

# Bachelorarbeit

## Metastudie Emissionen diverser Verkehrsmittel

Bernhard Wurdinger

e1617921@student.tuwien.ac.at

Matr.Nr. 01617921

Datum: 01.10.2017

### Kurzfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit den Emissionswerten unterschiedlicher Verkehrsmittel aus verschiedenen Studien und ob die in den Studien angeführten Werte miteinander vergleichbar sind. Hierfür werden die in insgesamt 7 Publikationen angegeben direkten und indirekten Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionswerte sowie die Daten zu Feinstaubpartikel untersucht, die beim Fahren mit verschiedenen Verkehrsmitteln im Personen- und Güterverkehr, inkl. Vor- und Nachketten, entstehen. Da die Datenerhebung sowie deren Darstellung in den publizierten Studien meist auf völlig unterschiedlichen Methoden basieren, wird im Rahmen dieser Arbeit analysiert, ob eine Vergleichbarkeit dieser Daten überhaupt möglich ist. Im letzten Teil der Arbeit werden die Emissionswerte in den untersuchten Studien gegenübergestellt und anhand der vorliegenden Daten ein Mittelwert bzw. eine Schwankungsbreite zu den Emissionswerten der verschiedenen Verkehrsträger ermittelt.

## 1 Einleitung

Der Klimawandel ist eine weltweit auftretende Veränderung des Klimas, an welcher der Verkehrssektor maßgeblich beteiligt ist. Aus diesem Grund beschäftigen sich immer mehr Organisationen, Unternehmen und Staaten mit dieser Thematik und versuchen neue Verkehrskonzepte und Fahrzeuge zu entwickeln oder bestehende Systeme zu optimieren und so emissionsparende Strukturen zu schaffen. Dazu werden, vor allem von den Umweltbundesämtern verschiedener Staaten, teilweise umfangreiche Studien durchgeführt, in denen die Emissionswerte diverser Verkehrsträger berechnet, analysiert und verglichen werden. Dabei wird in diesen Studien meist mit unterschiedlichen Datenbanken, Annahmen und Berechnungsmodellen gearbeitet, was eine Vergleichbarkeit der Werte oft schwierig bis unmöglich macht. In den nachfolgenden Kapiteln wird versucht, die verwendeten Erhebungsmethoden und Datenbasen von insgesamt 7 Studien zu analysieren und deren Unterschiede herauszuarbeiten.

### 1.1 Fragestellung

Ist es möglich die Emissionswerte verschiedener Personen- und Güterverkehrsmittel aus unterschiedlichen Studien zu vergleichen und einen plausiblen Mittelwert bzw. eine aussagekräftige Schwankungsbreite dieser Werte zu ermitteln?

Diese Fragestellung kann nur beantwortet werden, wenn es genügend Studien mit ausreichend detailliert veröffentlichten Emissionswerten gibt und wo deren Erhebungsmethodik beschrieben wird. Da in vielen Berichten die Erhebungsmethode und Datengrundlage nicht veröffentlicht wird, wurde zur Beantwortung dieser Frage nach Publikationen gesucht, wo zumindest gewisse Parameter, Berechnungsansätze oder verwendete Datenbanken bekannt gemacht wurden. Es wird sich erst im Zuge der Ergebnisauswertung zeigen, ob die Datenverfügbarkeit ausreichend ist und die Ergebnisdarstellung in den einzelnen Studien eine Vergleichbarkeit ermöglicht.

## **2 Methodik**

### **2.1 Literaturrecherche**

Im ersten Schritt wurden das Internet und eine Vielzahl an wissenschaftlichen Datenbanken nach Publikationen durchsucht, die sich mit dem Emissionsvergleich verschiedener Verkehrsmittel auseinandersetzen. Wegen des geringen Angebots an vergleichbaren Studien dieser Art, wurden anschließend vor allem Publikationen der DACH – Umweltbundesämter untersucht.

Um die erhobenen Daten der einzelnen Studien vergleichbar darstellen zu können, wurden die veröffentlichten Emissionswerte zum Teil mit Hilfe der Autoren der Studien aufgeschlüsselt oder rückgerechnet. Im Rahmen der Befragung der Herausgeber wurde von diesen jedoch vereinzelt leider gar nicht oder nur mit weniger brauchbaren Rückmeldungen oder Verweisen geantwortet.

### **2.2 Vergleich bestehender Studien**

Nach umfangreichen Recherchen wurden mehrere Studien und Artikel gefunden, die sich mit der Treibhausgas- und Luftschadstoffbelastung verschiedener Verkehrsträger auseinandersetzen. Da sich diese Arbeit mit der Gegenüberstellung der Emissionswerte von unterschiedlichen Fahrzeugen aus verschiedenen Studien beschäftigt, war die größte Herausforderung, Publikationen zu finden, die dieselben Fahrzeuge analysieren, die Ergebnisse in vergleichbarer Form (Einheit) darstellen und die angewandte Methodik ausreichend genau beschreiben.

Weil aufgrund verschiedener Staatendimensionen nur die Emissionsfaktoren von Verkehrsmittel, also die Darstellung der Emissionen in  $[g/Pkm]$  und  $[g/Tkm]$  und nicht die Darstellung in z.B.  $[Tonnen/Jahr]$  vergleichbar sind, konnten für diese Arbeit nur jene Studien verwendet werden, die die Emissionsfaktoren veröffentlicht haben. Ein Sonderfall ist die Angabe der Jahresemissionen in  $[Tonnen/Jahr]$  mit den zugehörigen Personen-bzw. Tonnenkilometer. Hier konnten die Emissionswerte manuell auf die Emissionsfaktoren zurückgeführt werden. Personenkilometer beziehen sich hierbei auf den Personenverkehr und Tonnenkilometer auf Verkehrsmittel im Güterverkehr.

Eine weitere Schwierigkeit in der Vergleichbarkeit waren die unterschiedlichen Detaillierungsgrade in welchen die Emissionswerte in den Studien ermittelt wurden. Teilweise wurden alle Vor- und Nachketten, wie z.B. die Infrastrukturherstellung/-wartung, die Energiebereitstellung, die Fahrzeugbereitstellung und die Fahrzeugentsorgung in die Emissionsberechnung miteinbezogen. In anderen Studien wurden hingegen nur die direkten „Auspuffemissionen“, also die Emissionen der direkten Betriebsphase des Vehikels berücksichtigt. Dies hängt unter anderem mit den sehr unterschiedlichen Herausgeberjahren der Publikationen zusammen. Zusätzlich wird eine Vergleichbarkeit der Emissionswerte durch die oft fehlende Angabe von Distanzklassen, also zurückgelegte Distanzen, oder Treibstoffarten erschwert.

### 3 Erhebungsteil

#### 3.1 Beschreibung existierender Studien

##### 3.1.1 ÖV und Umwelt – Herausforderungen und Handlungsbedarf – Schlussbericht 2011

Diese Studie vom Schweizer Bundesamt für Verkehr (BAV) beschäftigt sich mit der Verkehrsinfrastruktur als essentiellen Standortfaktor in der Schweiz und vergleicht hierbei den öffentlichen Verkehr mit dem motorisierten Straßenverkehr. Der Fokus der Publikation liegt vor allem in der Ermittlung des Primärenergiebedarfs verschiedener Verkehrsträger, der Erhebung von Treibhausgasen die den Klimaeffekt maßgeblich beeinflussen, der Erhebung von belastenden Luftschadstoffen sowie den Auswirkungen dieser auf Raum und Boden. Primär wurden die Daten zu CO<sub>2</sub>-Emissionen, Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) und Feinstaubpartikeln (PM<sub>10</sub>) veröffentlicht.

#### Darstellung der Ergebnisse

Die Verkehrsträger werden in der Studie in Verkehrsmittel für Güterverkehr und Verkehrsmittel für Personenverkehr gegliedert. Die erhobenen Emissionswerte wurden jeweils für den Betrieb und für die Vorprozesse der Fahrzeuge angegeben. Des Weiteren wurde die Emissionsbetrachtung beginnend ab dem Jahr 1990 durchgeführt und in fünf Jahresschritten bis ins Jahr 2030 prognostiziert. Da die Emissionswerte, vor allem bei den Feinstaubpartikeln und den Stickoxiden, in der Einheit [t/a] angeführt wurden, wurden die Werte von mir anhand der im Jahr 2010 in der Schweiz erhobenen Personen- und Tonnenkilometer (siehe Abb. 1 und Abb. 2) in die ursprünglichen Emissionsfaktoren [g/Pkm] und [g/Tkm] rückgeführt. Die Verwendung der Daten aus dem Jahr 2010 wird mit dem Erstellungsjahr der Studie begründet. Die Rückrechnung in die angewendeten Emissionsfaktoren ermöglicht eine übersichtlichere Vergleichbarkeit mit anderen Studien.

| Mio Pkm/a    | 1990   | 1995   | 2000    | 2005    | 2008    | 2010    | 2015    | 2020    | 2025    | 2030    |
|--------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| PW           | 73'272 | 74'859 | 81'061  | 86'083  | 90'019  | 92'486  | 96'880  | 100'840 | 103'155 | 105'432 |
| RBus         | 2'285  | 2'327  | 2'087   | 2'235   | 2'410   | 2'522   | 2'475   | 2'435   | 2'418   | 2'412   |
| MR           | 2'287  | 1'970  | 2'440   | 2'366   | 2'542   | 2'588   | 2'707   | 2'831   | 2'960   | 3'096   |
| Bahn         | 12'678 | 11'713 | 12'600  | 16'144  | 18'028  | 19'066  | 21'161  | 23'255  | 25'350  | 27'445  |
| Tram+Trolley | 2'205  | 2'314  | 2'168   | 2'180   | 2'455   | 2'463   | 2'528   | 2'659   | 2'790   | 2'921   |
| Autobus      | 2'162  | 2'388  | 2'404   | 2'737   | 2'927   | 3'035   | 3'321   | 3'627   | 3'954   | 4'305   |
|              |        |        |         |         |         |         |         |         |         |         |
|              | 1990   | 1995   | 2000    | 2005    | 2008    | 2010    | 2015    | 2020    | 2025    | 2030    |
| Summe P MIV  | 77'844 | 79'156 | 85'588  | 90'684  | 94'971  | 97'596  | 102'061 | 106'105 | 108'534 | 110'940 |
| Summe P OeV  | 17'044 | 16'415 | 17'172  | 21'061  | 23'410  | 24'564  | 27'010  | 29'541  | 32'094  | 34'670  |
| Summe P      | 94'888 | 95'570 | 102'760 | 111'744 | 118'381 | 122'161 | 129'071 | 135'646 | 140'628 | 145'610 |
| % OeV        | 18.0%  | 17.2%  | 16.7%   | 18.8%   | 19.8%   | 20.1%   | 20.9%   | 21.8%   | 22.8%   | 23.8%   |

Abb. 1: Übersicht Personenkilometer pro Jahr in der Schweiz (Q.: IFRAS/IFEU ÖV und Umwelt 2011)

| Mio Tkm/a     | 1990   | 1995   | 2000   | 2005   | 2008   | 2010   | 2015   | 2020   | 2025   | 2030   |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| LNF           | 1'300  | 1'373  | 1'489  | 1'650  | 1'764  | 1'804  | 1'870  | 1'919  | 1'975  | 2'040  |
| SNF           | 10'796 | 11'420 | 12'781 | 14'860 | 16'867 | 17'481 | 18'844 | 19'663 | 20'199 | 20'616 |
| Bahn          | 8'345  | 7'979  | 9'937  | 10'149 | 10'980 | 10'400 | 11'543 | 12'686 | 13'830 | 14'973 |
|               |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|               | 1990   | 1995   | 2000   | 2005   | 2008   | 2010   | 2015   | 2020   | 2025   | 2030   |
| Summe Strasse | 12'096 | 12'793 | 14'270 | 16'510 | 18'631 | 19'285 | 20'714 | 21'582 | 22'174 | 22'656 |
| Summe Bahn    | 8'345  | 7'979  | 9'937  | 10'149 | 10'980 | 10'400 | 11'543 | 12'686 | 13'830 | 14'973 |
| Summe G       | 20'441 | 20'772 | 24'207 | 26'659 | 29'611 | 29'685 | 32'257 | 34'269 | 36'004 | 37'629 |
| % Schiene     | 40.8%  | 38.4%  | 41.0%  | 38.1%  | 37.1%  | 35.0%  | 35.8%  | 37.0%  | 38.4%  | 39.8%  |

Abb. 2: Übersicht Tonnenkilometer pro Jahr in der Schweiz (Q.: IFRAS/IFEU ÖV und Umwelt 2011)

Die Emissionswerte wurden für diese Bachelorarbeit anschließend auf die Emissionsfaktoren zurückgerechnet und in Tab. 1 zusammengefasst.

| Verkehrsmittel                          | Jahr | Distanz | Treibstoff        | CO <sub>2</sub> | Einheit | NO <sub>x</sub> | Einheit | PM <sub>10</sub> | Einheit | Co <sub>2</sub> eq | Einheit |
|-----------------------------------------|------|---------|-------------------|-----------------|---------|-----------------|---------|------------------|---------|--------------------|---------|
| PKW                                     | 2010 | k.A.    | Verbrennungsmotor | 141,535         | g/Pkm   | 0,308           | g/Pkm   | 0,017            | g/Pkm   | -                  | g/Pkm   |
| PKW                                     | 2010 | k.A.    | E-Mobil CH Mix    | 74,300          | g/Pkm   | -               | g/Pkm   | -                | g/Pkm   | -                  | g/Pkm   |
| Krafträder (>=125ccm)                   | 2010 | k.A.    | k.A.              | 115,920         | g/Pkm   | 0,260           | g/Pkm   | 0,008            | g/Pkm   | -                  | g/Pkm   |
| Sonstiger Reisebus                      | 2010 | k.A.    | k.A.              | 47,581          | g/Pkm   | 0,342           | g/Pkm   | 0,009            | g/Pkm   | -                  | g/Pkm   |
| Linienbus                               | 2010 | k.A.    | k.A.              | 108,731         | g/Pkm   | 0,866           | g/Pkm   | 0,016            | g/Pkm   | -                  | g/Pkm   |
| LNF                                     | 2010 | k.A.    | k.A.              | 582,040         | g/Tkm   | 2,527           | g/Tkm   | 0,165            | g/Tkm   | -                  | g/Tkm   |
| Lastzüge (SNF)                          | 2010 | k.A.    | k.A.              | 120,509         | g/Tkm   | 0,739           | g/Tkm   | 0,022            | g/Tkm   | -                  | g/Tkm   |
| Sattelzug (SNF) ?                       | 2010 | k.A.    | k.A.              | 120,509         | g/Tkm   | 0,739           | g/Tkm   | 0,022            | g/Tkm   | -                  | g/Tkm   |
| Bahn Personenverkehr                    | 2010 | k.A.    | k.A.              | 1,049           | g/Pkm   | 0,003           | g/Pkm   | 0,003            | g/Pkm   | -                  | g/Pkm   |
| Bahn Güterverkehr (inkl Diesel Rangier) | 2010 | k.A.    | k.A.              | 0,962           | g/Tkm   | 0,002           | g/Pkm   | 0,002            | g/Pkm   | -                  | g/Pkm   |
| Straßenbahn (Tram + Trolley)            | 2010 | k.A.    | k.A.              | 8,120           | g/Pkm   | 0,017           | g/Pkm   | 0,006            | g/Pkm   | -                  | g/Pkm   |
| U-Bahn (Tram + Trolley) ?               | 2010 | k.A.    | k.A.              | 8,120           | g/Pkm   | 0,017           | g/Pkm   | 0,006            | g/Pkm   | -                  | g/Pkm   |

Tab. 1: Zusammenfassung der Emissionsfaktoren aus Betrieb + Vorprozesse lt. Studie INFRAS/INFEU ÖV und Umwelt - 2011

Eine Unterscheidung der Treibstoffart wurde nur beim PKW durchgeführt, wobei beim Elektro-Antrieb nur die CO<sub>2</sub>-Emissionen publiziert wurden.

### Wie wurden die Emissionswerte der Studie erhoben?

Für die Untersuchung orientierte sich die Studie an bereits vorhandenen Grunddaten und statistischen Auswertungen aus den Jahren 2007, 2008 und 2009. Für das Verkehrsmengengerüst wurden Daten des BFS Schweiz (Bundesamt für Statistik) und eigene Horchrechnungen herangezogen. Die zukünftige Entwicklung wurde mit UVEK-Verkehrsperspektiven (ARE 2004, ARE 2006) prognostiziert.<sup>1</sup>

Die Erhebung der Emissionswerte wurden für den Fahrzeugbetrieb mehrheitlich unter Verwendung von vergangenen BAFU (Bundesamt für Umwelt Schweiz) Publikationen (Handbuch für Emissionsfaktoren im Straßenverkehr (HBEFA, Kapitel 3.7) und Emissionsperspektiven bis 2035 für den Straßenverkehr in der Schweiz) durchgeführt. Die Daten des Schienenverkehrs wurden unter Absprachen der SBB (Schweizerische Bundesbahnen) und Verwendung der Energieperspektiven des BFE (Bundesamt für Energie Schweiz) bestimmt.<sup>2</sup> Die indirekten Emissionswerte, die während der Energiebereitstellung sowie der Erzeugung von Fahrzeugen und Verkehrsinfrastruktur entstehen, stützen sich auf das Schweizer Emissionsberechnungstool „Mobitool“ (basierend auf der Datenbank von ecoinvent), welches in Kapitel 3.9 kurz erläutert wird.

Mit den Emissionsfaktoren aus dem HBEFA und den Fahrzeugkilometern vom BFS ist der Endenergieverbrauch pro Fahrzeugkategorie im Straßenverkehr mit der Multiplikation der Fahrleistung (Fzkm) \* spezifischem Verbrauch bestimmt worden. Vor allem die Annahmen zur Auslastung der Verkehrsmittel beeinflussen die Ergebnisse des spezifischen Energieverbrauches und somit die abgeschätzten Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen. Der Endenergieverbrauch des öffentlichen Verkehrs wurde hingegen maßgeblich über den Strombedarf und den Dieserverbrauch der Autobusse erhoben. Der Strombedarf wurde über eine Hochrechnung unter Verwendung der Energieperspektiven des BFE bestimmt und der Endenergieverbrauch mit der Multiplikation der Betriebsleistung (Btkm) \* spezifischem Verbrauch (MJ/Btkm) berechnet. Aufgrund mangelnder statistischer Auswertungen mussten die Btkm selbst abgeschätzt werden. Entscheidend für die Erhebung der Emissionswerte der Vorprozesse ist die Tatsache, dass der Strombedarf in der Schweiz zu 75% über Wasserkraft und 25% über Atomstrom gedeckt wird und somit praktisch klimaneutral ist.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Vgl. Studie IFRAS/IFEU ÖV und Umwelt (2011) S. 19

<sup>2</sup> Vgl. Studie IFRAS/IFEU ÖV und Umwelt (2011) S. 19

<sup>3</sup> Vgl. Studie IFRAS/IFEU ÖV und Umwelt (2011) S. 35

### 3.1.2 Umweltfreundlich mobil! + Ökologische Bewertung von Verkehrsarten – Abschlussbericht 2020

Die nachfolgende Studie des Umweltbundesamts Deutschland gliedert sich in eine Broschüre (Umweltfreundlich mobil) und einen ausführlichen Langbericht (Ökologische Bewertung von Verkehrsarten), wobei die Ergebnisse des Langzeitberichts in der Broschüre grafisch aufgearbeitet wurden. Der Fokus der Studie liegt auf der Zerlegung der Lebenswegabschnitte einzelner Verkehrsmittel und der Beurteilung deren Umweltauswirkungen. Die Treibhausgasemissionen wurden hierbei in [Gramm CO<sub>2</sub>eq/Pkm oder Tkm] zusammengefasst. Um eine Vergleichbarkeit der Studie zu ermöglichen, wurden mit Hilfe von Dipl. Geogr. Martin Lambrecht und Andrea Kolodziej vom Umweltbundesamt Deutschland die Rohdaten der Studie vom IFEU angefordert und das Treibhausgaspotential (g CO<sub>2</sub>eq) in die einzelnen Treibhausgase zurückgeführt. In dieser Bachelorarbeit werden jedoch nicht alle Einzelkomponenten (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO, CO<sub>2</sub> etc.), sondern lediglich die CO<sub>2</sub>-Werte betrachtet. Neben den Treibhausgasen wurden in der Studie auch die Werte zu Luftschadstoffemissionen (NO<sub>x</sub>) und Feinstaubpartikeln (PM<sub>10</sub>) von Personen- und Güterverkehrsträgern veröffentlicht.

#### Darstellung der Ergebnisse

Neben einer Unterscheidung in Personenverkehr und Güterverkehr wurden zusätzlich die Distanzklassen Nahverkehr und Fernverkehr gesondert betrachtet. Die Lebenswegabschnitte wurden in die Nutzungsphase sowie die Energie-, Fahrzeug- und Infrastrukturbereitstellung unterteilt. Die für das Jahr 2020 erhobenen Emissionswerte wurden je nach Transportart in den Emissionsfaktoren [g/Pkm] bzw. [g/Tkm] angegeben und mussten somit nicht mehr rückgerechnet werden. Nur die Werte des Treibhausgaspotentials wurden mit Hilfe des Umweltbundesamtes Deutschland, des IFEU Heidelberg und der INFRAS Zürich in die Einzelkomponenten aufgeschlüsselt.

Das Treibhausgaspotential wurde auf einen Zeithorizont von 100 Jahren (GWP 100), nach den Faktoren des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), ausgewertet.

| Treibhausgas               | CO <sub>2</sub> -Äquivalente nach IPCC 2007 | CO <sub>2</sub> -Äquivalente nach IPCC 2013 |
|----------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Kohlenstoffdioxid (fossil) | 1                                           | 1                                           |
| Kohlenmonoxid (fossil)     | 1,57                                        | 4,06                                        |
| Methan (fossil)            | 25                                          | 29,7                                        |
| Lachgas                    | 298                                         | 264,8                                       |

Abb. 3: Faktoren zur Berechnung des Treibhausgaspotentials (GWP 100) nach IPCC (Q.: Umweltbundesamt DE - Ökologische Bewertung von Verkehrsarten)



| Verkehrsmittel           | Jahr | Distanz  | Treibstoff       | CO <sub>2</sub> | Einheit | NO <sub>x</sub> | Einheit | PM <sub>10</sub> | Einheit | Co <sub>2</sub> eq | Einheit |
|--------------------------|------|----------|------------------|-----------------|---------|-----------------|---------|------------------|---------|--------------------|---------|
| PKW                      | 2020 | NV       | Mix              | 187             | g/Pkm   | 0,53            | g/Pkm   | 0,07             | g/Pkm   | 194,41             | g/Pkm   |
| Fahrrad                  | 2020 | NV       | k.A.             | 8,26            | g/Pkm   | 0,02            | g/Pkm   | 0,011            | g/Pkm   | 9,16               | g/Pkm   |
| Pedelec                  | 2020 | k.A.     | Elektro          | 14,04           | g/Pkm   | 0,03            | g/Pkm   | 0,017            | g/Pkm   | 15,17              | g/Pkm   |
| Kleinkraftträder (50ccm) | 2020 | NV       | Benzin           | 87,95           | g/Pkm   | 0,14            | g/Pkm   | 0,23             | g/Pkm   | 122,06             | g/Pkm   |
| Kraftträder (>=125ccm)   | 2020 | NV       | Benzin           | 164,76          | g/Pkm   | 0,27            | g/Pkm   | 0,051            | g/Pkm   | 195,91             | g/Pkm   |
| Fernlinienbus            | 2020 | FV       | Diesel           | 30,69           | g/Pkm   | 0,08            | g/Pkm   | 0,005            | g/Pkm   | 31,62              | g/Pkm   |
| Sonstiger Reisebus       | 2020 | FV       | Diesel           | 33,09           | g/Pkm   | 0,14            | g/Pkm   | 0,009            | g/Pkm   | 34,06              | g/Pkm   |
| Linienbus                | 2020 | NV       | Diesel           | 30,69           | g/Pkm   | 0,4             | g/Pkm   | 0,25             | g/Pkm   | 88,63              | g/Pkm   |
| LNF                      | 2020 | k.A.     | Diesel           | 2166,24         | g/Tkm   | 10,54           | g/Tkm   | 0,764            | g/Tkm   | 2235,22            | g/Tkm   |
| LKW ab 3,5t              | 2020 | k.A.     | Diesel           | 567,23          | g/Tkm   | 2,53            | g/Tkm   | 0,159            | g/Tkm   | 578,12             | g/Tkm   |
| Lastzüge                 | 2020 | k.A.     | Diesel           | 104,58          | g/Tkm   | 0,24            | g/Tkm   | 0,031            | g/Tkm   | 106,16             | g/Tkm   |
| Sattelzug                | 2020 | k.A.     | Diesel           | 104,58          | g/Tkm   | 0,24            | g/Tkm   | 0,031            | g/Tkm   | 106,16             | g/Tkm   |
| Bahn Personenverkehr     | 2020 | NV       | Diesel + Elektro | 82,06           | g/Pkm   | 0,23            | g/Pkm   | 0,022            | g/Pkm   | 73,69              | g/Pkm   |
| Bahn Personenverkehr     | 2020 | FV       | Diesel + Elektro | 54,29           | g/Pkm   | 0,06            | g/Pkm   | 0,018            | g/Pkm   | 46,32              | g/Pkm   |
| Bahn Güterverkehr        | 2020 | k.A.     | Diesel + Elektro | 41,2            | g/Tkm   | 0,06            | g/Tkm   | 0,016            | g/Tkm   | 32,61              | g/Tkm   |
| Straßenbahn              | 2020 | NV       | Elektro          | 85,14           | g/Pkm   | 0,09            | g/Pkm   | 0,024            | g/Pkm   | 78,09              | g/Pkm   |
| U-Bahn                   | 2020 | NV       | Elektro          | 85,14           | g/Pkm   | 0,09            | g/Pkm   | 0,024            | g/Pkm   | 78,09              | g/Pkm   |
| Flugzeug Personenverkehr | 2020 | national | Kerosin          | 208,58          | g/Pkm   | 1               | g/Pkm   | 0,013            | g/Pkm   | 218,12             | g/Pkm   |
| Flugzeug Personenverkehr | 2020 | intern.  | Kerosin          | 106,33          | g/Pkm   | 0,47            | g/Pkm   | 0,007            | g/Pkm   | 197,51             | g/Pkm   |
| Flugzeug Güterverkehr    | 2020 | national | Kerosin          | 1994,79         | g/Tkm   | 9,87            | g/Tkm   | 0,12             | g/Tkm   | 2032,39            | g/Tkm   |
| Flugzeug Güterverkehr    | 2020 | intern.  | Kerosin          | 751,4           | g/Tkm   | 3,47            | g/Tkm   | 0,05             | g/Tkm   | 1462               | g/Tkm   |
| Binnenschiff             | 2020 | k.A.     | Diesel           | 47,01           | g/Tkm   | 0,43            | g/Tkm   | 0,024            | g/Tkm   | 42,55              | g/Tkm   |

Tab. 2 Zusammenfassung der Emissionsfaktoren aus Betrieb + Vorprozesse lt. Studie Umweltbundesamt DE – Ökologische Bewertung von Verkehrsarten

### Wie wurden die Emissionswerte der Studie erhoben?

Für die unterschiedlichen Lebenswegabschnitte der betrachteten Verkehrsmittel wurden jeweils verschiedenen Datenbanken und Softwaremodelle eingesetzt. Die Klimagas- und Luftschadstoffemissionen sowie die spezifischen Werte zum Energieverbrauch, die in der Nutzungsphase der Fahrzeuge entstehen, wurden in dieser Studie auf Basis des TREMOD-Modells ermittelt (Knörr et al., 2016). Das Emissionsberechnungsmodell TREMOD wird in Kapitel 3.6 erklärt. Um die Verkehrsarten in dieser Studie möglichst effektiv zu vergleichen, wurde neben der Betriebsphase ein besonderes Augenmerk auf die energetische Vorkette, also die Bereitstellung der Energie, gelegt. Abb. 4 zeigt die verwendeten Wirkungsindikatoren je nach Treibstoffart, welche ebenfalls aus dem TREMOD-Modell ermittelt wurden.<sup>4</sup>

|                  | Strommix DE (2017) | Diesel/Kerosin | Benzin      |
|------------------|--------------------|----------------|-------------|
| Treibhausgase    | 552 g/kWh          | 16,223 g/MJ    | 14,629 g/MJ |
| CO               | 0,332 g/kWh        | 0,009 g/MJ     | 0,008 g/MJ  |
| NMHC             | 0,022 g/kWh        | 0,026 g/MJ     | 0,054 g/MJ  |
| NO <sub>x</sub>  | 0,506 g/kWh        | 0,039 g/MJ     | 0,037 g/MJ  |
| PM <sub>10</sub> | 0,022 g/kWh        | 0,001 g/MJ     | 0,001 g/MJ  |

Abb. 4: Umwelteinwirkung der energetischen Vorketten (Knörr et al. 2016) (Q.: Umweltbundesamt DE – Ökologische Bewertung von Verkehrsarten)

Die Fahrzeugbereitstellung wurde für eine Auswertung der Umwelteinwirkungen in die Kategorien Fahrzeugherstellung, -wartung und -entsorgung unterteilt. Die Modellierung des Einflusses dieser Kategorien ist in der Software umberto LCA+ erfolgt und beruht auf der Ökobilanzdatenbank von ecoinvent (Version 3.5 cut-off Systemmodell)<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> Vgl. Studie Umweltbundesamt DE – Ökologische Bewertung von Verkehrsarten (2020) S. 55

<sup>5</sup> Vgl. Studie Umweltbundesamt DE – Ökologische Bewertung von Verkehrsarten (2020) S. 56

Neben der Fahrzeugbereitstellung wurde auch die Bereitstellung der Verkehrsinfrastruktur gesondert betrachtet. Für die Auswertung der Klimaeinwirkung der Straßeninfrastruktur wurde auf die Datenbank (Knappe et al., 2015) zurückgegriffen. Letztendlich wurden die erhobenen Datenbanken mit Umfragen bei Städten und Gemeinden sowie Datenerhebungen bei den Straßeninformationsbanken der Länder plausibilisiert und mit Informationen zu den Straßenbauwerken versehen. So konnten anschließend der Materialstrom und folglich die dadurch entstehenden Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen berechnet werden. Die durch die Schienen-, Schiff- und Luftverkehrsinfrastruktur hervorgehenden Emissionen wurden auf Basis der Daten (Mottschall/Bergmann 2013) sowie (Trapp et al., 2017) berechnet. Zusätzlich stützen sich die Werte der Schiffsinfrastruktur auf Daten der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung von Deutschland und die Werte der Schieneninfrastruktur auf detaillierte Datensätze der Deutschen Bahn.

Für den Erhebungsprozess der Emissionswerte wurde die Verkehrsleistung (in Pkm bzw. Tkm) mit der Formel Verkehrsaufkommen \* durchschnittliche Transportdistanz ermittelt. Zusätzlich wurden für die Ermittlung der Verkehrsleistung gewisse „Umwegfaktoren“ bestimmt. Diese wurden in die Berechnung eingebunden, wenn zum Beispiel ein Flug von Frankfurt nach New York jedoch über Amsterdam erfolgt. Bei der Feststellung der Emissionswerte des öffentlichen Verkehrs wurde beachtet, dass bei den meisten Verkehrsbetrieben Betriebs- und Leerfahrten entstehen. Die Studie stützt sich hierbei auf eine Annahme von bis zu 8% für manche öffentliche Verkehrsmittel (ASEAG, 2018). Oftmals entstehen Unsicherheiten in den Berechnungen, da in den vorhandenen Datenbanken oft nur Wertebereiche mit Verlagerungspotentialen von z.B. 5-10% angegeben werden. In dieser Studien wurden deshalb Betrachtungen für einen Basiswert (Mittelwert) und Extremwert durchgeführt. Da die Eingangsparameter in den Berechnungen oft voneinander abhängig sind, wurden die Parameter, wenn möglich, gezielt getrennt voneinander variiert.<sup>6</sup> So konnten die direkten Auswirkungen einzelner Parameter dargestellt werden.

### **3.1.3 Emissionsfaktoren als Grundlage für die Österreichische Luftschadstoff – Inventur, Stand 2003**

In der folgenden Studie vom österreichischen Umweltbundesamt aus dem Jahr 2003 wurden brennstoffspezifische Emissionsfaktoren verschiedener Energiebereiche für die Schadstoffe Schwefeldioxid, Stickoxide, flüchtige organische Verbindungen, Kohlenmonoxid, Feinstaubpartikel und Kohlendioxid dargestellt. Ziel der Publikation war, die damals vorhandenen Emissionswerte in den unterschiedlichen Energiebereichen um die Veränderung bezüglich des durchschnittlichen brennstoffspezifischen Emissionsverhaltens zu aktualisieren.<sup>7</sup>

#### **Darstellung der Ergebnisse**

Die publizierten Werte wurden je nach Fahrzeugklasse und Distanzklasse gegliedert, wobei die Distanzklassen in die Bereiche „Autobahn“, „außerorts“ und „innerorts“ aufgeteilt worden sind. Aufgrund des Erhebungsdatums der Studie wurden hier noch keine elektrischen Antriebsarten in die Emissionswertermittlung miteinbezogen. Zudem wurden nur die Emissionswerte aus dem direkten Fahrzeugbetrieb berücksichtigt und somit essentielle Vor- sowie Nachketten vernachlässigt. Dies kann auch mit dem Erhebungsjahr der Studie begründet werden. Generell werden die streckenabhängigen Emissionsfaktoren in der Studie in der Einheit [g/km] und nicht [g/Pkm] bzw. [g/Tkm] angegeben.

<sup>6</sup> Vgl. Studie Umweltbundesamt DE – Ökologische Bewertung von Verkehrsarten (2020) S. 114

<sup>7</sup> Vgl. Studie Umweltbundesamt AUT – Emissionsfaktoren für die OLI (2004) S. 5

| Verkehrsmittel           | Jahr | Distanz   | Treibstoff | CO <sub>2</sub> | Einheit | NO <sub>x</sub> | Einheit | Partikel | Einheit | Co <sub>2</sub> eq | Einheit |
|--------------------------|------|-----------|------------|-----------------|---------|-----------------|---------|----------|---------|--------------------|---------|
| PKW                      | 2002 | Autobahn  | k.A.       | 177,8           | g/km    | 0,42            | g/km    | 0,03     | g/km    | -                  | g/km    |
| PKW                      | 2002 | außerorts | k.A.       | 135,7           | g/km    | 0,26            | g/km    | 0,02     | g/km    | -                  | g/km    |
| PKW                      | 2002 | innerorts | k.A.       | 182,15          | g/km    | 0,33            | g/km    | 0,02     | g/km    | -                  | g/km    |
| Kleinkraftträder (50ccm) | 2002 | außerorts | k.A.       | 35,33           | g/km    | 0,01            | g/km    | k.A.     | g/km    | -                  | g/km    |
| Kleinkraftträder         | 2002 | innerorts | k.A.       | 36,16           | g/km    | 0,01            | g/km    | k.A.     | g/km    | -                  | g/km    |
| Kraftträder (>=125ccm)   | 2002 | Autobahn  | k.A.       | 109,52          | g/km    | 0,5             | g/km    | k.A.     | g/km    | -                  | g/km    |
| Kraftträder              | 2002 | außerorts | k.A.       | 83,88           | g/km    | 0,32            | g/km    | k.A.     | g/km    | -                  | g/km    |
| Kraftträder              | 2002 | innerorts | k.A.       | 97,78           | g/km    | 0,17            | g/km    | k.A.     | g/km    | -                  | g/km    |
| Reisebus                 | 2002 | Autobahn  | k.A.       | 857,1           | g/km    | 9,84            | g/km    | 0,271    | g/km    | -                  | g/km    |
| Reisebus                 | 2002 | außerorts | k.A.       | 780,3           | g/km    | 9,65            | g/km    | 0,274    | g/km    | -                  | g/km    |
| Reisebus                 | 2002 | innerorts | k.A.       | 1258,9          | g/km    | 15,58           | g/km    | 0,567    | g/km    | -                  | g/km    |
| Linienbus                | 2002 | außerorts | k.A.       | 711             | g/km    | 8,51            | g/km    | 0,308    | g/km    | -                  | g/km    |
| Linienbus                | 2002 | innerorts | k.A.       | 983,8           | g/km    | 11,92           | g/km    | 0,56     | g/km    | -                  | g/km    |
| LNF                      | 2002 | Autobahn  | k.A.       | 348,73          | g/km    | 0,95            | g/km    | 0,13     | g/km    | -                  | g/km    |
| LNF                      | 2002 | außerorts | k.A.       | 243,08          | g/km    | 0,72            | g/km    | 0,08     | g/km    | -                  | g/km    |
| LNF                      | 2002 | innerorts | k.A.       | 306,91          | g/km    | 0,85            | g/km    | 0,08     | g/km    | -                  | g/km    |
| SNF                      | 2002 | Autobahn  | k.A.       | 617,49          | g/km    | 6,96            | g/km    | 0,17     | g/km    | -                  | g/km    |
| SNF                      | 2002 | außerorts | k.A.       | 580,99          | g/km    | 6,79            | g/km    | 0,18     | g/km    | -                  | g/km    |
| SNF                      | 2002 | innerorts | k.A.       | 789,35          | g/km    | 9,14            | g/km    | 0,36     | g/km    | -                  | g/km    |

Tab. 3: Zusammenfassung der direkten Emissionsfaktoren aus dem Fahrzeugbetrieb lt. Studie Umweltbundesamt AUT – Emissionsfaktoren für die OLI

### Wie wurden die Emissionswerte der Studie erhoben?

Die in Tab. 3 aufgelisteten Emissionsfaktoren sind auf den Primärenergieeinsatz bezogene Durchschnittswerte und wurden über alle Emissionsquellen, Betriebsweisen, Fahrerverhalten, Brennstoffeigenschaften sowie andere mögliche variablen Größen innerhalb der eingesetzten Technologien gewichtet.<sup>8</sup> Außerdem wurde keine Unterscheidung der einzelnen Antriebsarten durchgeführt. Alle in der Studie angeführten Emissionswerte stammen aus einer frühen Version des Handbuchs für Emissionsfaktoren, kurz HBEFA, das in Kapitel 3.7 erläutert wird. Für diese Studie wurden die PKW-Emissionswerte aus dem HBEFA über die Flottenzusammensetzung und der alters bzw. hubraumabhängigen spezifischen Jahresfahrleistung nach den Fahrleistungsanteilen von acht Baujahrklassen, die in jeweils drei Hubraumklassen unterteilt wurden, gewichtet. Die Werte der leichten und schweren Nutzfahrzeuge beziehen sich auf die aus fünf Baujahrklassen bestandsgewichteten Mittelwerte und die Werte der Kleinkraftträder und Motorräder auf die bestandsgewichteten Mittelwerte von 2- und 4- Taktmotoren<sup>9</sup>

Anzumerken ist auch, dass die bei einem Kalt-oder Kühlstart entstehenden Emissionen sowie vorhandene Verdunstungsemissionen nicht in den Berechnungen miteinbezogen wurden. Die Emissionsfaktoren wurden also für den warmen Betriebszustand und auf ebener Fahrbahn erhoben. Dennoch werden in der Studie Startzuschläge für die Verkehrsmittel PKW, Lieferwagen und LNF in Emissionsgramm pro Startvorgang (Abb. 5) angegeben. Da in der Studie keine anderen Lebenswegabschnitte außer der des Fahrzeugbetriebs behandelt werden, wurden neben dem HBEFA keine anderen Datenbanken verwendet. Wie die Emissionswerte des Fahrzeugbetriebs im HBEFA berechnet werden, wird auch in den Kapiteln 3.7 und 3.8 erklärt.

<sup>8</sup> Vgl. Studie Umweltbundesamt AUT – Emissionsfaktoren für die OLI (2004) S. 5

<sup>9</sup> Vgl. Studie Umweltbundesamt AUT – Emissionsfaktoren für die OLI (2004) S. 19



| Fahrzeugart | CO      | CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | NO <sub>x</sub> | Part    | SO <sub>2</sub> |
|-------------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|-----------------|
|             | g/Start | g/Start         | g/Start         | g/Start         | g/Start | g/Start         |
| PKW         | 13.52   | 118.11          | 0.06            | 0.53            | 0.04    | 0.02            |
| LI/LNF      | 5.82    | 199.48          | 0.04            | 0.57            | 0.19    | 0.06            |

Abb. 5: Startzuschläge für PKW, Lieferwagen und LNF für das Jahr 2002 (Q.: Umweltbundesamt AUT – Emissionsfaktoren für die OLI (2004) + HBEFA Version 1.1)

### 3.1.4 Emissionswerte für Verkehrsmittel – Umweltbundesamt Österreich

Mit dem im Jahr 2020 erschienenen Artikel „Emissionswerte für Verkehrsmittel“ vom Umweltbundesamt Österreich wurden konkrete Aussagen zu den Umweltauswirkungen verschiedener Verkehrsmittel anhand deren Emissionsfaktoren getroffen. Es wurden dabei in tabellarischer Form die Einsparungspotentiale diverser Verkehrsträger aufgezeigt. Mit der Hilfe von Mag. David Fritz vom Umweltbundesamt Österreich konnte die angewandte Methodik aufgeschlüsselt werden.

#### Darstellung der Ergebnisse

In der dem Artikel angehängten Tabelle werden die Emissionsfaktoren der einzelnen Fahrzeuge in direkte und indirekte Emissionen gegliedert. Zusätzlich wurde auch eine Unterteilung nach Treibstoffart durchgeführt. Neben der genannten Unterteilung wurde in diesem Artikel zusätzlich in Personen- und Güterverkehr unterschieden und die Werte direkt als Emissionsfaktoren in den Einheiten [g/Pkm] bzw. [g/Tkm] publiziert. Es wurden die Daten zum Treibhausgaspotential, CO<sub>2</sub>-Emission, Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) und Feinstaubpartikeln (PM<sub>10</sub>) veröffentlicht.

| Verkehrsmittel                           | Jahr | Distanz  | Treibstoff           | CO <sub>2</sub> | Einheit | NO <sub>x</sub> | Einheit | PM <sub>10</sub> | Einheit | Co <sub>2</sub> eq | Einheit |
|------------------------------------------|------|----------|----------------------|-----------------|---------|-----------------|---------|------------------|---------|--------------------|---------|
| PKW                                      | 2018 | k.A.     | Benzin               | 219,8           | g/Pkm   | 0,27            | g/Pkm   | 0,028            | g/Pkm   | 226,8              | g/Pkm   |
| PKW                                      | 2018 | k.A.     | Diesel               | 204,5           | g/Pkm   | 0,9             | g/Pkm   | 0,032            | g/Pkm   | 213,3              | g/Pkm   |
| PKW (Ö. Stromaufbringung inkl. Importen) | 2018 | k.A.     | Elektro              | 77,9            | g/Pkm   | 0,12            | g/Pkm   | 0,017            | g/Pkm   | 83,4               | g/Pkm   |
| Reisebus                                 | 2018 | k.A.     | Diesel               | 47,7            | g/Pkm   | 0,15            | g/Pkm   | 0,005            | g/Pkm   | 49,5               | g/Pkm   |
| Linienbus                                | 2018 | k.A.     | Diesel inkl. Elektro | 53,4            | g/Pkm   | 0,17            | g/Pkm   | 0,007            | g/Pkm   | 55,4               | g/Pkm   |
| LNF                                      | 2018 | k.A.     | Diesel               | 862             | g/Tkm   | 4,42            | g/Tkm   | 0,155            | g/Tkm   | 896,1              | g/Tkm   |
| SNF < 18t                                | 2018 | k.A.     | Diesel               | 362,5           | g/Tkm   | 1,39            | g/Tkm   | 0,040            | g/Tkm   | 378,5              | g/Tkm   |
| SNF > 18t                                | 2018 | k.A.     | Diesel               | 143,9           | g/Tkm   | 0,49            | g/Tkm   | 0,016            | g/Tkm   | 149,5              | g/Tkm   |
| LKW ab 3,5t - 40t                        | 2018 | k.A.     | Diesel               | 86,3            | g/Tkm   | 0,21            | g/Tkm   | 0,008            | g/Tkm   | 89,7               | g/Tkm   |
| Sattelzug                                | 2018 | k.A.     | Diesel               | 66,4            | g/Tkm   | 0,12            | g/Tkm   | 0,006            | g/Tkm   | 68,9               | g/Tkm   |
| Bahn Personenverkehr                     | 2018 | k.A.     | k.A.                 | 7,7             | g/Pkm   | 0,11            | g/Pkm   | 0,005            | g/Pkm   | 8,1                | g/Pkm   |
| Bahn Güterverkehr                        | 2018 | k.A.     | k.A.                 | 3,3             | g/Tkm   | 0,05            | g/Tkm   | 0,002            | g/Tkm   | 3,5                | g/Tkm   |
| Flugzeug                                 | 2018 | national | k.A.                 | 365,8           | g/Pkm   | 1,27            | g/Pkm   | 0,122            | g/Pkm   | 887,7              | g/Pkm   |
| Flugzeug                                 | 2018 | intern.  | k.A.                 | 172,3           | g/Pkm   | 0,79            | g/Pkm   | 0,056            | g/Pkm   | 417,8              | g/Pkm   |

Tab. 4: Zusammenfassung der Emissionsfaktoren aus Betrieb + Vorprozessen lt. Publikation Umweltbundesamt AUT – Emissionswerte für Verkehrsmittel

In dieser Veröffentlichung wurden neben den Emissionswerten auch die zur Erhebung erforderlichen Besetzungs- sowie Auslastungsgrade der Fahrzeugklassen dargestellt. Abb. 6 zeigt, dass im Personenverkehr von Besetzungsgraden und im Güterverkehr von Auslastungsgraden gesprochen wird. Da in den anderen beschriebenen Publikationen keine Auslastungs- bzw. Besetzungsgrade veröffentlicht wurden, wird an dieser Stelle eine der Herausforderungen deutlich, wenn verschiedene Emissionswertstudien verglichen werden.

#### Wie wurden die Emissionswerte der Studie erhoben?

Die Emissionswerte aus dem Fahrzeugbetrieb wurden unter Berücksichtigung der in Abb. 6 ausgewählten Werte aus der Österreichischen Luftschadstoffinventur (OLI) abgelesen. Dabei wurden über den gesamten in Österreich verbrauchten Treibstoff, der Verkehrsleistung der verschiedenen Fahrzeuge und der aus Messungen bekannten Emissionen die direkten Emissionen abgeleitet.

Die indirekten Emissionswerte, die aufgrund der verbrauchten Energie und Materialien bei der Fahrzeugherstellung, der Energiebereitstellung, der Infrastrukturherstellung, sowie der Entsorgung des Verkehrsmittels entstehen, wurden mit der Datenbank von GEMIS Österreich nachmodelliert. Diese wird in Kapitel 3.5 vorgestellt. In den veröffentlichten Daten wird darauf hingewiesen, dass in den Feinstaubpartikeln die Anteile aus Aufwirbelung sowie Reifen- und Bremsabrieb nicht berücksichtigt werden.

| Besetzungsgrade 2018                             | in Personen |
|--------------------------------------------------|-------------|
| PKW*                                             | 1,15        |
| Reisebus*                                        | 18,80       |
| Linienbus/Reisebus*                              | 18,80       |
| Personenverkehr Schiene ÖBB                      | 110,00      |
| Flugzeug Personen Durchschnitt national*         | 29,81       |
| Flugzeug Personen Durchschnitt international*    | 96,62       |
| Flugzeug Personen (Durchschnitt inter+national)* | 95,61       |

| Auslastungsgrade 2018                      | in Tonnen |
|--------------------------------------------|-----------|
| LKW LNF (< 3,5t) (D)*                      | 0,33      |
| LKW SNF (< 18 t)*                          | 1,58      |
| LKW SNF (> 18 t)*                          | 6,56      |
| Sattelzüge (40 t)*                         | 15,44     |
| Durchschnitt LKW SNF (> = 3,5t - 40t) B+D* | 10,35     |
| Güterverkehr Schiene ÖBB                   | 531,0     |

Abb. 6: verwendete Besetzungs- und Auslastungsgrade zur Emissionserhebung (Q.: Umweltbundesamt Österreich - Emissionsfaktoren für Verkehrsmittel)

Für die Emissionswerte des PKWs wurden die Daten bezogen auf ein „VW Golf-großes“ Fahrzeug abgeschätzt und über alle Hubraumklassen ein Durchschnittswert gebildet. Die Werte für leichte und schwere Nutzfahrzeuge wurden mit einem betriebswarmen Motor und durchschnittlicher Verkehrssituation bestimmt. Eine durchschnittliche Verkehrssituation wird in dieser Veröffentlichung mit einer Mittelung der Daten aus Autobahn, „außerorts“, „innerorts“, Straßenlängsneigungen sowie Verkehrsfluss definiert und die Lebensdauer wurde für alle Straßenfahrzeuge mit 15 Jahren gewählt. Für den Bahnbetrieb wurde für die Emissionswerterhebung beim Personenverkehr ein Kraftstoffmix von 14% Diesel und 86% elektrisch und beim Güterverkehr ein Kraftstoffmix von 4% Diesel und 96% elektrisch verwendet. Die Daten für die Schienenfahrzeuge wurden von den Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) aus dem Geschäftsjahr 2018 erhoben.

### 3.1.5 CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke im Alltagsverkehr – Umweltbundesamt Deutschland

Die Studie „CO<sub>2</sub> Fußabdrücke im Alltagsverkehr“ basiert auf den Ergebnissen verschiedener Verkehrserhebungen der Studie „Mobilität in Deutschland“ und zeigt Ursachen im täglichen Verkehr, denen ein besonders schwerwiegender Einfluss in den CO<sub>2</sub>-Emissionen zuzurechnen ist. Ziel der Datenerhebung war, politische Maßnahmen in Zukunft zielgerichteter einzusetzen, den Mitteleinsatz effizienter zu gestalten und die Verursacher von auffällig hohen Emissionen im Verkehrssektor zu bestimmen.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Vgl. Studie Umweltbundesamt DE – CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke im Alltagsverkehr (2020) S. 5

### Darstellung der Ergebnisse

In dieser Veröffentlichung wurden von verschiedenen Verkehrsträgern im Personenverkehr sowie Güterverkehr nur die CO<sub>2</sub>-Emissionen ermittelt und in den Jahren 2002, 2008 und 2017 dargestellt. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen wurden dabei gleich wie in den anderen Studien in direkte und indirekte Emissionen unterteilt und in [g/Pkm] bzw. [g/Tkm] abgebildet. Zudem wurden die berechneten Werte gezielt nach der Treibstoffart klassifiziert und diesbezüglich vergleichbar gemacht.

| Verkehrsmittel      | Jahr | Distanz    | Treibstoff | CO <sub>2</sub> | Einheit | NOx | Einheit | PM10 | Einheit | Co2eq | Einheit |
|---------------------|------|------------|------------|-----------------|---------|-----|---------|------|---------|-------|---------|
| PKW                 | 2017 | k.A.       | Benzin     | 145,67          | g/Pkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| PKW                 | 2017 | k.A.       | Diesel     | 145,39          | g/Pkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| PKW                 | 2017 | k.A.       | Elektro    | 78,54           | g/Pkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| Pedelec             | 2017 | k.A.       | Elektro    | 3,64            | g/Pkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| Kleinkraftträder    | 2017 | k.A.       | Benzin     | 67,79           | g/Pkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| Kleinkraftträder    | 2017 | k.A.       | Elektro    | 13,33           | g/Pkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| Kraftträder         | 2017 | k.A.       | Benzin     | 142,56          | g/Pkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| Kraftträder         | 2017 | k.A.       | Elektro    | 41,5            | g/Pkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| Fernlinienbus >18t  | 2017 | k.A.       | Diesel     | 25,93           | g/Pkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| Fernlinienbus >18t  | 2017 | k.A.       | Elektro    | 22,68           | g/Pkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| Linienbus >18t      | 2017 | k.A.       | Diesel     | 74,86           | g/Pkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| Linienbus >18t      | 2017 | k.A.       | Elektro    | 64,15           | g/Pkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| LNF                 | 2017 | k.A.       | Benzin     | 254,81          | g/Tkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| LNF                 | 2017 | k.A.       | Diesel     | 306,96          | g/Tkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| LNF                 | 2017 | k.A.       | Elektro    | 194,02          | g/Tkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| LKW ab 3,5t         | 2017 | k.A.       | Diesel     | 652,21          | g/Tkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| LKW ab 3,5t         | 2017 | k.A.       | Elektro    | 385,26          | g/Tkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| Lastzüge            | 2017 | k.A.       | Diesel     | 969,82          | g/Tkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| Lastzüge            | 2017 | k.A.       | Elektro    | 937,73          | g/Tkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| Sattelzug           | 2017 | k.A.       | Diesel     | 992,59          | g/Tkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| Bahn Personenerkehr | 2017 | NV         | Diesel     | 83,45           | g/Pkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| Bahn Personenerkehr | 2017 | NV         | Elektro    | 47,08           | g/Pkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| Bahn Personenerkehr | 2017 | FV         | Diesel     | 50,21           | g/Pkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| Bahn Personenerkehr | 2017 | FV         | Elektro    | 30,56           | g/Pkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| Straßenbahn         | 2017 | k.A.       | Elektro    | 59,52           | g/Pkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| U-Bahn              | 2017 | k.A.       | Elektro    | 47,76           | g/Pkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| Flugzeug national   | 2017 | <500km     | Flugbenzin | 2894,41         | g/Pkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| Flugzeug national   | 2017 | <500km     | Kerosin    | 235,74          | g/Pkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| Flugzeug national   | 2017 | 500-1000km | Flugbenzin | 611,15          | g/Pkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |
| Flugzeug national   | 2017 | 500-1000km | Kerosin    | 169,99          | g/Pkm   | -   | -       | -    | -       | -     | -       |

Tab. 5: Zusammenfassung der Emissionsfaktoren aus Betrieb + Vorprozessen lt. Publikation Umweltbundesamt DE – CO<sub>2</sub> Fußabdruck im Alltagsverkehr

### Wie wurden die Emissionswerte der Studie erhoben?

Die in Tab. 5 aufgelisteten Werte wurden auf Grundlage der Studie Mobilität in Deutschland (MiD) und der Emissionsberechnungssoftware TREMOD ermittelt. Dabei wurden vor allem die Daten zu zurückgelegten Wegen, Anwendungsangewohnheiten, Haushaltssituationen, das Mobilitätsverhalten und Auslastungs- sowie Besetzungsgrade aus der MiD-Publikation entnommen. Diese Daten wurden in einem zweistufigen Verfahren mittels umfangreichen Befragungen von 156.240 Haushalten in Kombination mit Stichtagserhebungen bestimmt. In den Befragungen wurde der an einem definierten Tag zurückgelegte Weg, die Start- und Endzeit, der Grund der Fahrt, die Anzahl und die Art der genutzten Verkehrsträger sowie die Anzahl der Fahrgäste festgehalten.<sup>11</sup>

Beim Berechnungsmodell TREMOD wurde die Version 6.03 aus dem Jahr 2020 verwendet und dabei die durch den Verkehr im Inland entstehenden Emissionen abgebildet. Das Modell hinter TREMOD wird in Kapitel 3.6 erklärt. Aufgrund der nicht vorhandenen Erfassung der unterschied-

<sup>11</sup> Vgl. Studie Umweltbundesamt DE – CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke im Alltagsverkehr (2020) S. 11

lichen PKW Eigenschaften in der MiD-Studie von 2017 wurden diese in der Emissionswertberechnung mit Zu- bzw. Abschlägen berücksichtigt. Diese Zu- bzw. Abschläge stützen sich auf dem in den Umfragen angegeben ökonomischen Haushaltsstatus der Fahrzeughalter und sollen so die angenommene PKW-Größe inklusive Motorisierungsgrad und Hubraum repräsentieren. Fahrzeuge aus Haushalten mit höherem wirtschaftlichem Status werden in der Emissionsberechnung mit einem Aufschlag von 10% und Haushalte mit niedrigem wirtschaftlichem Status mit 10% Abschlag auf die CO<sub>2</sub>-Emission pro Kilometer versehen. Auch bei den öffentlichen Verkehrsmitteln wurden Auf- und Abschläge von 10% angewendet und so die täglichen Haupt- und Nebenverkehrszeiten in die Berechnungen miteinbezogen.

Da aufgrund mangelnder Daten in der MiD-Studie die unterschiedlichen Antriebsarten sowie andere Fahrzeugeigenschaften nicht detailliert abgebildet wurden, wurden für die Verkehrsmittel PKW, Kleinkrafträder, Krafträder, Fernlinienbusse, Linienbusse, sonstige Reisebusse und die verschiedenen LKW-Klassen Flottenmittelwerte errechnet. Gleiches wurde für die Schienenfahrzeuge durchgeführt. Für die Gewichtung der Flottenmittelwerte wurde die Verkehrsleistung der Fahrzeuge verwendet. Der Flottenmittelwert wurde in der Publikation mit dem Quotient aus der Summe der Produkte aus Verkehrsaufwand plus dem verkehrsmittelspezifischem Emissionswert und der Gesamtsumme der Verkehrsleistung über alle Antriebsarten einer Flotte definiert.<sup>12</sup>

### **3.1.6 Emissionsdaten mit Bezugsjahr 2019 – Umweltbundesamt Deutschland**

Im folgenden Abschnitt wird auf einen Artikel des Umweltbundesamt Deutschlands eingegangen, in dem verschiedene Emissionsdaten gegenübergestellt wurden. Der im Jahr 2020 erschienene Artikel modelliert die Emissionswerte mittels HBEFA sowie dem Berechnungsmodell TREMOD und gliedert die Fahrzeuge in die Verkehrsgruppen Personen- und Güterverkehr.

#### **Darstellung der Ergebnisse**

Im Artikel wurden die Daten zum Treibhauspotential (CO<sub>2</sub>eq), Kohlenmonoxid (CO), flüchtige Kohlenwasserstoffe (VOC), Stickoxide (NO<sub>x</sub>) und Feinstaubpartikel (PM<sub>10</sub>) veröffentlicht. Mit dem Treibhauspotential wurden die Treibhausgasschadstoffe von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) zusammengefasst. Eine Unterscheidung der Emissionswerte für den Fern- und Nahverkehr wurde nur für die Bahn durchgeführt. Da zur Treibstoffart der Verkehrsträger keine Angaben vorhanden sind, wird davon ausgegangen, dass die Werte in dieser Publikation gemittelt wurden.

---

<sup>12</sup> Vgl. Studie Umweltbundesamt DE – CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke im Alltagsverkehr (2020) S. 37



| Verkehrsmittel       | Jahr | Distanz  | Treibstoff | CO <sub>2</sub> | Einheit | NO <sub>x</sub> | Einheit | PM <sub>10</sub> | Einheit | Co <sub>2</sub> eq | Einheit |
|----------------------|------|----------|------------|-----------------|---------|-----------------|---------|------------------|---------|--------------------|---------|
| PKW                  | 2019 | k.A.     | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,39            | g/Pkm   | 0,006            | g/Pkm   | 143                | g/Pkm   |
| sonstige Reisebus    | 2019 | k.A.     | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,12            | g/Pkm   | 0,002            | g/Pkm   | 32                 | g/Pkm   |
| Linienbus            | 2019 | FV       | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,05            | g/Pkm   | 0,001            | g/Pkm   | 29                 | g/Pkm   |
| Linienbus            | 2019 | NV       | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,29            | g/Pkm   | 0,005            | g/Pkm   | 80                 | g/Pkm   |
| LKW ab 3,5t          | 2019 | k.A.     | k.A.       | -               | g/Tkm   | 0,244           | g/Tkm   | 0,006            | g/Tkm   | 111                | g/Tkm   |
| Lastzüge             | 2019 | k.A.     | k.A.       | -               | g/Tkm   | 0,244           | g/Tkm   | 0,006            | g/Tkm   | 111                | g/Tkm   |
| Sattelzug            | 2019 | k.A.     | k.A.       | -               | g/Tkm   | 0,244           | g/Tkm   | 0,006            | g/Tkm   | 111                | g/Tkm   |
| Bahn Personenverkehr | 2019 | FV       | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,03            | g/Pkm   | 0,001            | g/Pkm   | 29                 | g/Pkm   |
| Bahn Personenverkehr | 2019 | NV       | k.A.       | -               | g/Tkm   | 0,19            | g/Tkm   | 0,004            | g/Tkm   | 55                 | g/Tkm   |
| Bahn Güterverkehr    | 2019 | k.A.     | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,026           | g/Pkm   | 0,001            | g/Pkm   | 17                 | g/Pkm   |
| Stadtbahn            | 2019 | k.A.     | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,05            | g/Pkm   | 0,002            | g/Pkm   | 55                 | g/Pkm   |
| Straßenbahn          | 2019 | k.A.     | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,05            | g/Pkm   | 0,002            | g/Pkm   | 55                 | g/Pkm   |
| U-Bahn               | 2019 | k.A.     | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,05            | g/Pkm   | 0,002            | g/Pkm   | 55                 | g/Pkm   |
| Flugzeug             | 2019 | national | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,98            | g/Pkm   | 0,011            | g/Pkm   | 214                | g/Pkm   |
| Binnenschiff         | 2019 | k.A.     | k.A.       | -               | g/Tkm   | 0,382           | g/Tkm   | 0,009            | g/Tkm   | 30                 | g/Tkm   |

Tab. 6: Zusammenfassung der Emissionsfaktoren aus Betrieb + Energiebereitstellung/-umwandlung lt. Publikation Umweltbundesamt DE – Emissionsdaten mit Bezugsjahr 2019

In der Publikation wird außerdem erwähnt, dass nur die Emissionswerte aus dem direkten Fahrzeugbetrieb und der Bereitstellung und Umwandlung der Energieträger in Strom, Benzin, Diesel und Kerosin berücksichtigt wurden. Die Emissionen aus der Infrastruktur- und Fahrzeugherstellung wurden also nicht berücksichtigt, was eine Vergleichbarkeit der Werte wiederum erschwert.

#### Wie wurden die Emissionswerte der Studie erhoben?

Die angeführten Daten basieren auf der Datenbank des HBEFA 4.1 und der Emissionsberechnungssoftware TREMOD in der Version 6.14. Zusätzlich zu den Werten der Treibhausgas- und Luftschadstoffe, wurden für den Personenverkehr auch die verwendeten Auslastungsgrade veröffentlicht. Für den PKW wurden 1,5 Personen pro Fahrzeug angesetzt. Die Auslastungsgrade wurden in der Berechnung für das Flugzeug (national) mit 70%, für die Eisenbahn (Fernverkehr) mit 56%, für die Eisenbahn (Nahverkehr) mit 28%, für den Linienbus (Fernverkehr) mit 55%, für Linienbusse (Nahverkehr) mit 19%, für sonstige Reisebusse mit 64% und für Straßen-, Stadt- und U-Bahnen auch mit 19% angesetzt.

Für die Emissionsfaktoren des Bahnverkehrs wurde ein Durchschnittswert des deutschen Strom-Mixes laut der Deutschen Bahn AG und kein unternehmens- bzw. sektorbezogener Strombezug herangenommen. Die Feinstaubemissionen wurden ohne Abrieb von Reifen, Straßenbelag, Bremsen oder Oberleitungen ermittelt.

#### 3.1.7 Bestandsaufnahme zu den Auswirkungen von Fernbusreisen auf die Verkehrsentwicklung und Emissionen in Deutschland – Umweltbundesamt Deutschland 2018

In diesem Teilbericht des Projekts „Ökonomischer Vergleich der Verkehrsträger“ vom Umweltbundesamt Deutschland wurden die verkehrlichen Auswirkungen des mittlerweile stark verbreiteten Fernverkehrsmittels „Fernbus“ mit den Auswirkungen von anderen personenbefördernden Verkehrsträgern verglichen. Da laut dieser Studie die klimawirksamen Auswirkungen und die einhergehenden Emissionsbilanzen des Fernbusses bis dato noch nicht in detailiertem Umfang erfasst wurden, wurde besonderes Augenmerk auf deren Berechnung gelegt.

Im Rahmen dieser Publikation wurden die Emissionswerte zu den Treibhausgasluftschadstoffen Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Lachgas (N<sub>2</sub>O) in CO<sub>2</sub>eq zusammengefasst und zusätzlich die Daten zu Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe ohne Methan (NMHC), Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) und Feinstaubpartikeln (PM<sub>2.5</sub>) mit einem Partikelkorndurchmesser bis zu 2,5 µm, veröffentlicht. Im



Folgenden werden jedoch nur die Werte zu den Treibhausgasen (CO<sub>2</sub>eq), Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) und Feinstaubpartikeln (PM<sub>2.5</sub>) aufgelistet.

### Darstellung der Ergebnisse

Die Emissionswerte wurden in dieser Studie nur für einzelne personenbefördernde Verkehrsträger modelliert und in drei Distanzklassen gegliedert. Um die Daten sinnvoll mit denen des Fernbusses vergleichen zu können, wurden die Distanzklassen mit 200 km, 400 km und 600 km gewählt. Die Werte wurden in g bzw. kg pro 200 km, 400 km oder 600 km Fahrt veröffentlicht und für diese Abschlussarbeit anschließend auf den Emissionsfaktor [g/Pkm] zurückgerechnet, was eine einfachere Vergleichbarkeit mit den anderen Studien ermöglicht. Neben der eigentlichen Hauptfahrt des Fernbusses wurden auch die Emissionsanteile aus der Anfahrt und Weiterfahrt am Ausstiegsort in der Berechnung berücksichtigt.<sup>13</sup>

| Verkehrsmittel       | Jahr | Distanz | Treibstoff | CO <sub>2</sub> | Einheit | NO <sub>x</sub> | Einheit | PM <sub>2.5</sub> | Einheit | Co <sub>2</sub> eq | Einheit |
|----------------------|------|---------|------------|-----------------|---------|-----------------|---------|-------------------|---------|--------------------|---------|
| PKW (Fahrer alleine) | 2018 | 200 km  | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,54            | g/Pkm   | 0,008             | g/Pkm   | 215                | g/Pkm   |
| PKW (Fahrer alleine) | 2018 | 400 km  | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,54            | g/Pkm   | 0,008             | g/Pkm   | 212,5              | g/Pkm   |
| PKW (Fahrer alleine) | 2018 | 600 km  | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,54            | g/Pkm   | 0,008             | g/Pkm   | 213,33             | g/Pkm   |
| PKW (als Mitfahrer)  | 2018 | 200 km  | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,27            | g/Pkm   | 0,004             | g/Pkm   | 105                | g/Pkm   |
| PKW (als Mitfahrer)  | 2018 | 400 km  | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,27            | g/Pkm   | 0,004             | g/Pkm   | 107,5              | g/Pkm   |
| PKW (als Mitfahrer)  | 2018 | 600 km  | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,27            | g/Pkm   | 0,004             | g/Pkm   | 106,67             | g/Pkm   |
| Fernlinienbus        | 2018 | 200 km  | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,065           | g/Pkm   | 0,002             | g/Pkm   | 45                 | g/Pkm   |
| Fernlinienbus        | 2018 | 400 km  | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,0575          | g/Pkm   | 0,002             | g/Pkm   | 37,5               | g/Pkm   |
| Fernlinienbus        | 2018 | 600 km  | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,055           | g/Pkm   | 0,002             | g/Pkm   | 33,33              | g/Pkm   |
| Regionalzug          | 2018 | 200 km  | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,22            | g/Pkm   | 0,002             | g/Pkm   | 75                 | g/Pkm   |
| Regionalzug          | 2018 | 400 km  | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,215           | g/Pkm   | 0,002             | g/Pkm   | 72,5               | g/Pkm   |
| Regionalzug          | 2018 | 600 km  | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,212           | g/Pkm   | 0,002             | g/Pkm   | 70                 | g/Pkm   |
| Fernzug              | 2018 | 200 km  | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,08            | g/Pkm   | 0                 | g/Pkm   | 55                 | g/Pkm   |
| Fernzug              | 2018 | 400 km  | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,07            | g/Pkm   | 0                 | g/Pkm   | 50                 | g/Pkm   |
| Fernzug              | 2018 | 600 km  | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,067           | g/Pkm   | 0                 | g/Pkm   | 46,67              | g/Pkm   |
| Flugzeug national    | 2018 | 200 km  | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,064           | g/Pkm   | 0,003             | g/Pkm   | 280                | g/Pkm   |
| Flugzeug national    | 2018 | 400 km  | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,593           | g/Pkm   | 0,0028            | g/Pkm   | 245                | g/Pkm   |
| Flugzeug national    | 2018 | 600 km  | k.A.       | -               | g/Pkm   | 0,578           | g/Pkm   | 0,0053            | g/Pkm   | 233,33             | g/Pkm   |

Tab. 7: Zusammenfassung der Emissionsfaktoren aus Betrieb + Vorprozessen lt. Publikation Umweltbundesamt DE – Emissionsdaten mit Bezugsjahr 2019

Für die Erhebung der Emissionswerte wurde eine Well-to-Wheel Betrachtung durchgeführt. Dies bedeutet, dass die Schadstoffwerte aus der Energiebereitstellung (=Well-to-Tank) und der Betriebsphase (Tank-to-Wheel) zusammengeführt und die Anteile aus der Wartung, Unterhalt, Herstellung und Entsorgung der Verkehrsmittel nicht berücksichtigt wurden.<sup>14</sup>

### Wie wurden die Emissionswerte der Studie erhoben?

Für die Betriebsphase des Fernbusses wurden die Emissionswerte nach dem Bustyp aus dem HBEFA (Version 3.3) entnommen, wobei als Verkehrssituation nur die Fahrt auf der Autobahn berücksichtigt wurde. Begründet wird dies mit der mehrheitlich auf der Autobahn erbrachten Fahrleistung der Fernbusse.<sup>15</sup> Ausgangspunkt für die Emissionswertberechnung der Fernbusse war eine Flottenbildung über deren zuvor ermittelten Schadstoffklassen. Die Schadstoffklassen wurden über Stichproben gemäß „Fernbus-Galerie (2015)“ und eigenen Berechnungen erhoben und verteilen sich für das Jahr 2015 gemäß Abb. 7.

<sup>13</sup> Vgl. Studie Umweltbundesamt DE – Ökonomischer Vergleich der Verkehrsträger – Fernbusse (2018) S. 47

<sup>14</sup> Vgl. Studie Umweltbundesamt DE – Ökonomischer Vergleich der Verkehrsträger – Fernbusse (2018) S. 47

<sup>15</sup> Vgl. Studie Umweltbundesamt DE – Ökonomischer Vergleich der Verkehrsträger – Fernbusse (2018) S. 48

|                                   | EURO 0 | EURO I | EURO II | EURO III | EURO IV | EURO V | EURO VI | Total |
|-----------------------------------|--------|--------|---------|----------|---------|--------|---------|-------|
| Modell<br>(Ende 2015)             | 0,0 %  | 0,2 %  | 0,7 %   | 3 %      | 5 %     | 15 %   | 76 %    | 100 % |
| Stichprobe<br>(Ende März<br>2015) | 0 %    | 0 %    | 0 %     | 2 %      | 7 %     | 13 %   | 78 %    | 100 % |

Abb. 7: Verteilung der Schadstoffklassen für Fernbusse (Q.: Ökonomischer Vergleich der Verkehrsträger: Teilbericht Fernbusse – Umweltbundesamt DE)

In der EU-Abgasnorm werden schadstoffarme Fahrzeuge in die Schadstoffklassen 1-6 eingeteilt, wobei den niedrigsten Schadstoffausstoß die Schadstoffklasse 6 hat. Außerdem wurden die Emissionsfaktoren der unterschiedlichen Bustypen (Standard vs. 3-Achser) entsprechend der spezifischen Emissionsanteile, für die in der anschließend verwendeten Gesamtflotte, gewichtet.

Die Treibhausgas- und Luftschadstoffe, die durch die Energiebereitstellung für die Fernbusse (Herstellung von Diesel) entstehen, stützen sich auf die Ökobilanzdatenbank von ecoinvent (ETH Zürich 2008).<sup>16</sup> Für die Emissionen der Verkehrsträger Regionalzug, Fernzug, PKW und Flugzeug, die beim Fahrzeugbetrieb und in der Energiebereitstellung entstehen, wurde die Version 5.63 vom Berechnungsmodell TREMOD verwendet. Da die Höhe der Auslastung eines Fernbusses zu den Betriebsgeheimnissen der Busbetreiber gehört<sup>17</sup>, wurde die Auslastung über Fahrgastbefragungen distanzgewichtet mit 59% festgelegt. Dieser Wert unterscheidet sich jedoch maßgeblich nach Busunternehmen, Wochentag und Fahrtrichtung. Für die anderen im Vergleich angeführten Verkehrsmittel wurden die Auslastungsgrade nach den Daten von Statista (2016), Reim (2012), Destatis (2014,2015) und BDL (2014,2013) ermittelt. Beim PKW wurde für die Emissionsdatenmodellierung eine durchschnittliche Auslastung von 33%, bei der Straßenbahn 18%, beim Linienebus im ÖPV (öffentlicher Personenverkehr) 21%, beim Regionalzug 27%, beim Flugverkehr 68% und beim Fernverkehrszug 50% angesetzt.

### 3.2 Relevante Emissionen

Die in den untersuchten Studien veröffentlichten Emissionswerte haben gezeigt, dass der Fokus in der Schadstoffemissionserhebung bei Verkehrsmittel vorrangig auf die Treibhausgas (CO<sub>2</sub>)- und Stickoxidemissionen (NO<sub>x</sub>) sowie Feinstaubpartikel gelegt wird. Sehr häufig werden die unterschiedlichen Treibhausgasemissionskomponenten nach den Faktoren des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) zum Treibhausgaspotential (CO<sub>2</sub>eq) zusammengefasst, wobei hier die Kohlendioxidkomponente (CO<sub>2</sub>), die beim Verbrennen fossiler Brennstoffe entsteht, den größten Anteil trägt und deshalb sehr oft auch nur diese veröffentlicht wird.

CO<sub>2</sub> führt bekanntlich nicht nur zur Erwärmung der Erdoberfläche, sondern auch zu schwerwiegenden Veränderungen der Ozeane und Lebensbedingungen von jeglichen Lebewesen. Die restlichen, bei Verkehrsmitteln entstehenden Einzelkomponenten (Kohlenmonoxid, Lachgas, Methan) des Treibhauspotentials (Abb. 3) werden aufgrund des verhältnismäßig geringen Anteils häufig gar nicht in den Publikationen angeführt. Je nach Verkehrsmittel unterscheidet sich die Klimarelevanz der verschiedenen Luftschadstoffe, da z.B. beim Flugzeug Schwefel- und Stickoxide in großen Flughöhen relevanter sind als beim Straßen- oder Schienenverkehr. Der Ausstoß von Partikeln, Schwefel- und Stickoxiden, Wasserdampf und anderen Emissionen in großen Flughöhen wird für das Flugzeug allgemein als Emission Weighting Factor (EWF) zusammengefasst und in einigen Studien im Treibhauspotential (CO<sub>2</sub>eq) berücksichtigt.<sup>18</sup>

<sup>16</sup> Vgl. Studie Umweltbundesamt DE – Ökonomischer Vergleich der Verkehrsträger – Fernbusse (2018) S. 51

<sup>17</sup> Vgl. Studie Umweltbundesamt DE – Ökonomischer Vergleich der Verkehrsträger – Fernbusse (2018) (BAG 2015) S. 45

<sup>18</sup> Vgl. Studie Umweltbundesamt DE – Ökologische Bewertung von Verkehrsarten (2020), S. 19

Bei den Feinstaubpartikeln werden normalerweise die Daten zu den Partikeln mit einem Durchmesser kleiner gleich  $10\text{ }\mu\text{m}$  (PM<sub>10</sub>) und manchmal auch die Daten zu den Partikeln mit einem Durchmesser kleiner gleich  $2,5\text{ }\mu\text{m}$  (PM<sub>2,5</sub>) angegeben. PM<sub>10</sub> Partikel können bis in den oberen Bereich der Lunge eindringen. PM<sub>2,5</sub> Partikel wurden hingegen schon in den hintersten Bereichen der Atemwege, den Bronchiolen, nachgewiesen. Diese Feinstaubpartikel entstehen zum größten Teil durch Verbrennungsprozesse in Fahrzeugen, Reifen-, Straßen-, Schienen- bzw. Bremsenabrieb und aufgewirbelten Staub. Vor allem die Abgase aus ungefilterten Dieselfahrzeugen tragen einen erheblichen Anteil zur Feinstaubbelastung bei.

### 3.2.1 Direkte Emissionen

Als direkte Emissionen werden jene Emissionen bezeichnet, die beim direkten Fahrzeugbetrieb entstehen und somit auch als „Auspuff-Emissionen“ benannt werden können.<sup>19</sup> Werden die Gesamtemissionen eines Verkehrsmittels betrachtet, machen die direkten Emissionen bei allen Fahrzeugen den größten Anteil aus. Werden nur jene Emissionen erhoben, die in der direkten Nutzungsphase eines Fahrzeugs entstehen, wird von einer sogenannten Tank-To-Wheel (TTW) Betrachtung gesprochen. Diese Betrachtungsweise untersucht also die Wirkungskette von der aufgenommenen Energie (Kraftstoff des Fahrzeugs bzw. elektrische Antriebsenergie), bis zur Umwandlung der aufgenommenen Energie in kinetische Energie beim Fahrzeug.<sup>20</sup>

### 3.2.2 Indirekte Emissionen

Um die Luftschadstoffemissionen sowie die erzeugten Feinstaubpartikel verschiedener Verkehrsmittel ausreichend genau beschreiben zu können, ist es von größter Notwendigkeit, auch den indirekten Emissionsanteil zu erheben. Würde dieser Anteil nicht ermittelt werden, würden in der Emissionsbilanz z.B. das Elektroauto oder das Fahrrad kaum bis gar keine Treibhausgasemissionen etc. erzeugen.

Die indirekten Emissionen setzen sich aus den Emissionen, die bei der Energiebereitstellung, der Infrastrukturherstellung, der Infrastrukturwartung, der Fahrzeugherstellung und der Fahrzeugentsorgung entstehen, zusammen. Hier wird deutlich, dass eine genaue Zuordnung dieser zu den einzelnen Verkehrsmitteln oft sehr schwierig ist, da nicht genau erhoben werden kann, wie viel Emissionsanteil einem z.B. Fahrrad, LKW oder ähnlichem von der Infrastrukturherstellung oder Infrastrukturwartung zugerechnet werden muss. Um dennoch aussagekräftige Werte modellieren zu können, werden unter anderem die Berechnungsmodelle und Datenbanken von TREMOD und GEMIS verwendet. Werden nur jene Emissionen erhoben, die in der Energiebereitstellung für das Fahrzeug entstehen, wird von einer sogenannten Well-to-Tank (WTT) Betrachtung gesprochen. Diese Betrachtungsweise untersucht den Aufwand zur Bereitstellung der Antriebsenergie bei Verkehrsmitteln von der Energiegewinnung bis zur Energiebereitstellung für das Fahrzeug.<sup>21</sup>

Mit Well-to-Wheel wird die gesamte Wirkungskette von der Gewinnung und Aufbereitung der Antriebsenergie für das Fahrzeug bis hin zur Umwandlung dieser in Bewegungsenergie bezeichnet.<sup>22</sup>

---

<sup>19</sup> Vgl. Studie Umweltbundesamt DE – Ökologische Bewertung von Verkehrsarten (2020) S. 162

<sup>20</sup> Vgl. Artikel – [www.wikipedia.org/wiki/Tank-to-Wheel](http://www.wikipedia.org/wiki/Tank-to-Wheel)

<sup>21</sup> Vgl. Artikel – [www.wikipedia.org/wiki/Well-to-Tank](http://www.wikipedia.org/wiki/Well-to-Tank)

<sup>22</sup> Vgl. Artikel – [www.wikipedia.org/wiki/Well-to-Wheel](http://www.wikipedia.org/wiki/Well-to-Wheel)

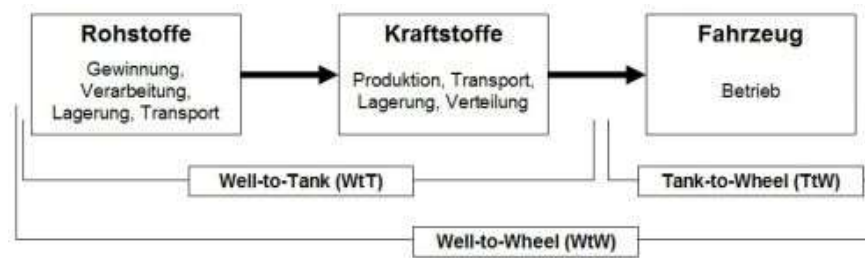


Abb. 8: Darstellung des Well-to-Wheel Gesamtsystems nach BrWa05 S. 11 (Q.: Forschungsinformationssystem DE – Mobilität und Verkehr)

### 3.2.3 Gesamtemissionen

Die Gesamtemissionen bezeichnen somit die Emissionen aus der Well-to-Wheel Betrachtung summiert mit den Emissionen aus Infrastrukturherstellung, -wartung, Fahrzeugherstellung und Fahrzeugentsorgung.

### 3.3 Wie werden Emissionen berechnet?

Wie in den untersuchten Publikationen zu erkennen ist, gibt es für diese Frage keine Pauschalantwort.

Es gibt viele verschiedene Berechnungsmodelle und Softwareansätze, die sich mit der Berechnung von Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen sowie Feinstaubpartikeln auseinandersetzen. Die Berechnung von Emissionswerten ist von einer Vielzahl an Parametern, wie z.B. dem Fahrzeugzustand, dem Infrastrukturzustand, der Verkehrssituation, dem Auslastungsgrad, dem Besetzungsgrad, der Distanzklasse und der Treibstoffart abhängig.

### 3.4 Österreichische Luftschadstoffinventur

In der Österreichische Luftschadstoffinventur (OLI) wird vom Staat Österreich für jedes Kalenderjahr der Ausstoß von Luftschadstoffen ermittelt.<sup>23</sup> Dabei werden die Emissionen nach der Systematik CORINAIR (Core Inventory Air) erhoben. CORINAIR ist ein Programm von der Europäischen Union, das vorgibt, wie in Europa ein Luftschadstoffinventar zusammengestellt wird.<sup>24</sup>

Die OLI greift hierbei auf Emissionswerte zurück, die mit dem Verkehrsmittlemissionsberechnungsmodell NEMO (Network Emission Model (3.8)) nach Anforderungen des IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change) berechnet werden.

### 3.5 GEMIS

Das globale Emissionsmodell integrierter Systeme (GEMIS) ist eine vom Öko-Institut Freiburg entwickelte Software, mit welcher energierelevante Entscheidungen getroffen und die Umweltauswirkungen von verschiedenen Energieträgern sowie fossilen Brenn- und Treibstoffen berechnet werden können.<sup>25</sup> Mit der in GEMIS hinterlegten Datenbank können nicht nur direkte, sondern auch die vollständige Bandbreite an indirekten Emissionswerten von Fahrzeugen und Infrastruk-

<sup>23</sup> Vgl. Artikel – [https://www.parlament.gv.at/PAKT/VHG/XXI/AB/AB\\_03698/fnameorig\\_599194.html](https://www.parlament.gv.at/PAKT/VHG/XXI/AB/AB_03698/fnameorig_599194.html)

<sup>24</sup> Vgl. Artikel – <https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/corinair>

<sup>25</sup> Vgl. Artikel – <https://www.umweltbundesamt.at/angebot/leistungen/angebot-cfp/gemis>



tur erhoben werden. Für die Verhältnisse in Österreich wurde GEMIS vom österreichischen Umweltbundesamt angepasst. Mit GEMIS können sowohl Personen- als auch Güterverkehrsmittel analysiert werden.<sup>26</sup>

### 3.6 TREMOD

Das vom Umweltbundesamt Deutschland in Auftrag gegebene und vom ifeu-Institut entwickelte Berechnungsmodell TREMOD (Transport Emission Model) modelliert die Umweltauswirkungen, Verkehrs- und Fahrleistungen sowie die einhergehenden Energieverbräuche des motorisierten Verkehrs in Deutschland für den Zeitraum von 1960-2018 mit Trendprognosen für das Jahr 2050 und wird seither laufend auf neue Versionen aktualisiert. In TREMOD werden alle in Deutschland benützten Personenverkehrsmittel analysiert, wobei die für die Berechnungen verwendeten Emissionsfaktoren auf dem HBEFA basieren.<sup>27</sup>

### 3.7 HBEFA

Das Handbuch für Emissionsfaktoren ist eine umfangreiche Datenbank für die Emissionsfaktoren der häufigsten Fahrzeugtypen im Personen- sowie Güterverkehr, die ständig erweitert wird. In diesem Handbuch werden gemessene Datensätze zu allen reglementierten (CO, HC, NOx, Partikel) und einigen nicht reglementierten Schadstoffen (NO2, N2O, CH4. etc.) sowie CO2 und Kraftstoffverbrauch veröffentlicht.<sup>28</sup>

In dieser Datenbank werden nicht nur die Datensätze zum normalen betriebswarmen Motor, sondern auch die Emissionswerte zu sogenannten „Kaltstarts“ sowie „Verdunstungsemissionen“ geliefert, welche meist über Zuschläge in Form von Gramm pro Start bestimmt werden. Zudem werden in diesem Handbuch auch noch die Emissionsfaktoren für andere verschiedene Verkehrssituationen, abhängig von Gebietstyp, Straßentyp, Tempolimit und Verkehrszustand abgebildet. Im HBEFA werden insgesamt 276 unterschiedliche Verkehrssituationen abgebildet, was nun eine erschwerte Vergleichbarkeit der verschiedenen Studien erklärt. Alleine für den PKW werden mehr als 100.000 verschiedene Emissionsfaktoren angegeben. Der Detaillierungsgrad des HBEFA geht soweit, dass die Emissionsfaktoren für die unterschiedlichen Verkehrsmittel gesondert für die Länder Deutschland, Österreich, Schweiz, Schweden, Norwegen und Frankreich angeboten werden.<sup>29</sup>

### 3.8 NEMO TU Graz

Das Network Emission Model (NEMO), ist eine von der TU Graz entwickelte Software zur umfassenden Emissionsberechnung für Verkehrsnetze. Dieses Berechnungsmodell kombiniert hierbei eine Modellierung von Flottenzusammensetzungen und Fahrzeugemissionsfaktoren und wird für die Ermittlung der direkten Emissionen bei den Transportsektoren Straße, Schiene und Binnenschifffahrt eingesetzt.<sup>30</sup> Für die Fahrzeugemissionsfaktoren stützt sich dieses Modell auf die Daten aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren.

---

<sup>26</sup> Vgl. Artikel – <http://iinas.org/datenbasis.html>

<sup>27</sup> Vgl. Artikel – <https://www.ifeu.de/projekt/uba-tremod-2019/>

<sup>28</sup> Vgl. Publikation Umweltbundesamt DE – Hintergrundinformationen zum HBEFA für Straßenverkehr (2017) - S. 1

<sup>29</sup> Vgl. Publikation Umweltbundesamt DE – Hintergrundinformationen zum HBEFA für Straßenverkehr (2017) - S. 2

<sup>30</sup> Vgl. Präsentation TU Graz – NEMO, Network Emission Modell (2019) – S. 1

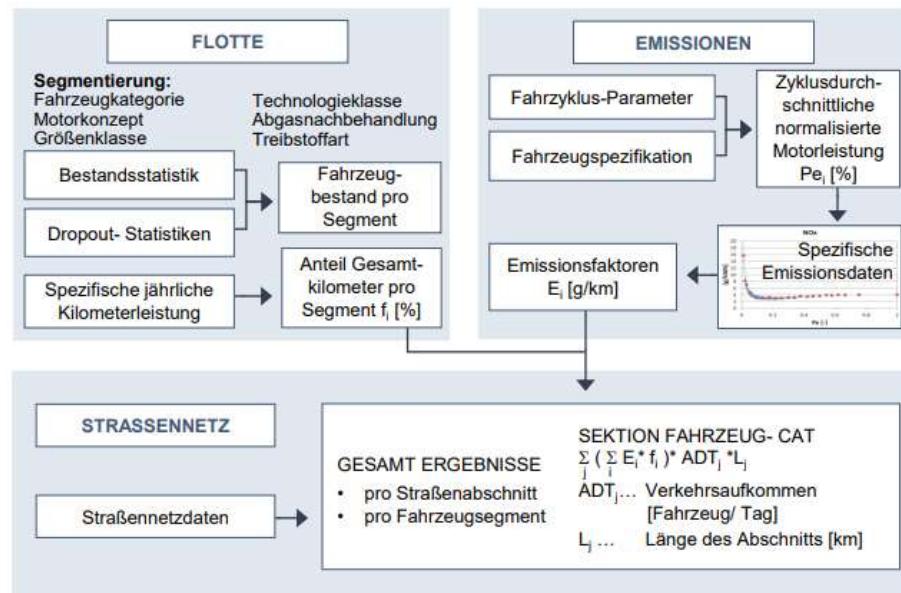


Abb. 9: Modellaufbau von NEMO zur Emissionsberechnung (Q.: Präsentation TU Graz – NEMO, Network Emission Modell (2019))

Abb. 9 demonstriert den Aufbau einer Emissionswertermittlung mit NEMO, mit der die auf die Personen- bzw. Tonnenkilometer bezogen Emissionsfaktoren und totale Emissionen (CO, HC, NOx, Partikel, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) sowie der Energieverbrauch ermittelt werden können.<sup>31</sup>

### 3.9 MOBITOOL Schweiz

Mobitool ist eine in der Schweiz entwickelte Plattform für die Aufbereitung von umweltrelevanten Daten und Mobilitätstools.<sup>32</sup> Auf Mobitool werden mehrere Softwarelösungen und Datenbanken angeboten mit welcher sich, zum Teil auch online, die Emissionswerte verschiedener Fahrzeuge vergleichen lassen. Auf dieser Plattform wurden unter anderem die Emissions- und Umweltwerte von über 150 Verkehrsmitteln zusammengefasst, welche in der Schweiz als de facto Standard für die Ökobilanz und Umweltbewertung vom Verkehrssektor gelten.<sup>33</sup>

Mit Mobitool können zudem auch das Treibhausgaspotential (CO<sub>2</sub>-eq), die Feinstaubbelastung (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>) und die Stickoxide (NO<sub>x</sub>) für die Fahrzeugherstellung, -betrieb und -unterhalt, die Energiebereitstellung sowie die Infrastrukturbereitstellung berechnet werden. Die Emissionswertberechnung mit Mobitool lehnt sich an die Emissionsdatenbank ecoinvent an.<sup>34</sup>

## 4 Gegenüberstellung der erhobenen Daten

### 4.1 Mittelwert & Schwankungsbreite

Aussagekräftige Mittelwerte und Standardabweichungen von diesen können nur errechnet werden, wenn eine ausreichend große, vergleichbare Datengrundlage gegeben ist. Da dies aufgrund mehrere Faktoren, wie z.B. der völlig unterschiedlichen Emissionserhebungs- und Darstellungsansätze, Herausgeberjahren und mangelnder Daten nicht möglich war, konnten teilweise gar keine oder nur stark schwankende Werte in die Berechnung einfließen. Dennoch wurden für die

<sup>31</sup> Vgl. Publikation Umweltbundesamt AUT – Austria's National Inventory Report 2020 (2020) – S. 145

<sup>32</sup> Vgl. Artikel – <https://www.mobitool.ch/>

<sup>33</sup> Vgl. Artikel – <https://www.mobitool.ch/de/tools/mobitool-faktoren-v2-1-25.html>

<sup>34</sup> Vgl. Studie IFRAS/IFEU ÖV und Umwelt (2011) S. 19

im Erhebungsteil (Kap. 3) angeführten CO<sub>2</sub>eq-, CO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>- und Partikeldaten Mittelwerte und Schwankungsbreiten bestimmt, sofern zumindest 2 Studien vorhanden waren, wo diese Werte zu einem Fahrzeug veröffentlicht wurden.

Da in den meisten der analysierten Studien die Betrachtungsmethode (TTW, WTT, WTW, etc.) zwar angegeben, jedoch aber nicht in die Einzelkomponenten aufgeschlüsselt wird, werden die verschiedenen Betrachtungsweisen in der Mittelwert- und Schwankungsbreitenberechnung vernachlässigt. Würden für die Berechnung nur Werte derselben Betrachtungsweise verwendet werden, wäre aufgrund der geringen Wertanzahl keine Mittelwert- bzw. Schwankungsbreitenermittlung möglich. Wegen der in Kapitel 2.2 beschriebenen Gründe werden die in Tab. 8 dargestellten Werte jedoch als nicht aussagekräftig eingestuft.

Es ist anzumerken, dass für die Mittelwert- und Schwankungsbreitenberechnung die Werte aus den Studien aus 3.1.3 und 3.1.7 über die Distanzklassen gemittelt wurden und die Daten aus anderen Studien teilweise über die Treibstoffart gemittelt werden mussten.

| Verkehrsmittel                  | Treibstoff       | Mittelwert         |                 |                 |                  | Standardabweichung |                 |                 |                  | Einheit |
|---------------------------------|------------------|--------------------|-----------------|-----------------|------------------|--------------------|-----------------|-----------------|------------------|---------|
|                                 |                  | CO <sub>2</sub> eq | CO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | PM <sub>10</sub> | CO <sub>2</sub> eq | CO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | PM <sub>10</sub> |         |
| PKW                             | Benzin           | 194,46             | 171,85          | 0,40            | 0,03             | 31,86              | 28,90           | 0,10            | 0,021            | g/Pkm   |
| PKW                             | Diesel           | 191,08             | 168,79          | 0,50            | 0,05             | 28,83              | 24,07           | 0,20            | 0,057            | g/Pkm   |
| PKW                             | Elektro          | -                  | 76,91           | -               | -                | -                  | 1,87            | -               | -                | g/Pkm   |
| Pedelec                         | Elektro          | -                  | 8,84            | -               | -                | -                  | 5,20            | -               | -                | g/Pkm   |
| Kleinkraftrad Verbrennungsmotor | Benzin           | -                  | 64,50           | 0,08            | -                | -                  | 20,63           | 0,07            | -                | g/Pkm   |
| Krafttrad Verbrennungsmotor     | Benzin           | -                  | 129,99          | 0,31            | 0,03             | -                  | 25,85           | 0,07            | 0,022            | g/Pkm   |
| Linienbus                       | Diesel + Elektro | 74,68              | 249,23          | 2,73            | 0,17             | 14,08              | 368,17          | 4,60            | 0,217            | g/Pkm   |
| Fernlinienbus                   | Diesel + Elektro | 58,82              | 255,33          | 2,17            | 0,08             | 40,33              | 322,22          | 3,66            | 0,132            | g/Pkm   |
| Reisebus                        | Diesel           | 38,52              | 273,44          | 2,49            | 0,08             | 7,81               | 399,55          | 4,60            | 0,146            | g/Pkm   |
| LNF                             | Diesel           | 1565,65            | 832,36          | 4,58            | 0,30             | 669,55             | 701,93          | 3,67            | 0,272            | g/Tkm   |
| SNF                             | Diesel           | 478,31             | 561,14          | 2,95            | 0,10             | 99,81              | 120,50          | 2,82            | 0,102            | g/Tkm   |
| Lastzug                         | Diesel           | 108,60             | 398,30          | 0,41            | 0,05             | 2,40               | 404,16          | 0,23            | 0,028            | g/Tkm   |
| Sattelzug                       | Diesel           | 95,37              | 321,03          | 0,34            | 0,04             | 18,82              | 388,23          | 0,24            | 0,030            | g/Tkm   |
| Straßen-,Stadt-,U-Bahn          | Elektro          | 66,55              | 48,97           | 0,05            | 0,01             | 11,55              | 31,62           | 0,03            | 0,010            | g/Pkm   |
| ZUG PV                          | Diesel + Elektro | 40,17              | 38,64           | 0,09            | 0,01             | 19,58              | 34,51           | 0,05            | 0,007            | g/Pkm   |
| ZUG GV                          | Diesel + Elektro | 17,70              | 15,15           | 0,03            | 0,01             | 11,89              | 18,44           | 0,02            | 0,006            | g/Tkm   |
| Flug national PV                | Kerosin          | 393,16             | 270,03          | 0,92            | 0,04             | 285,92             | 68,62           | 0,31            | 0,049            | g/Pkm   |
| Binnenschiff                    | Diesel           | 36,28              | -               | 0,41            | 0,02             | 6,27               | -               | 0,02            | 0,008            | g/Tkm   |

Tab. 8: Mittelwerte und Standardabweichungen zu den im Erhebungsteil angeführten Werten (Q.: eigene Berechnung)

| Verkehrsmittel                       | Treibstoff       | Mittelwert         |                 |                 |                  | Standardabweichung |                 |                 |                  |
|--------------------------------------|------------------|--------------------|-----------------|-----------------|------------------|--------------------|-----------------|-----------------|------------------|
|                                      |                  | CO <sub>2</sub> eq | CO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | PM <sub>10</sub> | CO <sub>2</sub> eq | CO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | PM <sub>10</sub> |
| PKW                                  | Benzin           | 4                  | 5               | 6               | 6                | 4                  | 5               | 6               | 6                |
| PKW                                  | Diesel           | 4                  | 5               | 6               | 6                | 4                  | 5               | 6               | 6                |
| PKW                                  | Elektro          | -                  | 3               | -               | -                | -                  | 3               | -               | -                |
| Pedelec                              | Elektro          | -                  | 2               | -               | -                | -                  | 2               | -               | -                |
| Kleinkraftfahrzeug Verbrennungsmotor | Benzin           | -                  | 3               | 2               | -                | -                  | 3               | 2               | -                |
| Kraftfahrzeug Verbrennungsmotor      | Benzin           | -                  | 4               | 3               | 2                | -                  | 4               | 3               | 2                |
| Linienbus                            | Diesel + Elektro | 3                  | 5               | 5               | 5                | 3                  | 5               | 5               | 5                |
| Fernlinienbus                        | Diesel + Elektro | 3                  | 3               | 4               | 4                | 3                  | 3               | 4               | 4                |
| Reisebus                             | Diesel           | 3                  | 4               | 5               | 5                | 3                  | 4               | 5               | 5                |
| LNF                                  | Diesel           | 2                  | 5               | 4               | 4                | 2                  | 5               | 4               | 4                |
| SNF                                  | Diesel           | 2                  | 4               | 4               | 4                | 2                  | 4               | 4               | 4                |
| Lastzug                              | Diesel           | 2                  | 3               | 3               | 3                | 2                  | 3               | 3               | 3                |
| Sattelzug                            | Diesel           | 3                  | 4               | 4               | 4                | 3                  | 4               | 4               | 4                |
| Straßen-,Stadt-,U-Bahn               | Elektro          | 2                  | 3               | 3               | 3                | 2                  | 3               | 3               | 3                |
| ZUG PV                               | Diesel + Elektro | 4                  | 4               | 5               | 5                | 4                  | 4               | 5               | 5                |
| ZUG GV                               | Diesel + Elektro | 3                  | 3               | 4               | 4                | 3                  | 3               | 4               | 4                |
| Flug national PV                     | Kerosin          | 4                  | 3               | 4               | 4                | 4                  | 3               | 4               | 4                |
| Binnenschiff                         | Diesel           | 2                  |                 | 2               | 2                | 2                  |                 | 2               | 2                |

Tab. 9: Anzahl der für die Mittelwert- und Standardabweichungsberechnung vorhandenen Werte (Q.: eigene Ermittlung)

## 4.2 Fazit

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde deutlich wie unzureichend die vorhandenen Daten für Emissionsvergleiche verschiedener Verkehrsmittel aus unterschiedlichen Studien im deutschen Raum sind. In beinahe jeder Publikation, oft staatenabhängig, wurden andere Datenbanken und Berechnungsmodelle verwendet. Nur das Handbuch für Emissionsfaktoren wird in fast jeder Veröffentlichung genannt. Da die unterschiedlichen Berechnungsmodelle und Emissionsdatenbanken wie das HBEFA oder die Datenbank ecoinvent ständig aktualisiert und ergänzt werden, ist ein Vergleich der Werte aus unterschiedlichen Studien nur erschwert möglich. Vor allem aber die zum Teil undurchsichtigen und komplexen Methoden zur Emissionswertberechnung sowie die intransparenten Parameter für Auslastungs-, Besetzungsgrade oder der verwendeten Treibstoffart bzw. Distanzklasse machen eine aussagekräftige Mittelwertberechnung unmöglich. Zusätzlich unterscheiden sich die Emissionswerte nicht nur nach Fahrzeugen, sondern auch nach Staaten wo diese erhoben wurden. Es ist nämlich darauf zu achten, dass das Fahrverhalten in Industrienationen oft völlig anders als das Fahrverhalten in z.B. Tourismuskationen ist.

## Literaturverzeichnis

- [1] Keller M, Bieler C, Belart B, Knörr W., Schacht A., Kutzner F. : ÖV und Umwelt – Herausforderungen und Handlungsbedarf, 2011
- [2] Allekotte M., Althaus H., Bergk F., Biemann K., Knörr W., Sutter D., : Umweltfreundlich mobil! – Ein ökologischer Verkehrsartenvergleich für den Personen- und Güterverkehr in Deutschland, 2020
- [3] Allekotte M, Bergk F., Biemann K., Deregowski C., Knörr W. – Ökologische Bewertung von Verkehrsarten – Abschlussbericht, 2020
- [4] Wieser M., Kurzweil A., - Emissionsfaktoren als Grundlage für die österreichische Luftschadstoffinventur, 2003
- [5] Umweltbundesamt.at – Emissionsfaktoren für Verkehrsmittel- <https://www.umweltbundesamt.at/umweltthemen/mobilitaet/mobilitaetsdaten/emissionsfaktoren-verkehrsmittel>
- [6] Schelewsky M., Follmer R., Dickmann C. – CO2 Fußabdrücke im Alltagsverkehr – Datenauswertung auf Basis der Studie Mobilität in Deutschland, 2020
- [7] Umweltbundesamt.de – Emissionsdaten mit Tremod - <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten#HBEFA>, 2019
- [8] Bruns F., de Haan P., Bianchetti R., - Bestandsaufnahme zu den Auswirkungen von Fernbusreisen auf Verkehrsentwicklung und Emissionen in Deutschland, 2018
- [9] Wikipedia.org. Tank to Wheel Definition. - [www.wikipedia.org/wiki/Tank-to-Wheel](http://www.wikipedia.org/wiki/Tank-to-Wheel)
- [10] Wikipedia.org. Well to Tank Definition. - [www.wikipedia.org/wiki/Well-to-Tank](http://www.wikipedia.org/wiki/Well-to-Tank)
- [11] Wikipedia.org. Well to Wheel Definition. - [www.wikipedia.org/wiki/Well-to-Wheel](http://www.wikipedia.org/wiki/Well-to-Wheel)
- [12] Parlament.gv.at | BM für Land-und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Österreichische Luftschadstoffinventur Beschreibung. - [https://www.parlament.gv.at/PAKT/VHG/XXI/AB/AB\\_03698/fnameorig\\_599194.html](https://www.parlament.gv.at/PAKT/VHG/XXI/AB/AB_03698/fnameorig_599194.html), 2020
- [13] Eea.europa.eu | European Environment Agency. Corinair Definition. - <https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/corinair>
- [14] Umweltbundesamt.at | Beschreibung Berechnungsmodell GEMIS. - <https://www.umweltbundesamt.at/angebot/leistungen/angebot-cfp/gemis>
- [15] iinas.org | Datenbasis GEMIS. - <http://iinas.org/datenbasis.html>
- [16] Ifeu.de | Beschreibung Berechnungsmodell Tremod. - <https://www.ifeu.de/projekt/uba-tremod-2019/>
- [17] Umweltbundesamt Deutschland – Hintergrundinformation zum Handbuch für Emissionsfaktoren für den Straßenverkehr (HBEFA) - [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/dokumente/faqs\\_hbefa.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/dokumente/faqs_hbefa.pdf), 2017
- [18] TU Graz, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik – Powerpoint Presentation NEMO, 2019
- [19] Umweltbundesamt Österreich | Anderl M., Friedrich A. Gangl M. etc. – Austria's National Inventory Report 2020 – Submission under the United nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto P
- [20] Mobitool.ch – Beschreibung von Mobitool und der darauf befindlichen Datenbanken und Berechnungsmodelle - <https://www.mobitool.ch/de/tools/mobitool-faktoren-v2-1-25.html>
- [21] Nobis, Claudia. Kuhnimhof, Tobias. Follmer, Robert. Bäumer, Marcus - Mobilität in Deutschland – Zeitreihenbericht 2002 – 2008 – 2017. Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (FE-Nr. 70.904/15). Bonn, Berlin. [www.mobilitaet-in-deutschland.de](http://www.mobilitaet-in-deutschland.de), 2019



- [22] Strasser M., Umweltgesamtrechnungen – Modul Luftemissionsrechnung 1995 bis 2018, Projektbericht, 2020
- [23] Fritz David, Umweltbundesamt Österreich – Befragung per Email zu den Emissionswerten aus der Veröffentlichung - [https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/themen/mobilitaet/daten/ekz\\_pkm\\_tkm\\_verkehrsmittel.pdf](https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/themen/mobilitaet/daten/ekz_pkm_tkm_verkehrsmittel.pdf)
- [24] Gröger Bernhard, Umweltbundesamt Österreich – Befragung per Email zur Österreichischen Luftschadstoff Inventur
- [25] Strasser Manuela, Bundesanstalt Statistik Österreich - Befragung per Email zur Studie - Modul Luftemissionsrechnung 1995 bis 2018, Projektbericht, 2020
- [26] Knörr Wolfram, IFEU Deutschland - generelle Befragung per Email zu veröffentlichten Emissionswerten vom Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg
- [27] Kolodziej Andrea, Umweltbundesamt Deutschland – Befragung per Email zur Studie Ökologische Bewertung von Verkehrsarten – Abschlussbericht, 2020