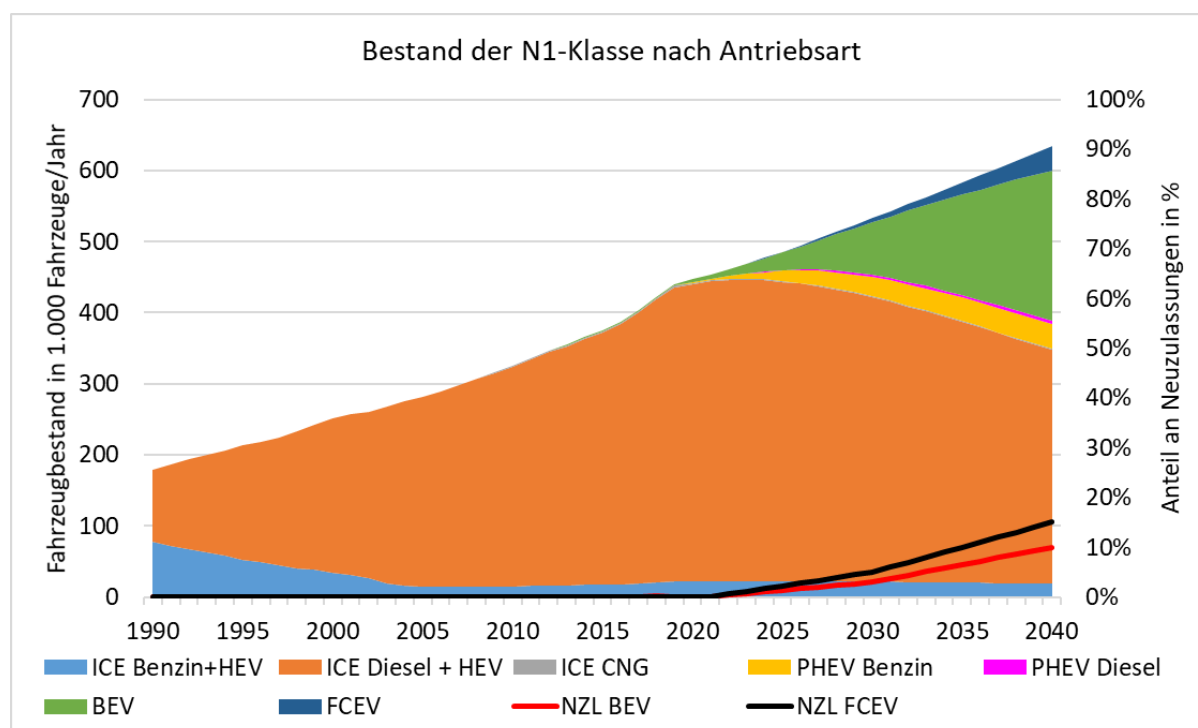


Abbildung 41: Bestand der N1-Klasse nach Antriebsart. [1]



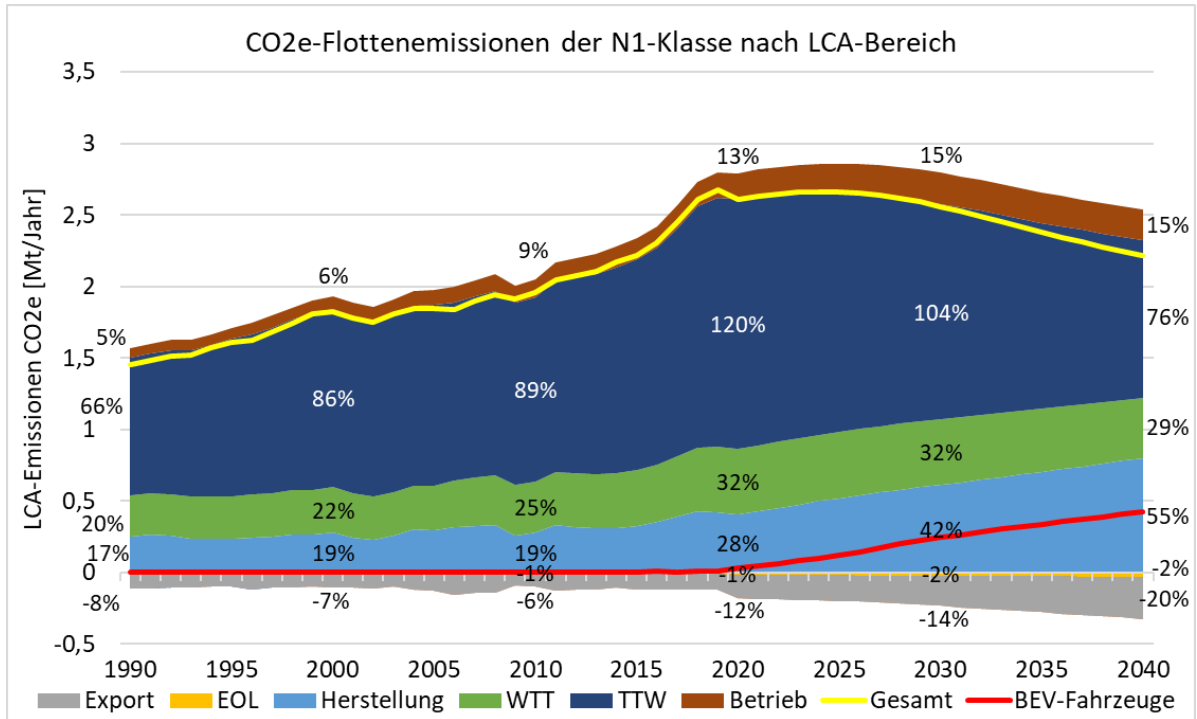


Abbildung 42: CO<sub>2</sub>e-Flottenemissionen der N1-Klasse nach LCA-Bereich.

## 8.7 N2-Klasse

Die Bestandszahlen der N2-Klasse nehmen kontinuierlich von anfänglich knapp über 25.000 Fahrzeugen im Jahr 1990 bis auf 5.000 Fahrzeuge im Jahr 2040 ab, siehe [Abbildung 43](#).

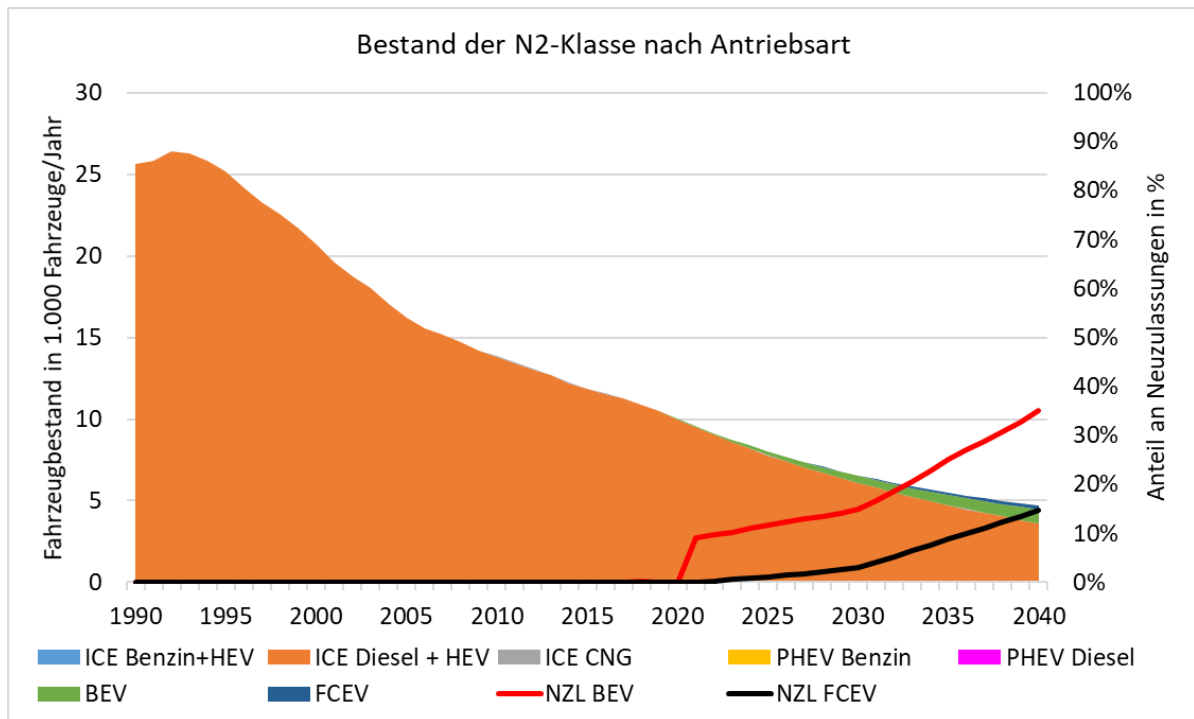


Abbildung 43: Bestand der N2-Klasse nach Antriebsart.

Der Sprung in den BEV-Neuzulassungen im Jahr 2021 ist auf einen starken Anstieg der elektrischen Fahrzeuge bei gleichzeitig reduzierte Neuzulassungszahl bei den Dieselfahrzeugen zurückzuführen.

Hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Emissionen ist ein deutlicher Rückgang im zeitlichen Verlauf zu erkennen, welcher hauptsächlich auf den starken Bestandsrückgang der Flotte zurückzuführen ist, siehe Abbildung 44. Dieser führt auch zu den hohen Emissionsgutschriften in den LCA-Bereichen EOL und Export. Hinsichtlich der Gesamtbetrachtung des österreichischen Verkehrs trägt die N2-Klasse mit maximal 0,55 Mt/Jahr CO<sub>2</sub>-Emissionen nur einen geringen Anteil bei, welcher sich bis 2040 sogar bis auf unter 0,1 Mt/Jahr reduzieren wird. Der Hauptverursacher der Emissionen wird aber auch zukünftig mit über 50 % der LCA-Bereich TTW sein.

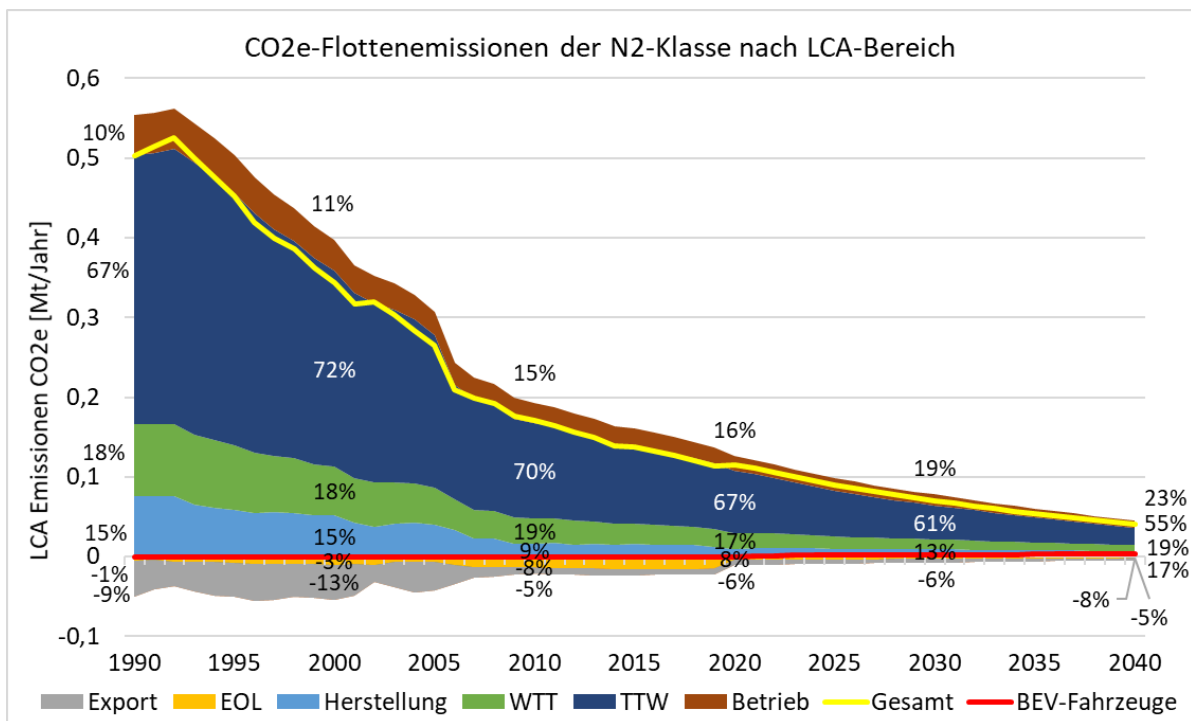


Abbildung 44: CO<sub>2</sub>e-Flottenemissionen der N2-Klasse nach LCA-Bereich.

## 8.8 N3-Klasse

Im Gegensatz zur N2-Klasse steigt der Bestand der N3-Fahrzeuge kontinuierlich an, siehe [Abbildung 45](#).

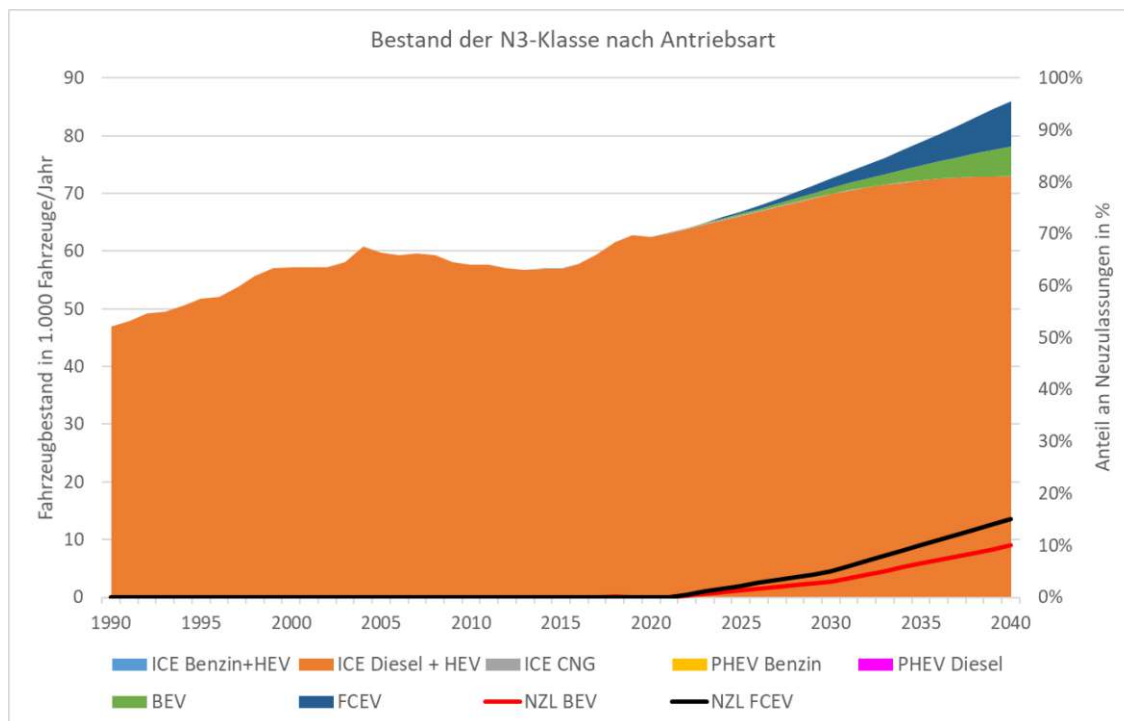


Abbildung 45: Bestand der N3-Klasse nach Antriebsart.

Der Anteil der alternativen Antriebssysteme nimmt erst ab 2025 merkbar zu, wodurch die Dieselfahrzeuge im Bestand auch zukünftig mit Abstand die größte Gruppe sein werden.

Die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen nach LCA-Bereich ist in [Abbildung 46](#) ersichtlich. Die Emissionen steigen ab den 1990er-Jahren bis auf 5,5 Mt/Jahr an, was mit dem ansteigenden Fahrzeugbestand begründet werden kann, da in dieser Zeit Maßnahmen zur Emissionsreduktion noch nicht im Fokus standen. Ab 2005 gehen die CO<sub>2</sub>-Emissionen zurück. In dieser Zeit hat sich der Fahrzeugbestand leicht reduziert, Maßnahmen zur Emissionsreduktion sind in den Fokus gerückt und 2008 kam zusätzlich die weltweite Finanzkrise hinzu, welche besonders die Fahrzeugklasse der schweren Nutzfahrzeuge getroffen hat, da diese fast ausschließlich für den Gütertransport verwendet werden. Ab 2015 kommt es wieder zu einem Anstieg der Emissionen, welcher geringer als der Bestandsanstieg ausfällt, da die Fahrzeuge zunehmend umweltfreundlicher werden und weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen ausstoßen. Dominierend sind auch hier die Emissionen des LCA-Bereiches TTW mit einem Anteil von über 60 %.

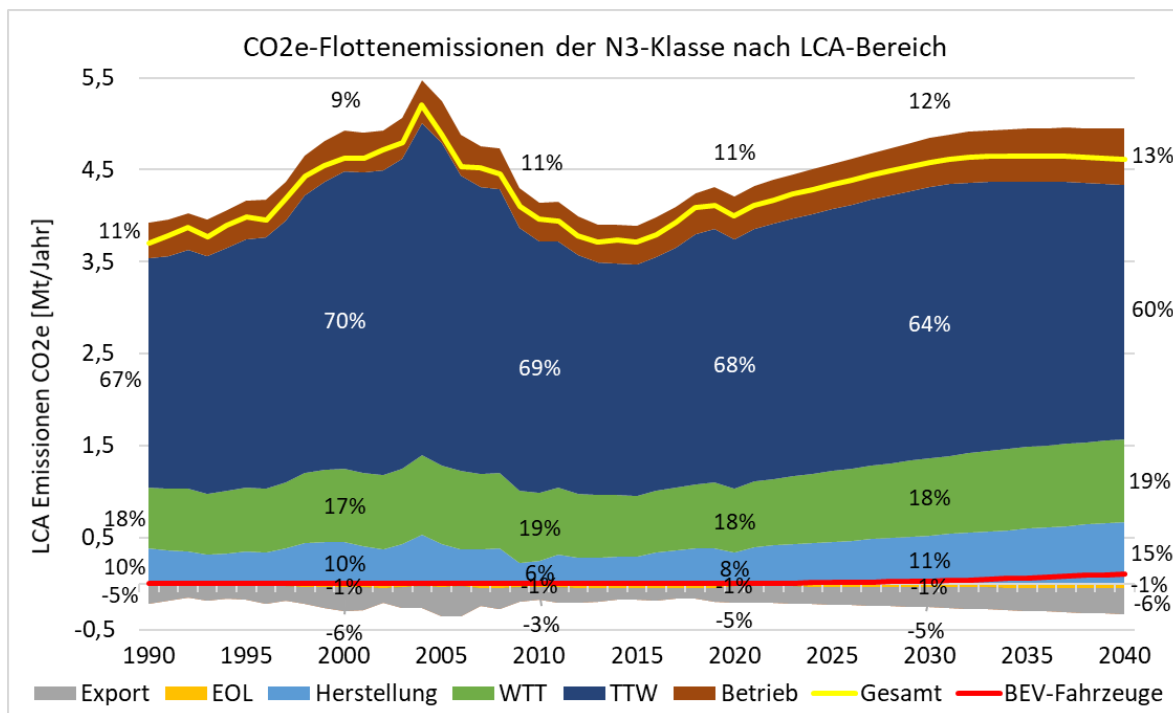


Abbildung 46: CO<sub>2</sub>e-Flottenemissionen der N3-Klasse nach LCA-Bereich.

Da die NO<sub>x</sub>-Emissionen der N3-Klasse einen großen Anteil am österreichischen Verkehr haben (siehe Abbildung 29), sind diese in Abbildung 47 in der Einzelbetrachtung dargestellt. Es ist gut ersichtlich, dass die Einführung der Schadstoffklassen zu einer starken Emissionsabnahme trotz steigenden Bestandes geführt hat. Hauptverantwortlich für die Stickoxide ist der LCA-Bereich TTW, also jene Emissionen, die während der Fahrt durch den Verbrennungsprozess entstehen.

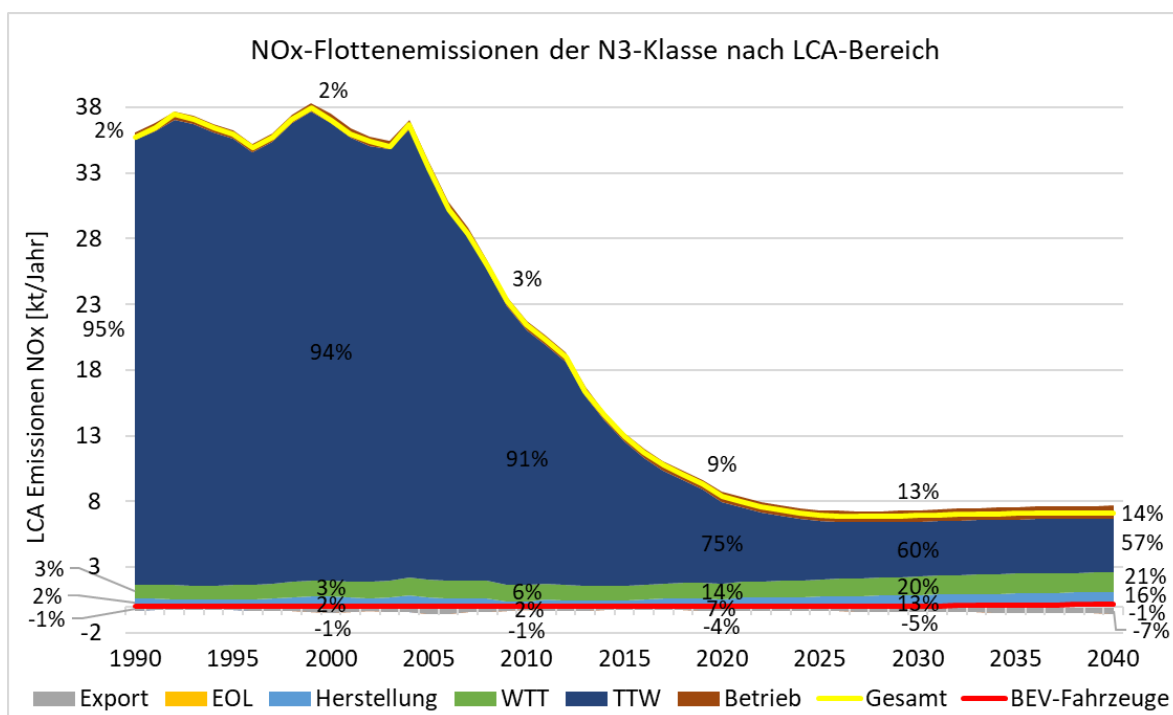


Abbildung 47: NO<sub>x</sub>-Flottenemissionen der N3-Klasse nach LCA-Bereich.

## 9 Zusammenfassung und Ausblick

Die Aufgabe dieser Diplomarbeit umfasst die Erweiterung der Flottenemissionsprognose um die Fahrzeugklassen Motorräder (L-Klasse) sowie die mittleren und schweren Nutzfahrzeuge (N2- & N3-Klasse).

Für die Umsetzung dieser Erweiterung wurde bei der L-Klasse die Methode der ursprünglichen Arbeit übernommen. Dabei wird nur der österreichische Fahrzeugbestand berücksichtigt. Im Gegensatz dazu erforderten die mittleren und schweren Nutzfahrzeuge eine Abänderung der Methode, um den in Österreich hohen Anteil an Transitverkehr berücksichtigen zu können.

Basis der Arbeit stellen in beiden Methoden die österreichische Flottenstatistik dar. Die Herausforderung bestand insbesondere für die Jahre vor 2006 darin, die spärlich verfügbaren Daten derart aufzubereiten, dass diese für die Flottenemissionsprognose verwendbar sind.

Hinsichtlich der Referenzfahrzeuge wurde versucht, die Fahrzeugspezifikationen so zu wählen, dass die Fahrzeuge die jeweilige Fahrzeugklasse bestmöglich repräsentieren. Für diesen Zweck wurden eine Vielzahl an Fahrzeugen recherchiert und ausgewertet, um eine möglichst gute Datenlage zu haben.

Die Fahrleistungen, welche insbesondere für die Emissionen während der Fahrzeugnutzung von Bedeutung sind, wurden von der §57a-Begutachtung bezogen und für die einzelnen Fahrzeugklassen und verfügbaren Antriebsarten ausgewertet.

Die Emissionsdaten wurden von der ursprünglichen Emissionsprognose übernommen. Dies führt zu einer nicht näher bekannten Ungenauigkeit für die erweiterten Klassen. Daher dienen die in dieser Arbeit errechneten Ergebnisse lediglich als grober Richtwert und dürfen nicht als exakte Prognose gesehen werden.

Im Anschluss an die Datengewinnung wurden die Daten in das bereits existierende Matlab-Programm eingespielt, welches um die neuen Fahrzeugklassen erweitert bzw. um Änderungen in der Berechnung angepasst wurde.

Aus den in dieser Arbeit berechneten Ergebnissen ist ersichtlich, dass der Hauptverursacher der CO<sub>2</sub>-Äquivalenten-Emissionen die Personenkraftwagen sind, gefolgt von den schweren und leichten Nutzfahrzeugen. Dabei entstehen die meisten Emissionen durch die Verbrennung von fossilen Kraftstoffen. Trotz zunehmendem Anteil an Fahrzeugen mit alternativen Antriebssystemen reduzieren sich die Gesamtemissionen des österreichischen Verkehrs nur geringfügig. Begründbar ist dies einerseits mit einem geringfügig steigendem Flottenbestand und effizienteren Neufahrzeugen. Batterieelektrische Fahrzeuge führen zwar zu einer Reduktion der

TTW-Emissionen, weisen dafür aber deutlich höhere Herstellungsemissionen auf. Zudem sei zu erwähnen, dass batterieelektrische Fahrzeuge und Brennstoffzellenfahrzeuge keine TTW-Emissionen aufweisen, die Energiebereitstellung aber dennoch Emissionen verursacht. Daher ist bei diesen Fahrzeugen eine Verschiebung des Zeitpunktes der Emissionsfreisetzung weg vom Fahrzeugbetrieb in Richtung Fahrzeugherstellung zu beobachten, sodass sich die Gesamtemissionen nur geringfügig reduzieren. Die Ergebnisse zeigen auch, dass die gesamte L-Klasse sowie die mittleren Nutzfahrzeuge kaum Auswirkungen auf die Gesamtemissionen des österreichischen Verkehrs haben. Somit würden gesetzliche Regelungen, ähnlich der von Personenkraftwagen (z.B.: Flottenemissionsgrenzwerte), kaum Reduktionseffekte bringen.

Um die Gesamtemissionen langfristig zu senken, sind Maßnahmen für die Fahrzeugklassen Personenkraftwagen, leicht und schwere Nutzfahrzeuge erforderlich. Der effizienteste Weg wäre dabei nicht die Verbrennungsfahrzeuge durch Fahrzeuge mit alternativen Antriebssystemen zu ersetzen, sondern der Bevölkerung und den Unternehmen Anreize zu bieten, die Anzahl an Fahrzeugen als auch die Fahrleistung zu reduzieren, sowie der Einsatz von Kraftstoffen, welche weniger zusätzliche Emissionen in die Atmosphäre freisetzen, z.B.: E-Fuels.

In dieser Arbeit konnte auch gezeigt werden, dass die Einführung der Schadstoffklassen zu einem deutlichen Rückgang des Stickoxid-Ausstoßes geführt hat. Hauptverursacher sind dabei die Dieselfahrzeuge der Personenkraftwagen, gefolgt von den schweren und leichten Nutzfahrzeugen durch die Kraftstoffverbrennung. Trotz des steigenden Fahrzeugbestandes und der höheren Fahrleistung, hat sich der NO<sub>x</sub>-Ausstoß zwischen 1990 und 2020 mehr als halbiert.

Im Anschluss an diese Diplomarbeit ist eine weitere Verbesserung der Flottenemissionsprognose geplant. Fokus wird dabei auf einer Steigerung der Datengenauigkeit liegen, insbesondere der Emissionsdaten. Geplant ist auch eine Erweiterung um die noch fehlende Fahrzeugklasse der Omnibusse (M2- & M3-Klasse) sowie eventuell die Berücksichtigung der landwirtschaftlichen Fahrzeuge.

Ein weiterer wichtiger Punkt wird die Entwicklung verschiedener zukünftiger Szenarien sein, um die Auswirkung unterschiedlicher Maßnahmen besser abschätzen und vergleichen zu können. Zukünftig wird die Flottenemissionsprognose eine gute Möglichkeit bieten, Maßnahmen zu entwickeln, welche die Einhaltung der Klimaziele im österreichischen Verkehr erlauben. Dabei ist insbesondere die ganzheitliche Betrachtung der österreichischen Fahrzeugflotte sowie der Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus der Fahrzeuge einzigartig.

## 10 Literaturverzeichnis

- [1] Bruckmüller, T. et al: Lebenszyklusanalyse für Fahrzeugflotten – Kombination aus Ökobilanz und Emissionsprognose zur gesamthaften Umweltbewertung von bestehenden und neuen alternativen Antrieben und Kraftstoffen, Wien: 42. Internationales Wiener Motorensymposium 2021.
- [2] Statistisches Bundesamt: Website: [www.destatis.de](http://www.destatis.de), [Online] [https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/Umwelt-Energie/CO2\\_Strassenverkehr.html](https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/Umwelt-Energie/CO2_Strassenverkehr.html), 2022. Zugriff am 31.05.2022.
- [3] Verordnung (EU) 2019/631 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. April 2019 zur Festsetzung von CO<sub>2</sub>-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 443/2009 und (EU) Nr. 510/2011, ABI L 2019/631.
- [4] Verordnung (EG) Nr. 715/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2007 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) und über den Zugang zu Reparatur- und Wartungsinformationen für Fahrzeuge, ABI L 2007/715.
- [5] ÖAMTC: Expertenbericht Mobilität und Klimaschutz 2030, Juni 2018. Verfügbar: <https://www.oeamtc.at/%C3%96AMTC+Expertenbericht+Mobilit%C3%A4t+%26+Klimaschutz+2030+Web.pdf/25.789.593>, Zugriff am 31.05.2022.
- [6] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit Deutschland: Das System der CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte für PKW und leichte Nutzfahrzeuge, Mai 2020. Verfügbar: [https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Luft/zusammenfassung\\_co2\\_flottengrenzwerte.pdf](https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Luft/zusammenfassung_co2_flottengrenzwerte.pdf), Zugriff am 15.05.2022.
- [7] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM EN ISO 1404:2006, Umweltmanagement -Ökobilanz, Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2006.
- [8] Statistik Austria: Website: [www.statistik.at](http://www.statistik.at), [Online] [www.statistik.at](http://www.statistik.at), 2022. Zugriff am 15.05.2022.
- [9] Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie: Website: [www.oesterreich.gv.at](http://www.oesterreich.gv.at), [Online] [https://www.oesterreich.gv.at/themen/freizeit\\_und\\_strassenverkehr/kfz/Seite.061800.html](https://www.oesterreich.gv.at/themen/freizeit_und_strassenverkehr/kfz/Seite.061800.html), 2022. Zugriff am 17.05.2022.
- [10] Statistik Austria: Fahrzeugbestand nach dem Jahr der Erstzulassung nach Fahrzeugtype und Kraftstoffart, Wien, 2006-2019, Wien, 2021.



- [11] Statistik Austria: Kraftfahrzeug nach Marke, Erzeugungsland und Jahr der erstmaligen Zulassung.  
Enthalten in Statistik der Kraftfahrzeuge Bestand 1950 bis 2005, Wien, 2022.
- [12] Statistik Austria: Kraftfahrzeuge nach Bundesländern und Antriebsart.  
Enthalten in Statistik der Kraftfahrzeuge Bestand 1950 bis 2005, Wien, 2022.
- [13] Statistik Austria: Lastkraftwagen Kl. N nach Bundesländern und Nutzlastklassen.  
Enthalten in Statistik der Kraftfahrzeuge Bestand 1950 bis 2005, Wien, 2022.
- [14] Statistik Austria: Lastkraftwagen Kl. N nach Bundesländern und Gesamtgewichtsklassen.  
Enthalten in Statistik der Kraftfahrzeuge Bestand 1950 bis 2005, Wien, 2022.
- [15] Statistik Austria: Bestand Lastkraftwagen und Sattelzugfahrzeuge nach Kilowattklassen und Gesamtgewichtsklassen 2006 bis 2021, Wien, 2022.
- [16] Statistik Austria: Fahrzeug-Neuzulassungen ab Jänner 2000, [Online].  
Available: <https://statcube.at/statcube/opendatabase?id=defkzfz0759>.  
Zugriff am 23.06.2022.
- [17] Statistik Austria: Kraftfahrzeuge nach Marke und Type.  
Enthalten in Statistik der Kraftfahrzeuge Neuzulassungen 1950 bis 2005., Wien, 2022.
- [18] Statistik Austria: Neuzulassungen nach Kfz-Arten und nach Kraftstoffarten 2006 bis 2021, Wien, 2022.
- [19] Statistik Austria: LKW Kl. N nach Nutzlastklassen in Kilogramm.  
Enthalten in Statistik der Kraftfahrzeuge Neuzulassungen 1950 bis 2005., Wien, 2022.
- [20] Statistik Austria: LKW Kl. N nach Gesamtgewichtsklassen in Kilogramm.  
Enthalten in Statistik der Kraftfahrzeuge Neuzulassungen 1950 bis 2005., Wien, 2022.
- [21] Statistik Austria: Straßenverkehrsunfälle mit Personenschaden 2020 (Jahresergebnisse). Langzeitreihe: Unfälle, Verletzte und Getötete mit Indes (Basis 1961 = 100), [Online].  
Verfügbar: [https://www.statistik.at/fileadmin/publications/Strassenverkehrsunfaelle\\_2020.pdf](https://www.statistik.at/fileadmin/publications/Strassenverkehrsunfaelle_2020.pdf). Zugriff am 23.06.2022.

- [22] Verband österreichischer Entsorgungsbetriebe: Website: [www.voeb.at](http://www.voeb.at), [Online]  
<https://www.voeb.at/service/voeb-blog/detail/show-article/weltrecyclingtag-am-18-maerz/>, 2019. Zugriff am 01.06.2022.
- [23] Louis: Website: [www.louis.de](http://www.louis.de), [Online]  
<https://www.louis.de/magazin/rund-ums-bike/bike-datenbank/generic-xor-50/xor50/2289>, 2022. Zugriff am 21.05.2022.
- [24] Askoll EVA S.p.A.: NGS 2 1.4 Specifications. Datenblatt, [https://www.askollelectric.com/download/en/askoll\\_ngs2\\_schedatecnica.pdf](https://www.askollelectric.com/download/en/askoll_ngs2_schedatecnica.pdf), 2022. Zugriff am 21.05.2022.
- [25] Industrie-Verband Motorrad Deutschland e.V.: Jahresbericht 2020. Jahresbericht, IVM-Jahresbericht-2020.pdf ([ivm-ev.de](http://ivm-ev.de)), 2020. Zugriff am 01.06.2022.
- [26] Louis: Website: [www.louis.de](http://www.louis.de), [Online]  
<https://www.louis.de/magazin/rund-ums-bike/bike-datenbank/honda-cx-650-c/rc11/0299>, 2022. Zugriff am 21.05.2022.
- [27] Zweirad Grisse: Website: <http://www.zweirad-grisse.de/>, [Online]  
[http://www.zweirad-grisse.de/pages-neumotorraeder-suzuki/suzuki-gsf\\_650+a\\_2005.html](http://www.zweirad-grisse.de/pages-neumotorraeder-suzuki/suzuki-gsf_650+a_2005.html), 2022. Zugriff am 21.05.2022.
- [28] Yamaha: R7 Technische Daten. Datenblatt, [https://cdn2.yamaha-motor.eu/prod/product-assets/2022/YZF700R7/Factsheets/2022-YZF700R7\\_de-AT.pdf](https://cdn2.yamaha-motor.eu/prod/product-assets/2022/YZF700R7/Factsheets/2022-YZF700R7_de-AT.pdf), 2022. Zugriff am 21.05.2022.
- [29] Zero Motorcycles: Website: [www.zeromotorcycles.com](http://www.zeromotorcycles.com), [Online]  
<https://www.zeromotorcycles.com/de-de/model/zero-sr>, 2022. Zugriff am 21.05.2022.
- [30] Piaggio: MP3 Technische Daten. Datenblatt, [https://wlassets.piaggio.com/wlassets/piaggio/de/tech\\_spec/2021/eu5/TD\\_PIAGGIO\\_2021\\_MP3-500SportAdvanced/original/TD\\_PIAGGIO\\_2021\\_MP3-500SportAdvanced.pdf?1620651663418](https://wlassets.piaggio.com/wlassets/piaggio/de/tech_spec/2021/eu5/TD_PIAGGIO_2021_MP3-500SportAdvanced/original/TD_PIAGGIO_2021_MP3-500SportAdvanced.pdf?1620651663418), 2021. Zugriff am 22.05.2022.
- [31] Aixam: Website: [www.aixam.at](http://www.aixam.at), [Online]  
<https://www.aixam.at/de/coupe/evo>, 2022. Zugriff am 22.05.2022.
- [32] Black Forest Powersports GmbH: Website: [www.blackforestquad.de](http://www.blackforestquad.de), [Online]  
[https://www.blackforestquad.de/quad\\_atv/yamaha/kodiak\\_700.php](https://www.blackforestquad.de/quad_atv/yamaha/kodiak_700.php), 2022. Zugriff am 22.05.2022.

- [33] Shandong Yunlong ECO Technologies Co.LTD: Website: [www.bev-cars.com](http://www.bev-cars.com), [Online]  
<https://www.bev-cars.com/eec-electric-cabin-car-y2-product/>, 2022. Zugriff am 22.05.2022.
- [34] my-e-Mobil: Website: [www.my-e-mobil.de](http://www.my-e-mobil.de), [Online]  
<http://www.my-e-mobil.de/selfsite.php?aktion=Tazzari>, 2022. Zugriff am 22.05.2022.
- [35] Zentrale Begutachtungsplakettendatenbank: Website: [www.zbd.co.at](http://www.zbd.co.at), [Online]  
<https://www.zbd.co.at/>, 2022. Zugriff am 23.05.2022.
- [36] Ford Motor Company: Website: [www.ford.at](http://www.ford.at), [Online]  
<https://www.ford.at/nutzfahrzeuge-modelle/transit>, 2022. Zugriff am 25.05.2022.
- [37] MAN Truck & Bus SE: Website: [www.man.eu](http://www.man.eu), [Online]  
[https://www.man.eu/de/en/truck/all-models/the-man-tgm-and-man-tgl/overview/tgm\\_l-overview.html](https://www.man.eu/de/en/truck/all-models/the-man-tgm-and-man-tgl/overview/tgm_l-overview.html), 2022. Zugriff am 25.05.2022.
- [38] Statistik Austria: Lastkraftwagen und Sattelzugfahrzeuge nach Kilowattklassen und Gesamtgewichtsklassen 2006 bis 2021, Wien, 2022.
- [39] Volvo Trucks: FM D11 4x2R Luftfederung Specifications. Datenblatt, [https://stpi.it.volvo.com/STPIFiles/Volvo/ModelRange/fmx42r1a\\_aut\\_gerat.pdf](https://stpi.it.volvo.com/STPIFiles/Volvo/ModelRange/fmx42r1a_aut_gerat.pdf), 2022. Zugriff am 25.05.2022.
- [40] Volvo Trucks: FH 13 4x2 Tractor – Rear Air Suspension Specifications. Datenblatt, [https://stpi.it.volvo.com/STPIFiles/Volvo/ModelRange/fh42t3a\\_gbr\\_eng.pdf](https://stpi.it.volvo.com/STPIFiles/Volvo/ModelRange/fh42t3a_gbr_eng.pdf), 2022. Zugriff am 25.05.2022.
- [41] MAN Truck & Bus SE: TGS 6x2 Rigid. Datenblatt, <http://www.man-bodybuilder.co.uk/specs/pdf/2022/TGS/6x2-Rigid.pdf>, 2022. Zugriff am 25.05.2022.
- [42] Volvo Trucks: Produktinfo Motor D13K500, Turbo-TC. Datenblatt, [https://stpi.it.volvo.com/STPIFiles/Volvo/FactSheet/D13%20500T,%20EU6HT\\_Ger\\_01\\_310999630.pdf](https://stpi.it.volvo.com/STPIFiles/Volvo/FactSheet/D13%20500T,%20EU6HT_Ger_01_310999630.pdf), 2022. Zugriff am 25.05.2022.
- [43] Kraftfahr-Bundesamt Deutschland: Website: [www.kba.de](http://www.kba.de), [Online]  
[https://www.kba.de/DE/Home/home\\_node.html](https://www.kba.de/DE/Home/home_node.html), 2022. Zugriff am 01.06.2022.
- [44] Kraftfahr-Bundesamt Deutschland: Fahrzeugzulassungen (FZ 26) im Jahr 2020. Statistik, [https://www.kba.de/SharedDocs/Downloads/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ26/fz26\\_2020\\_pdf.pdf;jsessionid=98011E26F39CCB54650E928A26E2868A.live21323?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.kba.de/SharedDocs/Downloads/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ26/fz26_2020_pdf.pdf;jsessionid=98011E26F39CCB54650E928A26E2868A.live21323?__blob=publicationFile&v=5), 2020. Zugriff am 01.06.2022.

- [45] Wilhelm Schwarzmüller GmbH: Website: [www.schwarzmueller.com](http://www.schwarzmueller.com), [Online]  
<https://www.schwarzmueller.com/de/home>, 2022. Zugriff am 01.06.2022.
- [46] Wilhelm Schwarzmüller GmbH: Website: [www.schwarzmueller.com](http://www.schwarzmueller.com), [Online]  
<https://www.schwarzmueller.com/de/fahrzeug/plateau-fahrzeuge/plateausattel-standard/3-achs-plateausattelanhaenger>, 2022. Zugriff am 01.06.2022.
- [47] Wilhelm Schwarzmüller GmbH: Website: [www.schwarzmueller.com](http://www.schwarzmueller.com), [Online]  
<https://www.schwarzmueller.com/de/fahrzeug/aufbau-fahrzeuge/kippaufbau-3-seiten/3-seiten-kippaufbau-3a-lkw-baustelle>, 2022. Zugriff am 01.06.2022.
- [48] electrive.net: Website: [www.electrive.net](http://www.electrive.net), [Online]  
<https://www.electrive.net/2021/06/22/daimlers-genh2-truck-kuenftiges-h2-koloss-im-fernverkehr/>, 2022. Zugriff am 23.05.2022.
- [49] Bundesinnung der Fahrzeugtechnik: Website: [www.57a.at](http://www.57a.at), [Online]  
<https://www.57a.at/>, 2022. Zugriff am 23.05.2022.
- [50] Österreichischer Automobil-, Motorrad- und Touringclub: Website: [www.oeamtc.at](http://www.oeamtc.at), [Online]  
<https://www.oeamtc.at/mitgliedschaft/pruefdienst-leistungen/57a-begutachtung-pickerl/>, 2022. Zugriff am 23.05.2022.
- [51] Zentrale Begutachtungsplakettendatenbank, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2016-2018.
- [52] Statistik Austria: Fahrten im Straßengüterverkehr ab 2006, [Online].  
Available: [https://statcube.at/statcube/opendatabase?id=degvk\\_fahrt\\_2010](https://statcube.at/statcube/opendatabase?id=degvk_fahrt_2010).  
Zugriff am 20.06.2022.
- [53] ASFiNAG: Website: [www.asfinag.at](http://www.asfinag.at), [Online]  
<https://www.asfinag.at/verkehr-sicherheit/verkehrszahlung/>, 2022. Zugriff am 20.06.2022.
- [54] JOANNEUM RESEARCH: Website: [www.joanneum.at](http://www.joanneum.at), [Online]  
<https://www.joanneum.at/en/>, 2022. Zugriff am 21.05.2022.
- [55] Richtlinie (EG) Nr. 28/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG, ABI L 2009/28.
- [56] Handbuch für Emissions- faktoren des Strassen- verkehrs (HBEFA):  
Website: [www.hbefa.net](http://www.hbefa.net), [Online]  
<https://www.hbefa.net/d/index.html>, 2022. Zugriff am 21.05.2022.

- [57] The MathWorks Inc.: Website: [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com), [Online] <https://de.mathworks.com/products/matlab.html>, 2022. Zugriff am 10.06.2022.
- [58] Umweltbundesamt: Website: [www.umweltbundesamt.at](http://www.umweltbundesamt.at), [Online] <https://www.umweltbundesamt.at/umweltthemen/mobilitaet/mobilitaetsdaten/verkehr-treibhausgase>, 2022. Zugriff am 16.07.2022.