



Institut für Fahrzeugantriebe  
& Automobiltechnik

**TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN**

**DISSERTATION**

**Entwicklung der Schadstoff- und CO<sub>2</sub>-Emissionen des  
Straßenverkehrs in Österreich und Deutschland bis 2030 und  
Ableitung des Handlungsbedarfs**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der technischen Wissenschaften unter der Leitung von

**Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. techn. Bernhard Geringer**  
*E315, Institut für Fahrzeugantriebe & Automobiltechnik*  
und

**Ao. Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. techn. Hans Puxbaum**  
*E164 - Institut für Chemische Technologien und Analytik*

eingereicht an der Technischen Universität Wien  
**Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften**

von

**Dipl. Ing. Werner Tober**

**Mat. Nr. 9425242**

**Bahnhofstrasse 16**

**3660 Klein-Pöchlarn**

***Frau Hermine Tober  
und Theresia Krammer gewidmet.***

*„Weisheit ist etwas, das jeder Einzelne  
von uns entdecken muss, aber sie ist  
nicht das Ergebnis von Wissen.  
Wissen und Weisheit haben  
nichts miteinander zu tun.“*

*Das Buch des Lebens  
(Jiddu Krishnamurti)*

## **Vorwort**

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit am Institut für Fahrzeugantriebe und Automobiltechnik der Technischen Universität Wien.

Mein Dank gilt dem Institutsvorstand Herrn Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. techn. Bernhard Geringer für die Ermöglichung dieser Dissertation sowie für den gewährten Freiraum zur selbstständigen Arbeitsweise. Herrn Ao. Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. techn. Hans Puxbaum danke ich für das Ko-Referat und die außerordentlich kollegiale und inspirierende Zusammenarbeit.

Im Besonderen möchte ich mich bei meinem Kollegen Dipl. Ing. Robert Rosenitsch für die fachlichen Diskussionen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

## Kurzfassung

Als direkte und indirekte umwelt- und klimarelevante rechtliche Rahmenbedingungen des motorisierten Straßenverkehrs wurden in dieser Arbeit die Emissions- und Immissionsgesetzgebung sowie energiepolitische Maßnahmen bzw. Regulierungen identifiziert und analysiert.

Die zur Beurteilung des weiteren Handlungsbedarfs erstellten Emissionsberechnungen bzw. -prognosen und der Vergleich mit der Immissionsentwicklung zeigen auf, dass bei den chemischen Komponenten Kohlenmonoxid CO, Stickstoffoxide NO<sub>x</sub>, Partikel PM und Schwefeldioxid SO<sub>2</sub> kein weiterer Handlungsbedarf, welcher über die bereits fixierten Regelungen hinausgeht, besteht.

Die Emissions- bzw. Immissionsentwicklungen der chemischen Komponenten

- Stickstoffdioxid NO<sub>2</sub>
- Kohlendioxid CO<sub>2</sub>

sind hingegen als kritisch einzustufen.

### NO<sub>2</sub>:

Von einer Einhaltung des ab 2010/2015 geltenden europäischen Immissionsgrenzwertes ist an verkehrsnahen Messstellen ab 2017 bis 2019 auszugehen. Die Einhaltung des ab 2012 geltenden österreichischen Immissionsgrenzwertes ist ab 2022 bis 2023 zu erwarten.

Eine ausnahmslose Einhaltung des europäischen bzw. österreichischen NO<sub>2</sub>-Immissionsgrenzwertes ist durch die alleinige Reduktion der NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Straßenverkehrsemissionen nicht möglich. Der hohe Anteil der Hintergrundbelastung sowie die zusätzlichen primären (NO<sub>2</sub>) und sekundären (NO→NO<sub>2</sub>) Emissionen erfordern trotz der umfassenden zu erwartenden Reduktionen im Straßenverkehr auch die NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion anderer Emittenten.

**CO<sub>2</sub>:**

Für die Umsetzung der CO<sub>2</sub>-Emissionsprognose bis 2050 sind Elektrofahrzeuge mit einer 100% regenerativen Stromerzeugung erforderlich.

Das CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential von Biokraftstoffen ist im untersuchten Szenario nicht ausreichend um das für das Jahr 2020 definierte europäische CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel zu erreichen. Es ist jedoch festzuhalten, dass die Beimischung von Biokraftstoffen, soweit diese nachhaltig produziert werden, einen wesentlichen Beitrag zur Zielerreichung leistet.

**Schlussfolgerung:**

**Die bei Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen geplanten technischen Maßnahmen zur Reduktion der NO<sub>2</sub>-Immissionen sind zielführend, wenngleich die Einhaltung der Grenzwerte zeitversetzt eintritt.**

**Die Umsetzung der europäischen CO<sub>2</sub>-Ziele im Bereich des Straßenverkehrs erfordert neben einem hohen Maß an Elektrifizierung die regenerative Erzeugung des dafür benötigten Stromes. Zudem ist der Anteil an biogenen Kraftstoffen zu fördern und der Kraftstoffverbrauch von schweren Nutzfahrzeugen zu reglementieren.**

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Rechtliche Rahmenbedingungen .....	3
2.1	Bereich Emission.....	3
2.1.1	Limitierte Schadstoffe der Abgasgesetzgebung .....	4
2.1.2	CO <sub>2</sub> Reglementierung.....	5
2.1.3	Emissionsgesetzgebung in Österreich .....	11
2.2	Bereich Immission .....	12
2.2.1	Immissionsgesetzgebung in der Europäischen Union .....	12
2.2.2	Immissionsgesetzgebung in Österreich .....	16
2.3	Bereich Energie .....	18
2.4	Im Fokus stehende chemische Komponenten.....	20
3	Methodik der Emissionsberechnung/-prognose von Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen .....	22
3.1	Bestandsentwicklung.....	24
3.1.1	Österreich .....	25
3.1.2	Deutschland.....	28
3.1.3	Berechnung .....	30
3.2	Fahrleistungsentwicklung .....	31
3.3	Warmemissionen.....	33
3.3.1	NO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren .....	33
3.3.2	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren .....	36
3.4	Kaltstartemissionen und Korrekturfaktoren.....	37
3.5	Berechnungsalgorithmus .....	37
4	Emissions- und Immissionsentwicklung der im Fokus stehenden chemischen Komponenten .....	39
4.1	Kohlenmonoxid – CO .....	39

4.1.1	Emissionsentwicklung von Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen...	40
4.1.1.1	Österreich .....	40
4.1.1.2	Deutschland.....	43
4.1.2	Immissionsentwicklung .....	45
4.2	Stickstoffoxide – NO <sub>x</sub> .....	47
4.2.1	Emissionsentwicklung von Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen...	47
4.2.1.1	Österreich .....	48
4.2.1.2	Deutschland.....	50
4.2.2	Immissionsentwicklung .....	52
4.3	Stickstoffdioxid – NO <sub>2</sub> .....	54
4.3.1	Emissionsentwicklung von Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen...	54
4.3.1.1	Österreich .....	55
4.3.1.2	Deutschland.....	57
4.3.2	Immissionsentwicklung .....	59
4.4	Partikel – PM .....	61
4.4.1	Emissionsentwicklung von Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen...	61
4.4.1.1	Österreich .....	62
4.4.1.2	Deutschland.....	65
4.4.2	Immissionsentwicklung .....	67
4.5	Schwefeldioxid – SO <sub>2</sub> .....	69
4.6	Kohlenstoffdioxid – CO <sub>2</sub> .....	69
4.6.1	Emissionsentwicklung von Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen in Österreich .....	70
4.6.2	Emissionsentwicklung von Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen in Deutschland.....	74
5	Auswahl der kritischen chemischen Komponenten .....	78
5.1	Kohlenmonoxid – CO .....	79
5.2	Stickstoffoxide – NO <sub>x</sub> .....	80
5.3	Stickstoffdioxid – NO <sub>2</sub> .....	81
5.4	Partikel – PM .....	82

5.5	Schwefeldioxid – SO <sub>2</sub> .....	83
5.6	Kohlenstoffdioxid – CO <sub>2</sub> .....	83
5.7	Fazit.....	84
6	Bewertung des weiteren Handlungsbedarfs im Straßenverkehr.....	86
6.1	Stickstoffdioxid NO <sub>2</sub> .....	86
6.1.1	Grundlagen.....	86
6.1.2	Modelle der NO <sub>2</sub> -Immissionsberechnung .....	92
6.1.3	Modellvergleich.....	96
6.1.4	Berechnung .....	98
6.1.5	Handlungsbedarf und Lösungsansätze .....	103
6.2	Kohlenstoffdioxid CO <sub>2</sub> .....	104
6.2.1	Modell und Berechnung.....	105
6.2.2	Handlungsbedarf .....	107
6.2.3	Lösungsansätze .....	108
6.2.3.1	CO <sub>2</sub> -Reduktion durch Elektromobilität .....	108
6.2.3.2	CO <sub>2</sub> -Reduktion durch alternative Kraftstoffe.....	112
7	Zusammenfassung .....	129
8	Literaturverzeichnis .....	134

# 1 Einleitung

Mit der Erfindung des Automobils und dessen breiter Akzeptanz wurden individuelle Mobilität und der Transport von Gütern auf flexible Weise über weite Strecken möglich.

Mit ansteigendem Fahrzeugbestand nahmen jedoch auch die Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs zu. Dies führte bereits in den 70er-Jahren zu nationalen und im Folgenden zu europäischen Abgasgesetzgebungen, um den Emissionsausstoß einzugrenzen.

In Ergänzung dazu wurden sektoral übergreifende, nationale und europäische Immissionsgrenzwerte geschaffen, deren Einhaltung den dauerhaften Schutz der Gesundheit des Menschen sowie des Tier- und Pflanzenbestandes gewährleistet.

Abkommen wie das Kyoto Protokoll belegen zudem, dass seit den letzten 10 bis 20 Jahren Anstrengungen erfolgen, den anthropogenen Treibhausgasausstoß zum Schutz des Klimas einzugrenzen bzw. zu reduzieren.

Insbesondere an stark befahrenen Straßen in Ballungsräumen und in Regionen mit besonderen klimatischen Bedingungen kann sich der Straßenverkehr wesentlich auf die Umwelt auswirken. Ferner führt der stetig weltweit wachsende Bestand an Kraftfahrzeugen dazu, dass der Straßenverkehr zu den wesentlichen Treibhausgasproduzenten zu zählen ist.

Zur Gewährleistung nachhaltiger Mobilität ist eine kontinuierliche Verbesserung des Umwelt- und Klimaschutzes im Verkehrssektor integraler Bestandteil nationaler und internationaler Umweltstrategien.

Da umweltseitige Maßnahmen an Kraftfahrzeugen in der Regel mit hohen Investitionen einhergehen, ist eine exakte Bestimmung des Ausmaßes der erforderlichen Reduktionen je chemischer Komponente für die Kosten des Individualverkehrs von essentieller Bedeutung.

Bestimmend für den Reduktionsbedarf sind auf direkte Weise die jeweils geltenden Abgasgesetzgebungen, die indirekt geltenden nationalen Emissions- bzw. Immissionsgesetzgebungen sowie direkt und indirekt geltende Energie- und Klimaschutzziele bzw.- gesetzgebungen.

### **Zielsetzung**

Ziel dieser Arbeit ist die Bestimmung der aus heutiger Sicht bis zum Jahr 2030 (bzw. 2050) als kritisch zu bewertenden chemischen Abgaskomponenten, die Beurteilung der sich technologiebedingt darstellenden Reduktionpotentiale im Straßenverkehr sowie die Beschreibung des Handlungsbedarfs und das Aufzeigen von Lösungsansätzen zur Erreichung der politischen und gesetzlichen Grenzwertziele.

Teile dieser Arbeit wurden bereits vorab in [1], [2], [3], [4], [5] und [6] veröffentlicht.

Im Folgenden werden die direkten und indirekten umwelt- und klimarelevanten rechtlichen Rahmenbedingungen des motorisierten Straßenverkehrs analysiert.

## 2 Rechtliche Rahmenbedingungen

Die kontinuierliche Verbesserung der Umwelt- und Klimaauswirkungen von Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor wird von rechtlichen Rahmenbedingungen begleitet. Diese stellen wesentliche Innovationstreiber im automotiven Sektor dar. [7]

Als direkte und indirekte umwelt- und klimarelevante rechtliche Rahmenbedingungen des motorisierten Straßenverkehrs werden in dieser Arbeit die Emissions- und Immissionsgesetzgebung sowie energiepolitische Maßnahmen bzw. Regulierungen identifiziert.

Die drei Bereiche Emission, Immission und Energie werden im Weiteren auf angesprochene chemische Komponenten untersucht, um jene Stoffe, welche zum Zweck des Umwelt- und Klimaschutzes bzw. der Ressourcenschonung mehrfach adressiert werden, zu bestimmen.

Die im Folgenden analysierten Regularien für Emission, Immission und Energie werden aufgrund ihrer

- Relevanz (direkt oder indirekt),
- Aktualität und
- strategischen Ausrichtung

als für diese Arbeit wesentlich erachtet.

### 2.1 Bereich Emission

Die europäische Emissionsgesetzgebung für Kraftfahrzeuge des Straßenverkehrs ist in zwei Untergruppen zu gliedern. Die Limitierung ausgewählter Schadstoffe im Abgas (Kapitel 2.1.1) begann bereits in den 70er Jahren. Eine Reglementierung des Treibhausgasausstoßes (CO<sub>2</sub>) von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen (Kapitel 2.1.2) erfolgte erst in diesem Jahrtausend [8], [9].

In Ergänzung wird die österreichische Emissionsgesetzgebung (Kapitel 2.1.3) auf weitere angesprochene chemische Komponenten untersucht, welche indirekt für den Verkehrssektor relevant sind.

### 2.1.1 Limitierte Schadstoffe der Abgasgesetzgebung

In der europäischen Abgasgesetzgebung für Kraftfahrzeuge wird in Regulierungen für

- Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge sowie für
- schwere Nutzfahrzeuge

unterschieden.

Die zulässigen Abgasemissionen der Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeuge wurden ursprünglich in der vom Europäischen Parlament verabschiedeten Richtlinie 70/220/EWG [10] geregelt. Die chronologisch angeführten Abgasgesetzgebungsstufen (seit Euro 1) sind den untenstehenden Richtlinien bzw. Verordnungen zu entnehmen.

- Euro 1: Richtlinie 91/441/EWG [11], bzw. 93/59/EWG [12]
- Euro 2: Richtlinie 94/12/EG [13], bzw. 96/69/EG [14]
- Euro 3 und 4: Richtlinie 98/69/EG [15], bzw. 2002/80/EG [16]
- Euro 5 und 6: Verordnung 715/2007 [17], bzw. 692/2008 [18]

Die grundlegende Reglementierung der Abgasemissionen schwerer Nutzfahrzeuge erfolgte in der Richtlinie 88/77/EWG [19]. Die chronologisch Abfolge seit Euro I wird untenstehend wiedergegeben.

- Euro I Richtlinie 91/542/EWG [20]
- Euro II Richtlinie 96/1/EG [21]
- Euro III Richtlinie 99/96/EG [22] und 2001/27/EG [23]
- Euro IV Richtlinie 99/96/EG [22], bzw. 2005/55/EG [24]
- Euro V Richtlinie 99/96/EG [22], bzw. 2005/55/EG [24]
- Euro VI Verordnung 595/2009 [25]

Die in dieser Arbeit durchgeführte Analyse der Emissionsgesetzgebungen ergab, dass auf Grund der negativen Auswirkungen auf den Menschen und die Umwelt die in **Tabelle 1** gelisteten chemischen Komponenten im Abgas von Kraftfahrzeugen adressiert werden.

Umfassende Darstellungen der Auswirkungen dieser limitierten Schadstoffe auf Mensch und Umwelt sind [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34] und [35] zu entnehmen.

Adressierte Schadstoffe - Emission	
<b>Kohlenmonoxid</b>	CO
<b>Kohlenwasserstoffe</b>	HC
<b>Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe</b>	NMHC
<b>Summe der Kohlenwasserstoffe und Stickstoffoxide</b>	HC+NO <sub>x</sub>
<b>Stickstoffoxide</b>	NO <sub>x</sub>
<b>Partikelmasse</b>	PM
<b>Partikelanzahl</b>	PN
<b>Ammoniak</b>	NH <sub>3</sub>

Tabelle 1: Adressierte Schadstoffe im Abgas von Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor

### 2.1.2 CO<sub>2</sub> Reglementierung

Bereits im Jahr 1995 veröffentlichte die Europäische Kommission ihre Strategie zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen (welche durch die Abgasgesetzgebung aus Kapitel 2.1.1 nicht beschränkt sind) von **Personenkraftwagen** und zur Senkung des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs. Darin wurde eine durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Emission von 120 g/km (für Personenkraftwagen) im Jahr 2005 (spätestens 2010) angestrebt. [36]

Die Auswirkungen von Kohlendioxid auf Mensch und Klima werden in [27], [37] und [38] ausführlich erörtert.

Im Jahr 2009 wurde mit der Verordnung Nr. 443 des Europäischen Parlaments und des Rates eine CO<sub>2</sub>-Emissionsnorm für neue Personenkraftwagen beschlossen. Darin wird festgehalten, dass ab dem Jahr 2012 eine durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Emission der Neuwagenflotte von 120 g/km einzuhalten ist. [8]

Dabei soll der Wert von 130 g/km durch Verbesserungen der Motorentechnik und innovative Technologien erreicht werden. Eine weitere Reduktion um 10 g/km soll durch zusätzliche Maßnahmen (Optimierung von Reifen, Klimaanlage, Kraftstoff und Fahrverhalten) realisiert werden. Eine entsprechende Vorschrift zur Bewertung der zusätzlichen Maßnahmen wird erlassen.

Zudem werden CO<sub>2</sub>-Einsparungen, die durch den Einsatz innovativer Technologien erzielt werden, berücksichtigt. Der Gesamtbeitrag dieser sogenannten Ökoinnovationen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Zielvorgabe beträgt bis zu 7 g CO<sub>2</sub>/km. Es ist zu beachten, dass es sich dabei um nicht im Prüfzyklus erfasste Technologien zur CO<sub>2</sub>-Reduktion handeln muss. Zudem dürfen diese Ökoinnovationen nicht unter die Vorschriften des Punktes - weitere Reduktion um 10 g/km durch zusätzliche Maßnahmen - fallen oder nach anderen Bestimmungen des Gemeinschaftsrechts vorgeschrieben sein. Eine Durchführungsvorschrift für die Genehmigung solcher innovativen Technologien wird erlassen.

Wie [8] entnommen werden kann, erfolgt die Einführung des Grenzwertes zwischen 2012 und 2015 schrittweise, sodass

- im Jahr 2012 65% der neu zugelassenen Personenkraftwagen dieses Jahres (je Hersteller) herangezogen werden.
- Im Jahr 2013 werden für die Berechnung 75% der neu zugelassenen PKW berücksichtigt.
- Im Jahr 2014 80% und
- im Jahr 2015 100%.

Zusätzlich werden Personenkraftwagen mit einer spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen von weniger als 50 g/km als

- 3,5 Fahrzeuge im Jahr 2012 und 2013,
- 2,5 Fahrzeuge im Jahr 2014
- 1,5 Fahrzeuge im Jahr 2015
- 1 Fahrzeug ab Jahr 2016 gewertet.

Ab dem Jahr 2020 wird der Zielwert von 120 g/km auf 95 g/km herabgesetzt.

Wird die durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Emission der Neuwagenflotte überschritten, ist eine Abgabe an die Europäische Union zu leisten, welche sich am Ausmaß der Überschreitung orientiert. Nach einer gestuften Einführungsphase zwischen 2012 und 2018 sind ab dem Jahr 2019 pro Gramm CO<sub>2</sub>/km Überschreitung 95 € multipliziert mit der Anzahl an in der Europäischen Union verkauften PKW zu entrichten. Überschreitet demnach ein Hersteller, welcher in der Europäischen Union im Jahr 2019 beispielsweise 500.000 PKW absetzt, die von ihm einzuhaltende durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Emission seiner Neuwagenflotte um 5 g CO<sub>2</sub>/km, dann führt das zu einer Abgabe wegen Emissionsüberschreitung von 237,5 Mio. €.

Um Hersteller unterschiedlicher Fahrzeugsegmente (Kleinwagen, Luxuslimousinen,...) zu wettbewerbsgerechten Reduktionen zu veranlassen, wird der Zielwert von 130 g/km über die Fahrzeugmasse gewichtet. **Abbildung 1** beschreibt den festgelegten mathematischen Zusammenhang zwischen Kraftfahrzeugmasse und spezifischer CO<sub>2</sub>-Emission. Personenkraftwagen mit einer Masse von 1.372<sup>1</sup> kg müssen dabei 130 g/km erreichen. [8]

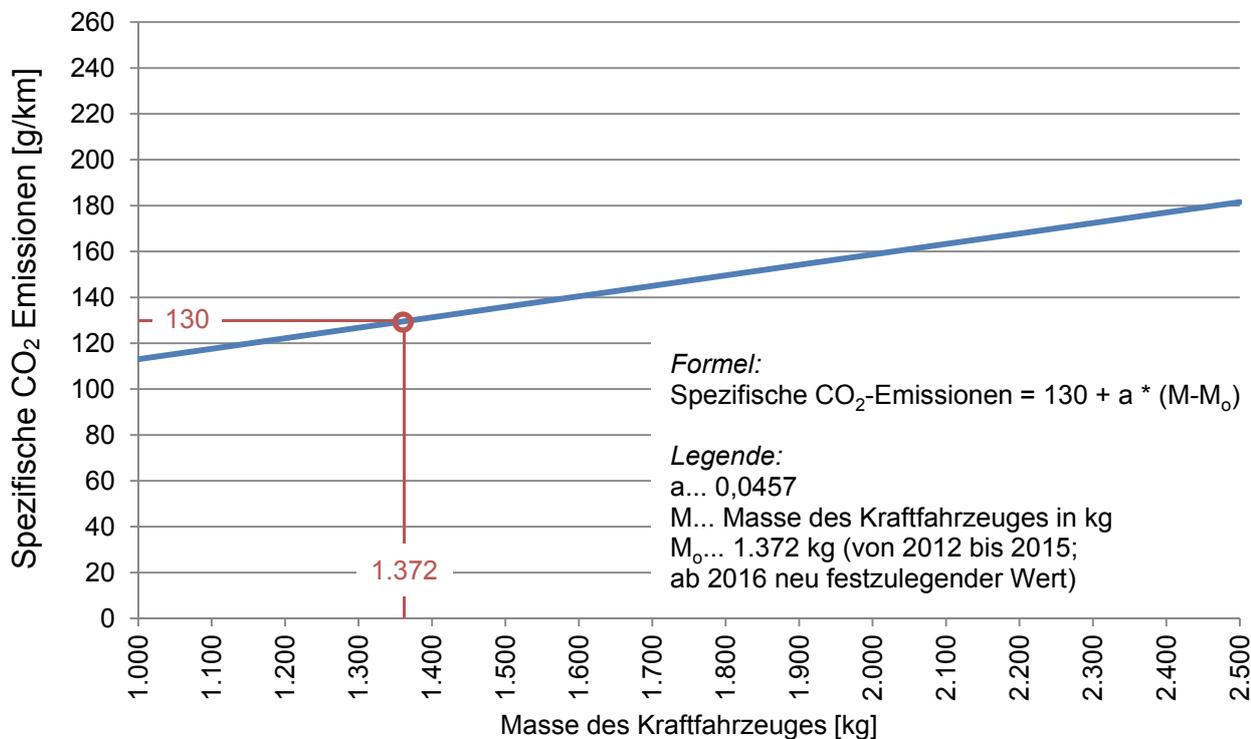


Abbildung 1: Zulässige spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen neu zugelassener Personenkraftwagen in Abhängigkeit von der Kraftfahrzeugmasse [8], [eigene Darstellung]

<sup>1</sup> Der Wert von 1.372 kg gilt für den Zeitraum 2012 bis 2015 und wird ab 2016 neu bestimmt.

Zur Einbindung der **leichten Nutzfahrzeuge** in die Gesamtstrategie der Gemeinschaft zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von leichten Nutzfahrzeugen und PKW wurde im Jahr 2011 die Verordnung Nr. 510 zur Festsetzung von CO<sub>2</sub>-Emissionsnormen für neue leichte Nutzfahrzeuge verabschiedet. [9]

Abgedeckt werden darin leichte Nutzfahrzeuge der Kategorie N1<sup>2</sup> mit einer Bezugsmasse von höchstens 2.610 kg und für Fahrzeuge, auf die die Typgenehmigung gemäß Artikel 2 Absatz 2 der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 erweitert wurde.

Ab dem Jahr 2014 ist, basierend auf dieser Verordnung, eine durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Emission der neu zugelassenen leichten Nutzfahrzeugflotte von 175 g/km einzuhalten. Vorbehaltlich der Bestätigung der Durchführbarkeit durch die Europäische Kommission wird für das Jahr 2020 ein Zielwert von 147 g/km festgesetzt. Im Verordnungsvorschlag [39] aus dem Jahr 2009 wurde durch die Europäische Kommission für das Jahr 2020 ein Zielwert von 135 g/km vorgeschlagen, welcher nun nicht umgesetzt wurde.

Auch bei leichten Nutzfahrzeugen werden CO<sub>2</sub>-Einsparungen, die durch den Einsatz innovativer Technologien erzielt werden, berücksichtigt. Der Gesamtbeitrag dieser sogenannten Ökoinnovationen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Zielvorgabe beträgt bis zu 7 g CO<sub>2</sub>/km. Es ist zu beachten, dass es sich dabei um nicht im Prüfzyklus erfasste Technologien zur CO<sub>2</sub>-Reduktion handeln muss. Zudem dürfen diese Ökoinnovationen nicht unter die Vorschriften des Artikels 1 der Verordnung (EG) Nr. 443/2009 fallen oder nach anderen Bestimmungen des Unionsrechts vorgeschrieben sein. Eine Durchführungsvorschrift für die Genehmigung solcher innovativer Technologien wird erlassen.

---

<sup>2</sup> gemäß Definition laut Richtlinie 2007/46/EG, Anhang II

Für die Bestimmung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen je Hersteller wird ein gestufter Prozentsatz je Jahr herangezogen.

- 70% im Jahr 2014
- 75% im Jahr 2015
- 80% im Jahr 2016
- 100% ab 2017

Jedes leichte Nutzfahrzeug, welches weniger als 50 g CO<sub>2</sub>/km emittiert, zählt als

- 3,5 leichte Nutzfahrzeuge im Jahr 2014 und 2015
- 2,5 leichte Nutzfahrzeuge im Jahr 2016
- 1,5 leichte Nutzfahrzeuge im Jahr 2017
- 1 leichtes Nutzfahrzeug ab 2018

Wie im Fall der PKW wird der Zielwert von 175 g/km über die Fahrzeugmasse gewichtet. **Abbildung 2** beschreibt den festgelegten mathematischen Zusammenhang zwischen Kraftfahrzeugmasse und spezifischer CO<sub>2</sub>-Emission. Leichte Nutzfahrzeuge mit einer Masse von 1.706<sup>3</sup> kg müssen dabei 175 g/km erreichen.

---

<sup>3</sup> Der Wert von 1.706 kg gilt für den Zeitraum 2014 bis 2017 und wird ab 2018 neu bestimmt.

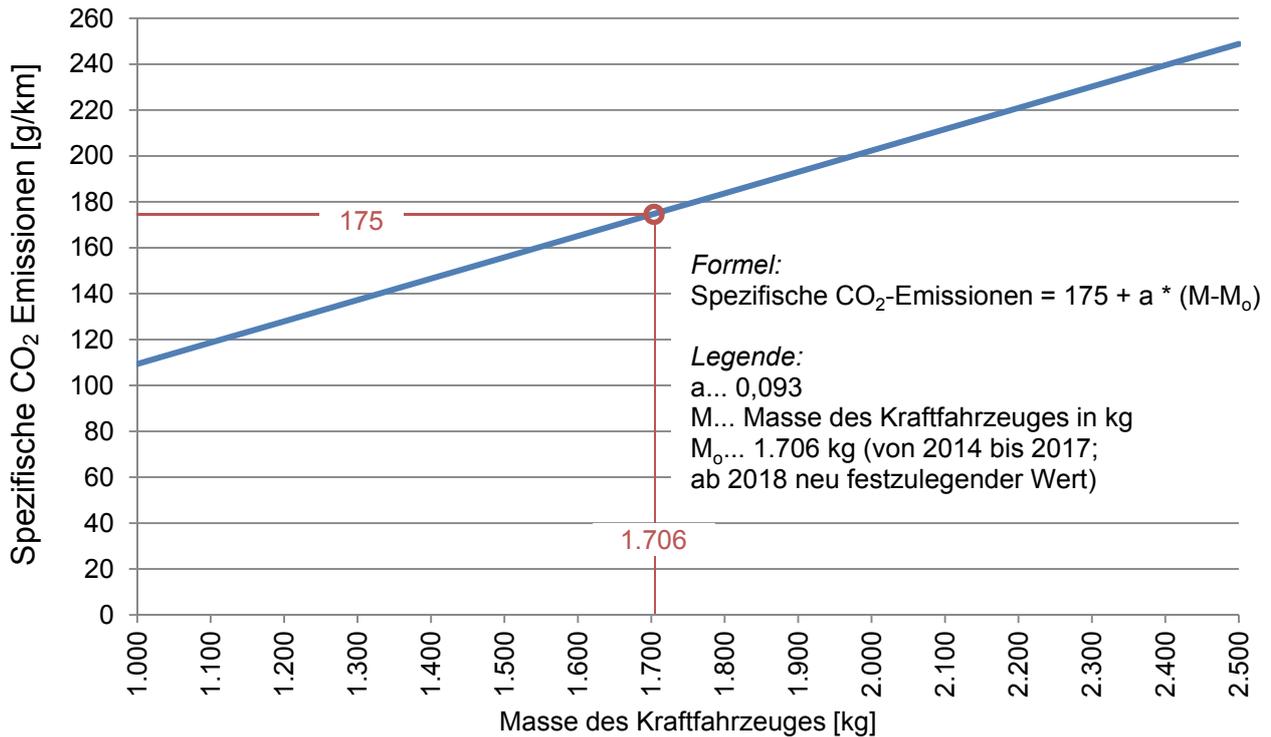


Abbildung 2: Zulässige spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen neu zugelassener leichter Nutzfahrzeuge in Abhängigkeit von der Kraftfahrzeugmasse [9]

Wird die durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Emission der Neuwagenflotte überschritten, ist eine Abgabe an die Europäische Union zu leisten, welche sich am Ausmaß der Überschreitung orientiert. Nach einer gestuften Einführungsphase zwischen 2014 und 2018 sind ab dem Jahr 2019 pro Gramm CO<sub>2</sub>/km Überschreitung 95 € multipliziert mit der Anzahl an in der Europäischen Union verkauften leichten Nutzfahrzeuge zu entrichten.

Die Analyse der Regulierungen zeigt, dass, wie in **Tabelle 2** angeführt, ausschließlich CO<sub>2</sub> adressiert wird. Die Treibhausgase CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O werden in diesen beiden Regulierungen nicht angesprochen.

Adressierte Treibhausgase - Emission	Einheit
Kohlendioxid	CO <sub>2</sub> g/km

Tabelle 2: Adressierte Treibhausgase im Abgas von Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor

### 2.1.3 Emissionsgesetzgebung in Österreich

Neben den im Obigen angeführten, speziell für Personenkraftwagen und Nutzfahrzeuge bestimmten Gesetzgebungen werden durch das Emissionshöchstmengengesetz-Luft [40] und durch das Ozongesetz [41] nationale, sektoral übergreifende Emissionsgrenzwerte vorgeschrieben.

Da mit diesen Gesetzen kein Emittent explizit angesprochen wird, sind die limitierten Schadstoffe dieser Regulierungen indirekt für die Kraftfahrzeuge mit Verbrennungsmotor relevant und demnach zu betrachten.

Ab dem Jahr 2010 dürfen die in **Tabelle 3** wiedergegebenen nationalen Emissionshöchstmengen nicht überschritten werden. [40]

Gesetzlich limitierte Schadstoffe		Nationale Emissionshöchstmenge in kt/Jahr
<b>Schwefeldioxid</b>	SO <sub>2</sub>	39
<b>Stickstoffoxid</b>	NO <sub>x</sub>	103
<b>Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan</b>	NMVOC	159
<b>Ammoniak</b>	NH <sub>3</sub>	66

Tabelle 3: Nationale Emissionshöchstmenge gemäß EG-L [40]

Gemäß Ozongesetz sind die Emissionen der Ozonvorläufersubstanzen NO<sub>x</sub> und NMVOC bis 31. Dez. 2006 um mindestens 70% gegenüber den Emissionen des Jahres 1985 (bei NO<sub>x</sub>) bzw. 1988 (bei NMVOC) zu reduzieren. [41] Dies entspricht den in **Tabelle 4** wiedergegebenen Werten.

Gesetzlich limitierte Schadstoffe		Reduktionsziele in kt/Jahr
<b>Stickstoffoxid</b>	NO <sub>x</sub>	65
<b>Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan</b>	NMVOC	104

Tabelle 4: Nationale Emissionshöchstmenge gemäß Ozongesetz [42]

In den Emissionsgesetzgebungen Österreichs werden die in **Tabelle 5** angeführten Schadstoffe genannt. Verglichen mit den in den Abgas- und CO<sub>2</sub>-Regulierungen angeführten Stoffen (**Tabelle 1** und **Tabelle 2**) wird zusätzlich SO<sub>2</sub> angesprochen.

Adressierte Schadstoffe - Emission		Einheit
Schwefeldioxid	SO <sub>2</sub>	kt/Jahr
Stickstoffoxid	NO <sub>x</sub>	kt/Jahr
Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan	NMVOG	kt/Jahr
Ammoniak	NH <sub>3</sub>	kt/Jahr

Tabelle 5: Adressierte Schadstoffe der Emissionsgesetzgebung in Österreich

## 2.2 Bereich Immission

Da die Verschmutzung der Luft sowohl eine Gefährdung der menschlichen Gesundheit (z.B. bodennahes Ozon) als auch der Umwelt (z.B. die Versauerung der Böden) darstellt, verfolgt die Europäische Union und deren Mitgliedstaaten neben der Emissionsreduktion der Schadstoff- und Treibhausgase gleichzeitig das Ziel der Luftqualitätsverbesserung.

Analog zur sektoral übergreifenden Emissionsgesetzgebung in Österreich ist auch die Immissionsgesetzgebung in Österreich bzw. der Europäischen Union nicht auf einzelne Verursacher fokussiert und für Kraftfahrzeuge mit Verbrennungsmotor nur indirekt relevant.

Im Sinne des Umwelt- und Klimaschutz sind die Richtlinien zur Reinhaltung der Luft jedoch zu berücksichtigen. Dementsprechend werden die in diesen Gesetzen adressierten Schadstoffe bestimmt.

### 2.2.1 Immissionsgesetzgebung in der Europäischen Union

In der auf europäischer Ebene derzeit geltenden Richtlinie zur Reinhaltung der Luft „Luftqualität und saubere Luft für Europa“ [43] aus dem Jahr 2008 werden europäische Rechtsvorschriften über die Luftqualität definiert, welche die

Verschmutzung auf ein Maß reduzieren sollen, bei dem schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt möglichst gering sind.

Diese war bis 11. Juni 2010 von den Mitgliedsstaaten umzusetzen und beinhaltet die in **Tabelle 6** angeführten limitierten Schadstoffkonzentrationen. Unter den in der Richtlinie definierten Voraussetzungen ist eine Fristverlängerung um höchstens 5 Jahre für die Grenzwerte von Stickstoffdioxid und Benzol möglich.

Immissionsgrenzwerte <sup>4</sup>		Einheit	MW1 <sup>5</sup>	MW8 <sup>6</sup>	TMW <sup>7</sup>	JMW <sup>8</sup>
<b>Schwefeldioxid</b>	SO <sub>2</sub>	µg/m <sup>3</sup>	350 <sup>9</sup>		125 <sup>10</sup>	
<b>Kohlenstoffmonoxid</b>	CO	mg/m <sup>3</sup>		10 <sup>11</sup>		
<b>Stickstoffdioxid</b>	NO <sub>2</sub>	µg/m <sup>3</sup>	200 <sup>12</sup>			40 <sup>13</sup>
<b>Feinstaub</b>	PM <sub>10</sub>	µg/m <sup>3</sup>			50 <sup>14</sup>	40 <sup>15</sup>
<b>Ultra-Feinstaub</b>	PM <sub>2,5</sub>	µg/m <sup>3</sup>				25 <sup>16</sup>
<b>Blei</b>	Pb	µg/m <sup>3</sup>				0,5 <sup>17</sup>
<b>Benzol</b>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	µg/m <sup>3</sup>				5 <sup>18</sup>

Tabelle 6: Immissionsgrenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit [43]

<sup>4</sup> höchst zulässige Immissionsgrenzkonzentration

<sup>5</sup> MW1... Einstundenmittelwert (stündlich gleitende Auswertung)

<sup>6</sup> MW8... Achtstundenmittelwert (gleitende Auswertung, Schrittfolge eine halbe Stunde)

<sup>7</sup> TMW... Tagesmittelwert

<sup>8</sup> JMW... Jahresmittelwert

<sup>9</sup> Maximal 24 Überschreitungen im Kalenderjahr (Toleranzmarge 150 µg/m<sup>3</sup>)

<sup>10</sup> Maximal 3 Überschreitungen im Kalenderjahr

<sup>11</sup> Toleranzmarge 60%

<sup>12</sup> Maximal 18 Überschreitungen im Kalenderjahr (keine Toleranzmarge ab 1.1.2010)

<sup>13</sup> keine Toleranzmarge ab 1.1.2010

<sup>14</sup> Maximal 35 Überschreitungen im Kalenderjahr (Toleranzmarge 50%)

<sup>15</sup> Toleranzmarge 20%

<sup>16</sup> Als Zielwert ab 1.1.2010. Als Grenzwert ab 1.1.2015 (Toleranzmarge 20% ab 11.6.2008. Ab 1.1.2009 jährlich konstante Reduktion der Toleranzmarge bis 0% am 1.1.2015). Ab 2020 liegt der Grenzwert bei 20 µg/m<sup>3</sup>.

<sup>17</sup> Toleranzmarge 100%

<sup>18</sup> keine Toleranzmarge ab 1.1.2010

Ein Endtermin für die Beantragung der Fristverlängerung wurde in der Richtlinie nicht festgelegt. Da jedoch die Informationen über die Luftqualität innerhalb von 9 Monaten nach Ablauf eines Jahres an die Kommission zu übermitteln sind, hat ein Antrag auf Fristverlängerung bis spätestens September 2011 zu erfolgen.

Zudem werden in dieser Richtlinie die in **Tabelle 7** angeführten Alarm- und Informationswerte angegeben.

Alarm- und Informationswerte			Einheit	MW1	MW3 <sup>19</sup>
<b>Schwefeldioxid</b>	Alarm	SO <sub>2</sub>	µg/m <sup>3</sup>		500
<b>Stickstoffdioxid</b>	Alarm	NO <sub>2</sub>	µg/m <sup>3</sup>		400
<b>Ozon</b>	Info	O <sub>3</sub>	µg/m <sup>3</sup>	180	
<b>Ozon</b>	Alarm	O <sub>3</sub>	µg/m <sup>3</sup>	240	

Tabelle 7: Alarm- und Informationswerte [43]

Als kritisch für den Schutz der Vegetation werden die in **Tabelle 8** wiedergegebenen Werte festgehalten.

Kritische Werte		Einheit	JMW	Winter <sup>20</sup>
<b>Schwefeldioxid</b>	SO <sub>2</sub>	µg/m <sup>3</sup>	20	20
<b>Stickstoffoxide</b>	NO <sub>x</sub>	µg/m <sup>3</sup>	30	

Tabelle 8: Kritische Werte zum Schutz der Vegetation [43]

Zusätzlich werden in [44] die in **Tabelle 9** wiedergegebenen Zielwerte festgelegt.

<sup>19</sup> MW3... Dreistundenmittelwert (gleitende Auswertung)

<sup>20</sup> Mittelwert des Zeitraums 1.10. – 31.3.

Konzentrationszielwerte der Luftschadstoffe		Einheit	GG <sup>21</sup>	TMW	JMW
Stickstoffdioxid	NO <sub>2</sub>	µg/m <sup>3</sup>		80	
Feinstaub	PM <sub>10</sub>	µg/m <sup>3</sup>		50 <sup>22</sup>	20
Arsen	As	ng/m <sup>3</sup>	6		
Cadmium	Cd	ng/m <sup>3</sup>	5		
Nickel	Ni	ng/m <sup>3</sup>	20		
Benzo(a)pyren	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	ng/m <sup>3</sup>	1		

Tabelle 9: Immissionszielwerte der Konzentration [44]

Zum Schutz von Mensch und Umwelt werden demnach auf Ebene der Europäischen Union die Konzentrationen der in **Tabelle 10** angeführten Schadstoffe limitiert.

Adressierte Schadstoffe		Einheit
Schwefeldioxid	SO <sub>2</sub>	µg/m <sup>3</sup>
Kohlenstoffmonoxid	CO	mg/m <sup>3</sup>
Stickstoffdioxid	NO <sub>2</sub>	µg/m <sup>3</sup>
Feinstaub	PM <sub>10</sub>	µg/m <sup>3</sup>
Ultra-Feinstaub	PM <sub>2,5</sub>	µg/m <sup>3</sup>
Blei	Pb	µg/m <sup>3</sup>
Benzol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	µg/m <sup>3</sup>
Ozon	O <sub>3</sub>	µg/m <sup>3</sup>
Stickstoffoxide	NO <sub>x</sub>	µg/m <sup>3</sup>
Arsen	As	ng/m <sup>3</sup>
Cadmium	Cd	ng/m <sup>3</sup>
Nickel	Ni	ng/m <sup>3</sup>
Benzo(a)pyren	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	ng/m <sup>3</sup>

Tabelle 10: Adressierte Schadstoffe in der Immissionsgesetzgebung der Europäischen Union

<sup>21</sup> GG... Gesamtgehalt in der PM<sub>10</sub> Fraktion als Durchschnitt eines Kalenderjahres. Ab dem 31.12.2012 gelten diese Zielwerte als Grenzwerte.

<sup>22</sup> Nicht mehr als 7 Überschreitungen pro Jahr.

## 2.2.2 Immissionsgesetzgebung in Österreich

In Ergänzung werden relevante österreichische Gesetze analysiert.

Das Bundesgesetz zum Schutz vor Immissionen durch Luftschadstoffe (Immissionsschutzgesetz-Luft, IG-L) [45] übernimmt die europäische Richtlinie [43] mit **teilweise niedrigeren Grenzwerten**.

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit gelten im gesamten Bundesgebiet die in **Tabelle 11** angeführten Immissionsgrenzwerte der Konzentration<sup>23</sup>.

Konzentrationswerte der Luftschadstoffe		Einheit	HMW <sup>24</sup>	MW8	TMW	JMW
<b>Schwefeldioxid</b>	SO <sub>2</sub>	µg/m <sup>3</sup>	200 <sup>25</sup>		120	
<b>Kohlenstoffmonoxid</b>	CO	mg/m <sup>3</sup>		10		
<b>Stickstoffdioxid</b>	NO <sub>2</sub>	µg/m <sup>3</sup>	200			30 <sup>26</sup>
<b>Feinstaub</b>	PM <sub>10</sub>	µg/m <sup>3</sup>			50 <sup>27</sup>	40
<b>Ultra-Feinstaub</b>	PM <sub>2,5</sub>	µg/m <sup>3</sup>				25 <sup>28</sup>
<b>Blei in PM<sub>10</sub></b>	Pb	µg/m <sup>3</sup>				0,5
<b>Benzol</b>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	µg/m <sup>3</sup>				5

Tabelle 11: Immissionsgrenzwerte der Konzentration [45]

<sup>23</sup> Konzentration... Ansammlung eines chemischen Stoffes in der Luft. Ausgedrückt in Masse pro Volumen

<sup>24</sup> HMW... Halbstundenmittelwert

<sup>25</sup> Drei HMW pro Tag, jedoch max. 48 HMW pro Kalenderjahr bis zu einer Konzentration von 350 µg/m<sup>3</sup> gelten nicht als Überschreitung.

<sup>26</sup> Der Immissionsgrenzwert von 30 µg/m<sup>3</sup> ist ab 1.1.2012 einzuhalten. Die Toleranzmarge von 10 µg/m<sup>3</sup> gilt gleichbleibend von 1.1.2005 bis 31.12.2009. Die Toleranzmarge von 5 µg/m<sup>3</sup> gilt gleichbleibend von 1.1.2010 bis 31.12.2011.

<sup>27</sup> Pro Kalenderjahr ist die folgende Zahl an Überschreitungen zulässig: zwischen 2005 und 2009: 30; ab 2010: 25

<sup>28</sup> Gilt ab 1.1.2015. Eine Toleranzmarge von 20% wird ausgehend vom 11.06.2008 am folgenden 1. Jänner und danach alle 12 Monate um einen jährlich gleichbleibenden Prozentsatz reduziert, bis auf 0% am 1.1.2005.

Zudem gelten im gesamten Bundesgebiet zum Schutz der menschlichen Gesundheit die in **Tabelle 12** wiedergegebenen Immissionsgrenzwerte der Deposition<sup>29</sup>.

Depositionswerte der Luftschadstoffe		Einheit <sup>30</sup>	JMW
<b>Staubniederschlag</b>		mg/m <sup>2</sup> *d	210
<b>Blei im Staubniederschlag</b>	Pb	mg/m <sup>2</sup> *d	0,1
<b>Cadmium im Staubniederschlag</b>	Cd	mg/m <sup>2</sup> *d	0,002

Tabelle 12: Immissionsgrenzwerte der Deposition [45]

Der in **Tabelle 13** angeführte Ozonzielwert (MW8) des Bundesgesetzes über Maßnahmen zur Abwehr der Ozonbelastung ist ab dem Jahr 2010 gültig und darf zwischen 2010 und 2020 im Mittel dreier Jahre an nicht mehr als 25 Tagen überschritten werden. Ab 2020 sind keine Überschreitungen zulässig. [41]

Konzentrationszielwert für Ozon	Einheit	MW8	AOT40 <sup>31</sup>
<b>für den Schutz der menschlichen Gesundheit</b>	O <sub>3</sub> µg/m <sup>3</sup>	120	
<b>für den Schutz der Vegetation</b>	O <sub>3</sub> µg/m <sup>3</sup> h		18.000

Tabelle 13: Immissionszielwert Ozon [41]

Österreich spricht demzufolge, gegenüber den Richtlinien der Europäischen Union, keine zusätzlichen Schadstoffe an, wenngleich die Konzentrationswerte insbesondere für SO<sub>2</sub> und NO<sub>2</sub> niedriger liegen.

<sup>29</sup> Deposition... Ablagerung eines chemischen Stoffes. Ausgedrückt in Masse pro Fläche

<sup>30</sup> Masse (mg) pro Fläche (m<sup>2</sup>) und Tag (d)

<sup>31</sup> Summe der Differenzen zwischen den Konzentrationen über 80 µg/m<sup>3</sup> und 80 µg/m<sup>3</sup> unter ausschließlicher Verwendung der Einstundenmittelwerte zwischen 8:00 und 20:00 Uhr MEZ im Zeitraum von Mai bis Juli. Zielwerte für 2010-2020 gemittelt über fünf Jahre. Ab 2020: 6.000 µg/m<sup>3</sup>h

## 2.3 Bereich Energie

Als die drei zentralen Prinzipien und Hauptziele der gemeinsamen europäischen Energiestrategie [46] sind:

- Nachhaltigkeit (Umweltschutz),
- Wettbewerbsfähigkeit und
- Versorgungssicherheit

zu nennen.

Insbesondere auf Grund des Nachhaltigkeitsaspektes wurde es als wesentlich erachtet, die Regularien des Bereichs Energie in die Betrachtungen dieser Arbeit mit aufzunehmen.

Die Richtlinie zur Förderung von Energie aus erneuerbaren Quellen [47] aus dem Jahr 2009 definiert mit der Realisierung eines Anteiles an Energie aus erneuerbaren Quellen von mindestens 20% des Bruttoendenergieverbrauchs der Europäischen Gemeinschaft bis zum Jahr 2020 ein anspruchsvolles Ziel.

Um dieses europäische Ziel zu erreichen, wurden in [47] verbindliche nationale Ziele vorgegeben. Der für Österreich festgelegte Zielwert im Jahr 2020 liegt bei 34%. Im Jahr 2005 lag der erreichte Energieanteil erneuerbarer Quellen hierzulande bei 23,3%.

Die nationalen Zielwerte sind durch festzulegende Maßnahmen in den drei Sektoren

- Verkehr,
- Elektrizität und
- Wärme und Kälte

zu realisieren.

Eine unterschiedliche Gewichtung dieser Bereiche steht den Mitgliedsstaaten dabei frei. Lediglich für den Verkehrssektor wird ein Teilziel vorgegeben, welches bestimmt, dass im Jahr 2020 der Endenergieverbrauch des Verkehrssektors zu mindestens 10% mit Energie aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden muss. [47]

Unabhängig davon bestätigen das Europäische Parlament und der Rat in einer gemeinsamen Entscheidung aus dem Jahr 2009 das Ziel, bis zum Jahr 2020 die Treibhausgasemissionen gegenüber dem Bezugsjahr 1990 um 30% zu reduzieren. Bis 2050 soll eine Reduktion von 60 bis 80% gegenüber 1990 erzielt werden.

Für jeden Mitgliedsstaat individuell wird für das Jahr 2020 eine Obergrenze der Treibhausgasemissionen eingeführt. Als Bezugsjahr wird dafür das Jahr 2005 herangezogen. Der für Österreich fixierte Zielwert liegt bei -16%. [48]

Neben den Zielen, fossile Energie durch Energie aus erneuerbaren Quellen zu ersetzen und den Ausstoß an Treibhausgasen zu reduzieren, stellt die Europäische Kommission in der „Mitteilung der Kommission - Aktionsplan für Energieeffizienz: Das Potenzial ausschöpfen“ fest, dass dem Verkehrssektor 20% des Gesamtenergieverbrauchs an Primärenergie zuzuordnen sind und dass dessen Energieeinsparungspotenzial bis zum Jahr 2020 mit 26% zu bewerten ist. Als vorrangige Maßnahme wird daher die Erhöhung der Kraftstoffeffizienz gesehen. [49]

Eine indirekte Umsetzung erfährt diese geplante Maßnahme durch die Verordnungen zur Festsetzung von CO<sub>2</sub>-Emissionsnormen für neu zugelassene Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge (siehe Kapitel 2.1.2). [8], [9]

**Abbildung 3** fasst die Schwerpunkte der europäischen Energiepolitik und die daraus resultierenden, für diese Arbeit relevanten Zielwerte und Vorgaben zusammen.

<b>Schwerpunkte der europäischen Energiepolitik</b>			
	<b>Substitution fossiler durch erneuerbarer Energiequellen</b>	<b>Reduktion der Treibhausgasemissionen</b>	<b>Erhöhung der Energieeffizienz (Potenzial)</b>
<b>Gesamt</b>	20% bis 2020	-30% im Jahr 2020 gegenüber 1990	20% bis 2020
<b>Verkehr</b>	10% bis 2020	95 bzw. 175 g CO <sub>2</sub> /km für neue PKW bzw. Leichte NFZ ab 2020	26% bis 2020

Abbildung 3: Energiepolitik Europas –Fokus Verkehrssektor [47], [48], [49], [8]

## 2.4 Im Fokus stehende chemische Komponenten

Im Obigen wurden die für Kraftfahrzeuge mit Verbrennungsmotor direkt und indirekt relevanten rechtlichen Rahmenbedingungen ausgewählt und nach den darin angesprochenen chemischen Komponenten untersucht. **Abbildung 4** gibt einen Überblick zum Analyseergebnis.

Der Darstellung ist zu entnehmen, dass die Schadstoffe

- CO,
- NO<sub>x</sub>,
- PM,
- SO<sub>2</sub>,

und das Treibhausgas

- CO<sub>2</sub>

durch mehr als eine Regulierung angesprochen werden. Dies weist auf die Bedeutung dieser Stoffe für den Umwelt- und Klimaschutz bzw. die Ressourcenschonung hin.

Der Fokus in dieser Arbeit wird auf diese Auswahl eingegrenzt. Zuzufolge der erwarteten hohen Relevanz von NO<sub>2</sub> wird dieser Schadstoff als Untergruppe der chemischen Komponenten NO<sub>x</sub>, neben den oben gelisteten chemischen Komponenten, ebenfalls in der vorliegenden Arbeit betrachtet.

Im Folgenden werden, zur Bewertung des Status Quo und der zu erwartenden Reduktionspotentiale, die Emissions- bzw. Immissionsentwicklungen dieser chemischen Komponenten – CO, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, PM, SO<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> – untersucht.

Darauf aufbauend wird im Weiteren bewertet, bei welchen der im Fokus stehenden Stoffe ergänzender Handlungsbedarf im Straßenverkehr besteht.

Emission	Immission	Energie/Klimaschutz
<p>Limitierte Schadstoffe</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>CO</b></li> <li>• <b>SO<sub>2</sub></b></li> <li>• <b>NO<sub>x</sub></b></li> <li>• <b>PM</b></li> <li>• PN</li> <li>• HC</li> <li>• NMHC</li> <li>• NH<sub>3</sub></li> </ul> <p>Limitierte Treibhausgase</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>CO<sub>2</sub></b></li> </ul>	<p>Limitierte Schadstoffe</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>CO</b></li> <li>• <b>SO<sub>2</sub></b></li> <li>• <b>NO<sub>x</sub>/NO<sub>2</sub></b></li> <li>• <b>PM<sub>10</sub>/PM<sub>2,5</sub></b></li> <li>• Pb</li> <li>• C<sub>6</sub>H<sub>6</sub></li> <li>• O<sub>3</sub></li> <li>• As</li> <li>• Cd</li> <li>• Ni</li> <li>• C<sub>20</sub>H<sub>12</sub></li> <li>• NO<sub>x</sub></li> </ul>	<p>Schwerpunkte</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Substitution fossiler durch erneuerbarer Energiequellen</li> <li>• <b>Reduktion der Treibhausgas-emissionen</b></li> <li>• Erhöhung der Energieeffizienz</li> </ul>

Abbildung 4: Angesprochene chemischen Komponenten bzw. energiepolitische Ziele

### **3 Methodik der Emissionsberechnung/-prognose von Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen**

Zur Bestimmung der Emissionsentwicklung des Straßenverkehr wird das auf [50] basierende, am Institut für Fahrzeugantriebe und Automobiltechnik der TU-Wien entwickelte Emissionsprognoseprogramm PROVEM herangezogen, welches zu diesem Zweck weiterentwickelt und aktualisiert wurde. Im Weiteren werden, basierend auf [50], der Aufbau des Programms und die Erweiterungen erörtert bzw. vorgestellt.

Als wesentlich ist festzuhalten, dass auch für die Berechnung der Straßenverkehrsemissionen der Vergangenheit nicht alle erforderlichen Eingangsparameter exakt bekannt und mit Annahmen zu ergänzen sind.

Grundlegend wird in PROVEM in Personenkraftwagen und Nutzfahrzeuge unterschieden. Nutzfahrzeuge werden aufgrund ihres breiten Einsatzbereiches weiter in unterschiedliche Nutzfahrzeugkonzepte unterteilt. Eine zielgerichtete Bestimmung der Emissionen erfordert zudem die Gliederung nach der Art des verwendeten Kraftstoffes. Hier betrachtet werden Otto- und Dieselmotoren.

Abhängig vom Baujahr des Kraftfahrzeuges wird dieses einer Emissionsklasse zugeordnet. Dies erfolgt in Anlehnung an die nationale bzw. europäische Abgasgesetzgebung und ist je Fahrzeugkonzept und Kraftstoffart unterschiedlich.

Bei Personenkraftwagen erfolgt eine abschließende Kategorisierung nach Hubraumklassen. Nutzfahrzeuge werden hingegen nach Massenklassen differenziert.

Die folgenden Auflistungen geben einen Überblick zu den abgebildeten Kraftfahrzeugen. Die unterste Diversifizierungsebene wird als Fahrzeugschicht bezeichnet.

## Personenkraftwagen

- Kraftstoffart
  - Otto
  - Diesel
- Emissionsklasse
  - Otto-PKW: ECE 15/03, ECE 15/04, U-Kat, G-Kat, Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5 und Euro 6
  - Diesel-PKW: vor 1986, schadstoffarm, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5 und Euro 6
- Hubraumklasse
  - <1,4 / 1,4-2,0 / >2,0l

## Nutzfahrzeuge

- Nutzfahrzeugkonzept
  - Lieferwagen
  - LKW (solo)
  - Lastzug
  - Sattelzug
  - Linienbus
  - Reisebus
  - Sonstige Nutzfahrzeuge (z.B. Militär, Wohnmobil, etc.)
- Kraftstoffart
  - Otto (nur Lieferwagen)
  - Diesel
- Emissionsklasse
  - Lieferwagen Otto: konv., G-Kat, Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5 und Euro 6
  - Lieferwagen Diesel: konv., 80, Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5 und Euro 6
  - Lastzug, Sattelzug, Linienbus, Reisebus, Sonstige Nutzfahrzeuge (z.B. Militär, Wohnmobil, etc.): 60, 70, 80, Euro I, Euro II, Euro III, Euro IV, Euro V und Euro VI
- Massenklasse
  - Lieferwagen: <1,3 / 1,3-1,76 / > 1,76t

- LKW (solo): <7,5 / 7,5-14 / 14-20 / >20t
- Lastzug: <20 / 20-28 / 28-32 / >32t
- Sattelzug: <32 / >=32t
- Linienbus: <16 / 16-20 / 20-26 / >26t
- Reisebus: <16 / 16-20 / >20t
- Sonstige Nutzfahrzeuge: <3,5 / 3,5-7,5 / 7,5-14 / 14-20 / >20

In dieser Arbeit wurde das Programm um die Fahrzeugkategorien

- Personenkraftwagen Euro 5 und Euro 6
- Nutzfahrzeuge Euro IV, Euro V und Euro VI

erweitert.

Je Fahrzeugschicht werden zur Bestimmung der Emissionsentwicklung untenstehende Berechnungen durchgeführt:

- Bestandsentwicklung
- Fahrleistungsentwicklung
- Warmemissionen
- Kaltstartemissionen

Auf das Vorgehen und die Datenbasis dieser vier Berechnungsmodule wird im Folgenden eingegangen.

### **3.1 Bestandsentwicklung**

Die Datenbasis der Bestandsentwicklung wurde für diese Arbeit grundlegend überarbeitet. Ausgangsbasis der Bestandsentwicklung sind Realdaten der Statistik Austria<sup>32</sup> (für Österreich) bzw. des KBA<sup>33</sup> (für Deutschland), welche die Informationen über Kraftfahrzeugneuzulassungen [51], [52] und Kraftfahrzeugbestände [53], [54] jährlich veröffentlichen.

Für die Bestandsprognose wurde der Trend der Neuzulassungen basierend auf den Realdaten analysiert und fortgeschrieben. Mittels konzeptionell aus [50]

---

<sup>32</sup> Statistik Austria, Bundesanstalt Statistik Österreich, 1110 Wien, Guglgasse 13, Österreich

<sup>33</sup> Kraftfahrt-Bundesamt, 24944 Flensburg, Fördestraße 16, Deutschland

übernommenen Überlebenswahrscheinlichkeiten wird mathematisch der Zusammenhang zwischen Neuzulassungen und Bestand je Fahrzeugschicht dargestellt. Die Überlebenswahrscheinlichkeit gibt an, wie viele der neu zugelassenen Kraftfahrzeuge in den Folgejahren noch im Verkehr sind. Mit Hilfe aktueller erfasster Neuzulassungs- und Bestandsdaten werden diese Überlebenswahrscheinlichkeiten kalibriert.

### 3.1.1 Österreich

Die Entwicklung der jährlichen Neuzulassungen an Personenkraftwagen mit Otto- bzw. Dieselmotor ist im Mittel der letzten 20 Jahre mit 296.000 Neufahrzeugen pro Jahr weitgehend stabil. Der Anteil an Diesel-PKW-Neuzulassungen ist seit 1988 kontinuierlich gestiegen. Im Jahr 2003 erreichte dieser einen Höhepunkt mit einem Neuzulassungsanteil von 71,5%. Seitdem ist ein gegenläufiger Trend ersichtlich. [51], [53]

Bei mit Ottomotoren betriebenen PKW wurde ein dem Diesel-PKW entgegengesetzter Trend festgestellt. In den Jahren 1993 bis 2002 (abgesehen von 1998 und 1999) nahmen die Neuzulassungszahlen stetig ab. Ab 2003 ist zunächst ein leichter und dann stärkerer Anstieg der Neuzulassungszahlen festzustellen. Dieser Trend wurde in der Prognose analog zu [55] fortgesetzt. In der Prognose werden jährlich 290.000 PKW-Neuzulassungen mit einem Anteil an Otto-PKW von 53% als Langfristwert angesetzt.

In **Abbildung 5** werden die Entwicklung und Prognose des PKW-Bestandes in Österreich wiedergegeben. Der stetige Anstieg an Diesel-Neuzulassungen führte im Jahr 2004 zu einem Gleichstand zwischen Diesel- und Ottomotoren im österreichischen PKW-Bestand. Trotz prognostiziertem Rückgang an Diesel-PKW-Neuzulassungen werden die mit Dieselmotor betriebenen PKW im Jahr 2030 noch 47% des Bestandes ausmachen, da dem Dieselmotor auch zukünftig ein hoher Neuzulassungsanteil zugerechnet wird.

Zudem wurde eine Bestandskorrektur, basierend auf den Voraussetzungen des Ökopremiengesetzes [56], durchgeführt. Ab dem 1. April 2009 hatten PKW-Besitzer in Österreich die Möglichkeit, ihr Kraftfahrzeug, sofern es mindestens 13 Jahre alt

war und weiteren Voraussetzungen entsprach, gegen Erhalt einer Ökopremie verschrotten zu lassen. Diese Aktion führte zu einer Verjüngung des Kraftfahrzeugbestandes und somit zu einer positiven Beeinflussung der Straßenverkehrsemissionen. Mit 6. Juli 2009 war diese verkaufsfördernde Maßnahme mit 30.000 PKW ausgeschöpft. [57]

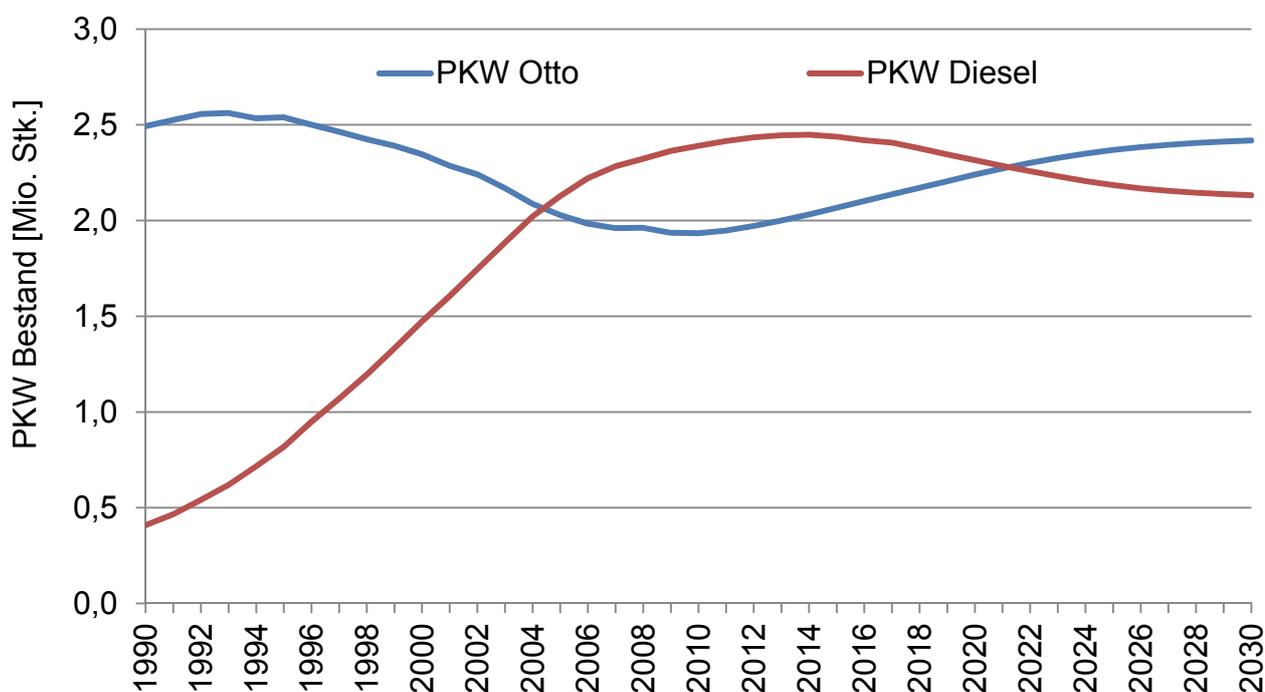


Abbildung 5: Entwicklung des PKW-Bestandes pro Jahr in Österreich ( [53] und eigene Berechnungen)

Für den leichten Nutzfahrzeugbestand lässt sich wie beim Personenkraftwagen ein Trend hin zum Dieselmotor feststellen. Aus heutiger Sicht ist jedoch keine Trendwende zurück zum Ottomotor zu erwarten. Der Anteil an leichten Nutzfahrzeugen mit Dieselmotor, wie in **Abbildung 6** dargestellt, steigt kontinuierlich an. [51], [53] Daraus wurde für die Prognose eine stabile Neuzulassungsentwicklung mit einem Anteil von 4% Ottofahrzeugen abgeleitet.

Bei Betrachtung der Bestandsentwicklung der schweren Nutzfahrzeuge ist festzustellen, dass der Bestand an LKW und Lastzügen rückläufig ist. Diese Reduktion, welche primär in den unteren Gewichtsklassen stattfindet wird durch den Anstieg im Lieferwagenbestand überkompensiert. [51], [53] In der Prognose wurden

die rückläufigen Neuzulassungszahlen im Mittel der letzten 15 Jahre mit jährlich -0,7% übernommen.

Der Bestand an Sattelzügen nimmt bis zum Jahr 2004 kontinuierlich zu, sinkt danach jedoch wieder leicht ab. [51], [53] In der Prognose wird dieses Ereignis so interpretiert, dass sich eine Bedarfssättigung eingestellt hat und zukünftig lediglich von einem leichten Anstieg der Neuzulassungen im Ausmaß von jährlich 0,5% auszugehen ist.

Sowohl Reisebusse als auch Linienbusse unterliegen einer gleichmäßigen Nachfrage, wodurch sich ein quasi konstanter Bestand einstellt. [51], [53] Der Trend wurde gemäß den Vorjahren in der Prognose fortgesetzt.

Bei den schweren Nutzfahrzeugen (LKW, Lastzüge und Sattelzüge) wurde die „Wirtschaftskrise“ bzw. deren Auswirkungen in Form von nicht getätigten Käufen berücksichtigt und eine Reduktion der Neuzulassungen im Jahr 2009 vorgenommen. Für die Abschätzung des Rückganges wurden [51], [58] und [59] herangezogen und im Jahr 2009 gegenüber dem Jahr 2008 um 17% weniger leichte Nutzfahrzeuge, um 32% weniger Lastzüge und LKW (solo) und um 50% weniger Sattelzüge in den Neuzulassungen berücksichtigt.

In den Berechnungen berücksichtigt wurde zudem die Gruppe der sonstigen Nutzfahrzeuge (Erntemaschinen, selbstfahrende Arbeitsmaschinen, Wohnmobile, etc.), welche jedoch lauffleistungsbedingt von untergeordneter Bedeutung ist.

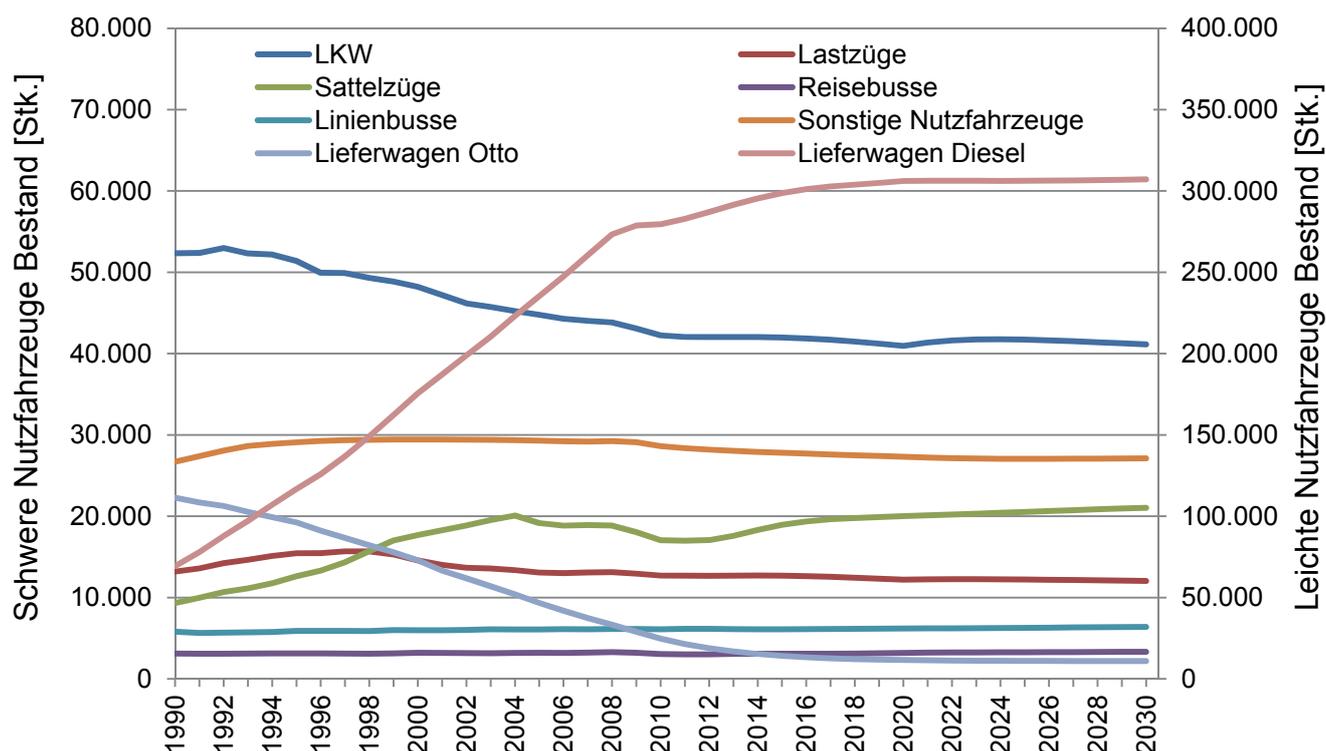


Abbildung 6: Entwicklung des Nutzfahrzeugbestandes pro Jahr in Österreich ( [53] und eigene Berechnungen)

### 3.1.2 Deutschland

Im Unterschied zu Österreich setzt der Dieselboom in Deutschland später und weniger ausgeprägt ein. Wie in **Abbildung 7** dargestellt dominiert der Personenkraftwagen mit Ottomotor über alle Jahre den Bestand. Der Dieselanteil steigt jedoch von 11,9% im Jahr 1990 auf 37,5% im Jahr 2020. Die Neuzulassungszahlen sind mit den österreichischen vergleichbar stabil. [52], [54] In der Prognose werden jährlich 3,2 Mio. PKW-Neuzulassung mit einem Anteil an Otto-PKW von 62% als Langfristwert angesetzt.

Aufgrund einer ähnlich wie in Österreich durchgeführten Maßnahme zur Förderung des Absatzes von Personenkraftwagen im Jahr 2009 [60] wurde eine Verjüngung des Kraftfahrzeugbestandes und somit eine Verbesserung der Straßenverkehrsemissionen erreicht. Diese Bestandskorrektur im Ausmaße von 1,9 Mio. PKW wurde berücksichtigt. [61]

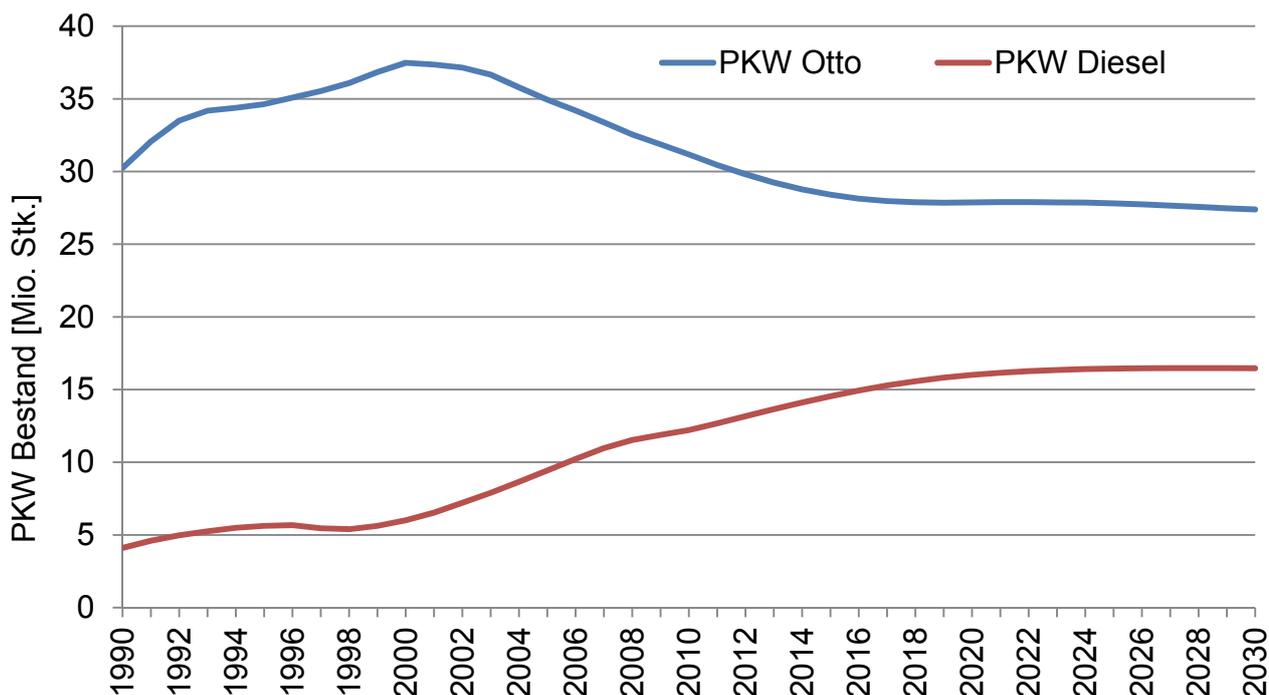


Abbildung 7: Entwicklung des PKW-Bestandes pro Jahr in Deutschland ( [54] und eigene Berechnungen)

Die leichten Nutzfahrzeuge, wie in **Abbildung 8** wiedergegeben, zeigen eine zu Österreich analoge, im Bestand stark steigende Entwicklung. Auch in Deutschland sind es fast ausschließlich dieselbetriebene Kraftfahrzeuge. [52], [54] Daraus wurde für die Prognose eine stabile Neuzulassungsentwicklung mit einem Anteil von 3% Ottofahrzeugen abgeleitet.

Im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge zeigen sich bei Neuzulassungen und Bestand langfristig nur geringe Steigerungsraten. [52], [54] In der Prognose wird von einem leichten Anstieg der Neuzulassungen im Ausmaß von jährlich 0,2% ausgegangen.

Bei den schweren Nutzfahrzeugen (LKW, Lastzüge und Sattelzüge) wurde die „Wirtschaftskrise“ bzw. deren Auswirkungen in Form von nicht getätigten Käufen berücksichtigt und eine Reduktion der Neuzulassungen im Jahr 2009 vorgenommen. Für die Abschätzung des Rückganges wurden [52], [62], [63] und [64] herangezogen und im Jahr 2009 gegenüber dem Jahr 2008 um 17% weniger leichte Nutzfahrzeuge,

um 24% weniger Lastzüge und LKW (solo) und um 30% weniger Sattelzüge in den Neuzulassungen berücksichtigt.

Zudem in den Berechnungen berücksichtigt wurde die Gruppe der Sonstigen Nutzfahrzeuge (Erntemaschinen, selbstfahrende Arbeitsmaschinen, Wohnmobile, etc.), welche jedoch lauffleistungsbedingt von untergeordneter Bedeutung ist.

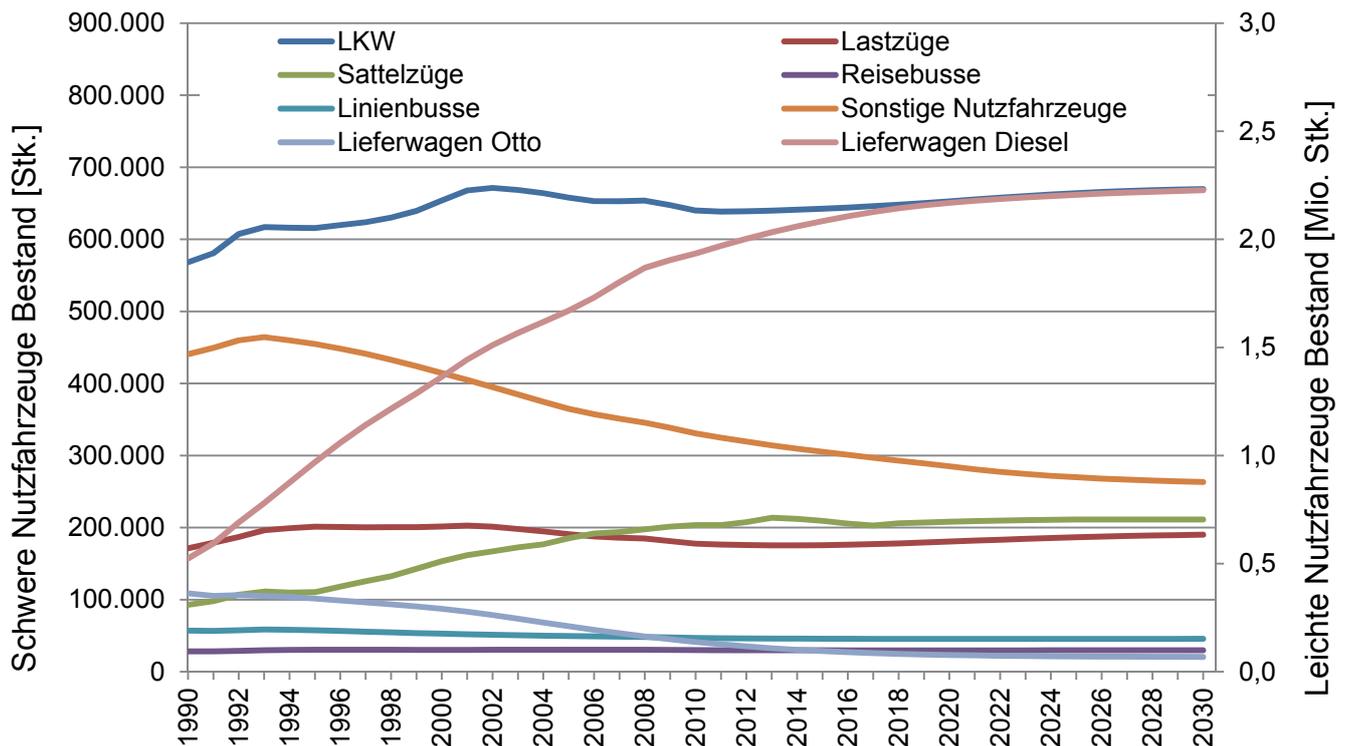


Abbildung 8: Entwicklung des Nutzfahrzeugbestandes pro Jahr in Deutschland ( [54] und eigene Berechnungen)

### 3.1.3 Berechnung

Die Berechnung des Bestandes der am Straßenverkehr teilnehmenden Kraftfahrzeuge eines betrachteten Jahres ergibt sich, wie in **Gleichung 1** wiedergegeben, aus der Summe der Bestände je Fahrzeugschicht. Die Bestände je Fahrzeugschicht des betrachteten Jahres errechnen sich wiederum aus der Summe der Neuzulassungen je Fahrzeugschicht und Jahr multipliziert mit deren Überlebenswahrscheinlichkeit je Fahrzeugschicht und Alter. Es wurde in der Berechnung festgelegt, dass nach 51 Jahren alle Fahrzeuge einer Fahrzeugschicht aus dem Markt ausgeschieden sind.

$$Bestand_{Jahr} = \sum_{F=1}^n B_F = \sum_{F=1}^n \left[ \sum_{i=0}^{50} \left[ NZL_{F,Jahr-i} \times \prod_{k=0}^i \ddot{U}BW_{F,Jahr-k} \right] \right]$$

*B* ...Bestand je Fahrzeugschicht [Stk.]

*NZL* ...Neuzulassungen [Stk.]

*ÜBW* ...Überlebenswahrscheinlichkeit [-]

*Jahr* ...betrachtetes Jahr [-]

*F* ...Fahrzeugschicht

*n* ...Anzahl an Fahrzeugschichten

Gleichung 1: Bestandsberechnung pro Jahr [50]

### 3.2 Fahrleistungsentwicklung

Die Abschätzung der von Kraftfahrzeugen durchschnittlich erbrachten jährlichen Fahrleistung baut auf einigen wenigen Fakten auf. Bis dato wurden nur vereinzelte Erhebungen durchgeführt, welche keine umfassende und vor allem keine über die Jahre zeitlich aufgelöste Bewertung ermöglichen.

Die berechneten jährlichen Fahrleistungen verstehen sich als Produkt aus Bestand und durchschnittlicher jährlicher Fahrleistung pro Fahrzeug. Berücksichtigt wurde dabei, dass Otto- und Diesel-Fahrzeuge bzw. die verschiedenen Fahrzeugkategorien unterschiedliche jährliche Durchschnittsfahrleistungen erbringen. Zudem wurden länderspezifische Unterschiede (Österreich und Deutschland) sowie der Einfluss des Fahrzeugalters (abnehmende durchschnittliche Fahrleistung) berücksichtigt.

Der Einfluss eines stark ansteigenden Kraftstoffpreises auf die durchschnittliche jährliche Fahrleistung wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet. Eine Bewertung der im Ausland erbrachten Fahrleistung inländischer Kraftfahrzeuge bzw. die von ausländischen Kraftfahrzeugen in Österreich erbrachten Fahrleistung ist nicht Teil der Untersuchungen. Je nach Datengrundlagen (Verkehrszählungen, Transportleistungsstatistik, etc.) ergeben sich unterschiedliche Einschätzungen. Insbesondere die überregionale Struktur der Transportindustrie erschwert diese Abschätzungen.

Für die Bemessung der durchschnittlichen Fahrleistungen eines Diesel- bzw. Otto-PKW in Österreich wurden die Quellen [65], [66], [67], [68], [69] und [70] analysiert. Für die Verifizierung der Annahmen wurden die Verbrauchsbilanzen der Mineralölindustrie [71] herangezogen. Für die Bewertung der durchschnittlichen Fahrleistungen von Nutzfahrzeugen, differenziert nach Nutzfahrzeugkategorien in Österreich, wurden die Quellen [68], [69], [72] und [73] untersucht.

Die durchschnittlichen Fahrleistungen von Diesel- bzw. Otto-PKW in Deutschland wurden unter Verwendung von [74], [75], [76], [77] und [78] erarbeitet. Die durchschnittlichen deutschen Nutzfahrzeugfahrleistungen, differenziert nach Nutzfahrzeugkategorien, wurden unter Verwendung von [64], [79] und [80] bestimmt.

Der Einfluss der „Wirtschaftskrise“ auf die Fahrleistungen im Jahr 2009 wurde in dieser Emissionsprognose berücksichtigt. Basierend auf [59], [64], [79], [80], [81], [82] und [83] wurden im Jahr 2009, bezogen auf das Jahr 2008, die Fahrleistungen für Sattelzüge und Lastzüge um 20% und für LKW (solo) um 14% reduziert.

Der Relevanz des Fahrprofils, also wo und wie die Fahrleistung erbracht wird, wird dahingehend Rechnung getragen, dass die Fahrleistungen nach „Innerorts, Außerorts und Autobahn“ differenziert werden. Für diese Differenzierung wurde auf die umfassenden Recherchen von [50] zurückgegriffen und diese Aufteilung übernommen. Die Änderung der Fahrleistung in Abhängigkeit vom Fahrzeugalter wurde ebenfalls [50] entnommen.

Von einer detaillierten Darstellung der durchschnittlichen Fahrleistung pro Kraftfahrzeug, Kraftstoffart, Alter, Fahrprofil und Land wird an dieser Stelle aufgrund des Datenumfanges abgesehen.

Die Berechnung der jährlichen Fahrleistungen des Gesamtbestandes an Kraftfahrzeugen errechnet sich, wie in **Gleichung 2** dargestellt, aus der Summe der Fahrleistungen je Fahrzeugschicht. Diese wiederum werden als Summe der Produkte aus Bestand je Fahrzeugschicht und Alter (mittels Überlebenswahrscheinlichkeit) und durchschnittlicher jährlicher Fahrleistung je Fahrzeugschicht und Alter (mittels Altersfahrleistungsanteil) berechnet.

*Fahrleistung*<sub>Jahr</sub>

$$= \sum_{F=1}^n FL_F = \sum_{F=1}^n \left[ \sum_{i=0}^{50} \left[ \left[ NZL_{F,Jahr-i} \times \prod_{k=0}^i \ddot{U}BW_{F,Jahr-k} \right] \right. \right. \\ \left. \left. \times \sum_{S=1}^3 \left[ FJ_{F,S,Jahr-i} \times \prod_{k=0}^i AFL_{F,S,Jahr-k} \right] \right] \right]$$

- FL* ...Fahrleistung [km]  
*NZL* ...Neuzulassungen [Stk.]  
*ÜBW* ...Überlebenswahrscheinlichkeit [-]  
*FJ* ...durchschnittliche jährliche Fahrleistung [km]  
*AFL* ...Altersfahrleistungsanteil [-]  
*Jahr* ...betrachtetes Jahr [-]  
*F* ...Fahrzeugschicht  
*n* ...Anzahl an Fahrzeugschichten  
*S* ...Straßenkategorie (Innerorts, Außerorts, Autobahn)

Gleichung 2: Fahrleistungsberechnung pro Jahr [50]

### 3.3 Warmemissionen

Unter Warmemissionen werden jene Emissionen verstanden, welche ein Kraftfahrzeug mit Verbrennungsmotor verursacht, wenn der Motor im betriebswarmen Zustand ist. Jene Emissionen, welche durch den Startvorgang und die Warmlaufphase zusätzlich generiert werden, werden im nachfolgenden Kapitel 3.4 - Kaltstartemissionen und Korrekturfaktoren - gesondert behandelt.

Die Warmemissionen oder auch Emissionsfaktoren, angegeben in g/km, wurden je Fahrzeugschicht und Fahrprofil mit Ausnahme der NO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren (für alle Fahrzeugkategorien) und der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren (für das Szenario „Optimaler Fall“ für PKW und leichte Nutzfahrzeuge) dem Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs [84] entnommen.

#### 3.3.1 NO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren

Wie [85], [86] und [87] zu entnehmen ist, steigt seit Euro 1 der Anteil an NO<sub>2</sub> im NO<sub>x</sub>-Abgasnachbehandlungssysteme wie der Dieselpartikelfilter oder auch die Einführung von NO<sub>x</sub>-Abgasnachbehandlungssystemen beeinflussen dieses Verhältnis. Aufgrund der derzeit noch geringen Anzahl an Untersuchungen, vor allem zukünftiger NO<sub>x</sub>-

Abgasnachbehandlungssysteme, wurden im Rahmen dieser Arbeit vier Quellen untersucht und daraus  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -Verhältnisse abgeleitet. Mit diesen Verhältnissen werden aus den  $\text{NO}_x$ -Emissionen die  $\text{NO}_2$ -Emissionen berechnet.

In **Abbildung 9** werden  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -Verhältnisse von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen aus der Literatur wiedergegeben. Der kontinuierliche Anstieg des  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -Verhältnisses über die Gesetzgebungsstufen wird dabei von allen angeführten Untersuchungen bestätigt.

Zu begründen ist die Verschiebung des  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -Verhältnisses unter anderem damit, dass verbrauchsoptimierte Diesel- und Mager-Konzept-Ottomotoren 5 bis 20 Vol.% Sauerstoff im Abgas enthalten. In dieser mageren ( $\lambda > 1$ ) Atmosphäre können Stickstoffoxide nicht reduziert werden. Im ungünstigsten Fall werden diese zu Lachgas umgesetzt. [88]

Die magere Verbrennung bei gleichzeitig hohen mittleren Prozesstemperaturen und hohen lokalen Spitzentemperaturen des Dieselmotors führt im Vergleich zum Ottomotor zu deutlich höheren Emissionen. Siehe hierzu auch [89] und [90].

Die Umsetzung von Euro 6, welche die Einführung von  $\text{NO}_x$ -Abgasnachbehandlungssystemen erfordert, lässt eine Reduktion der  $\text{NO}_2$ -Emissionen erwarten. Die Potentiale dieser Systeme werden ausführlich in [91] und [92] diskutiert. **Abbildung 10** zeigt die Entwicklung für schwere Nutzfahrzeuge mit Dieselmotor. Der Trend ist vergleichbar, wenngleich weniger stark ausgeprägt.

Die für die nachfolgenden Emissionsberechnungen gewählten  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -Verhältnisse der Kraftfahrzeuge mit Dieselmotor werden in **Abbildung 11** dargestellt. Dabei wurde für jede Emissionsklasse ein Durchschnittswert aus den betrachteten Quellen berechnet. Leichte Nutzfahrzeuge werden wie Personenkraftwagen eingestuft.

Kraftfahrzeuge mit Ottomotoren weisen ein sehr niedriges  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$  Verhältnis zwischen 1% und 10% auf [27], [85]. In den durchgeführten Berechnungen wird für Otto-PKW und leichte Otto-Nutzfahrzeuge im Mittel ein Verhältnis von 5% angesetzt.

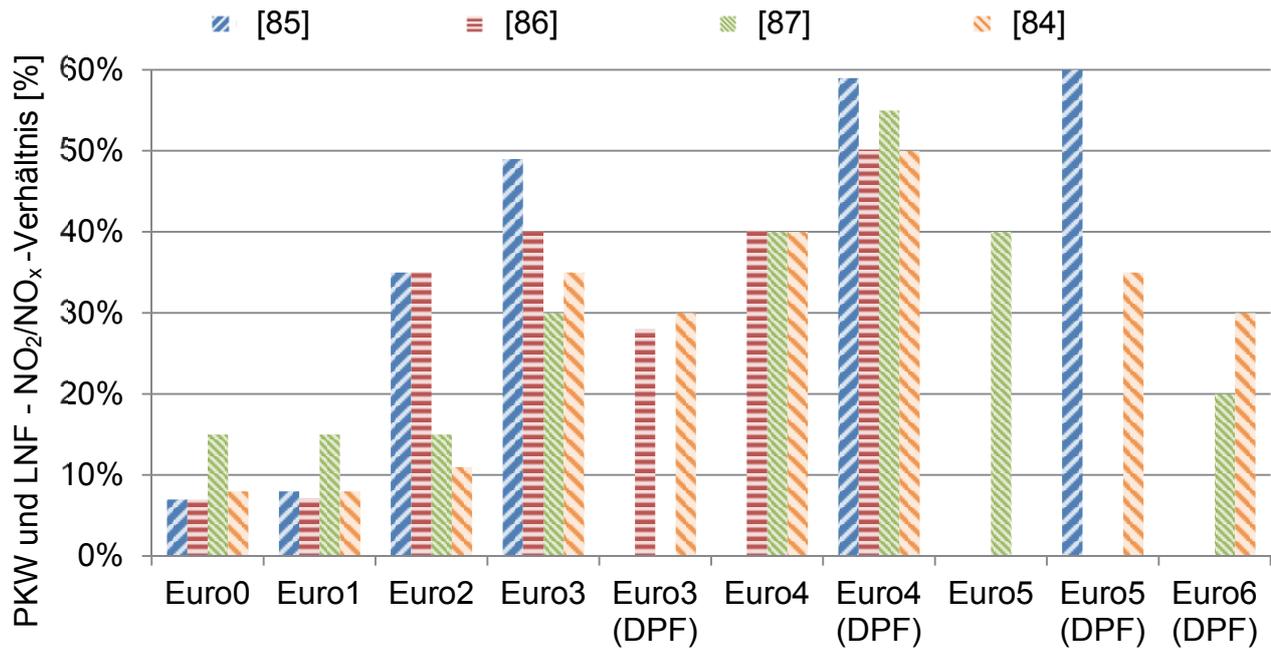


Abbildung 9: NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> Massenverhältnisse (als NO<sub>2</sub> Äquiv.) für Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen mit Dieselmotor [85], [86], [87], [84]

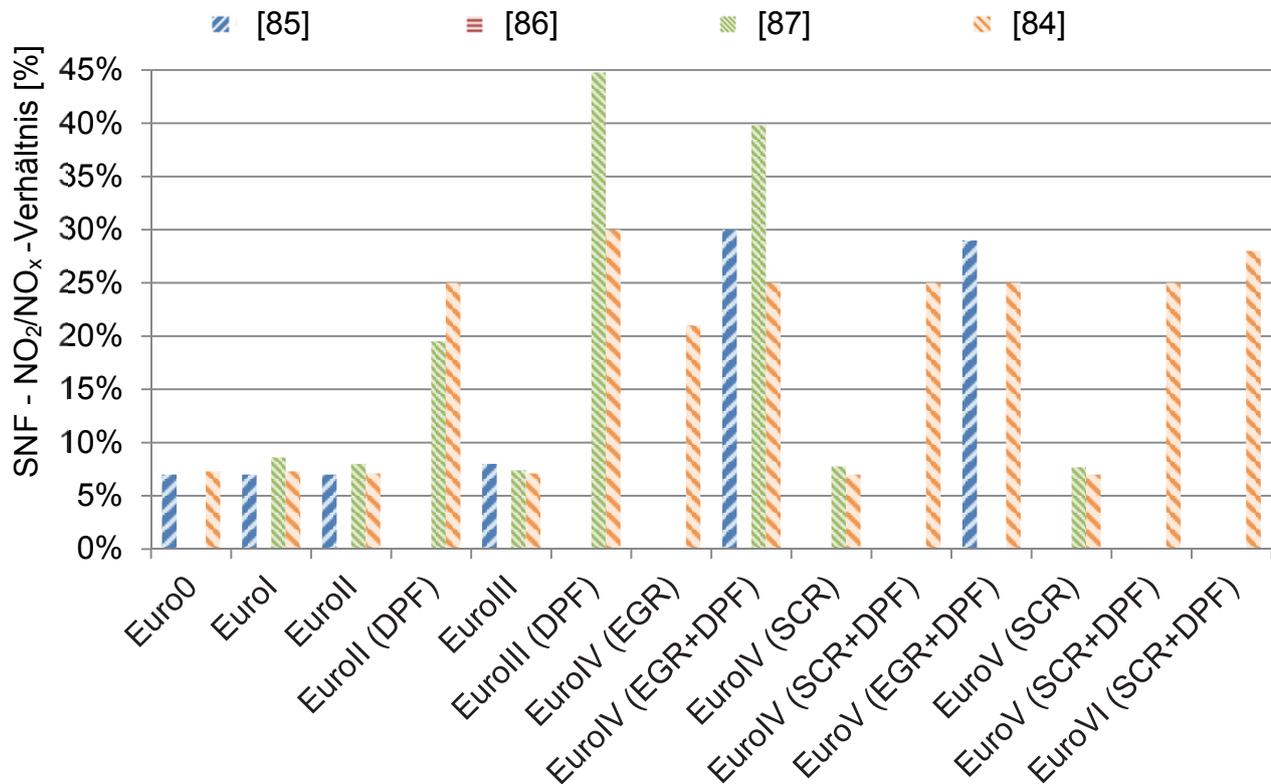


Abbildung 10: NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> Massenverhältnisse (als NO<sub>2</sub> Äquiv.) für schwere Nutzfahrzeuge mit Dieselmotor [85], [86], [87], [84]

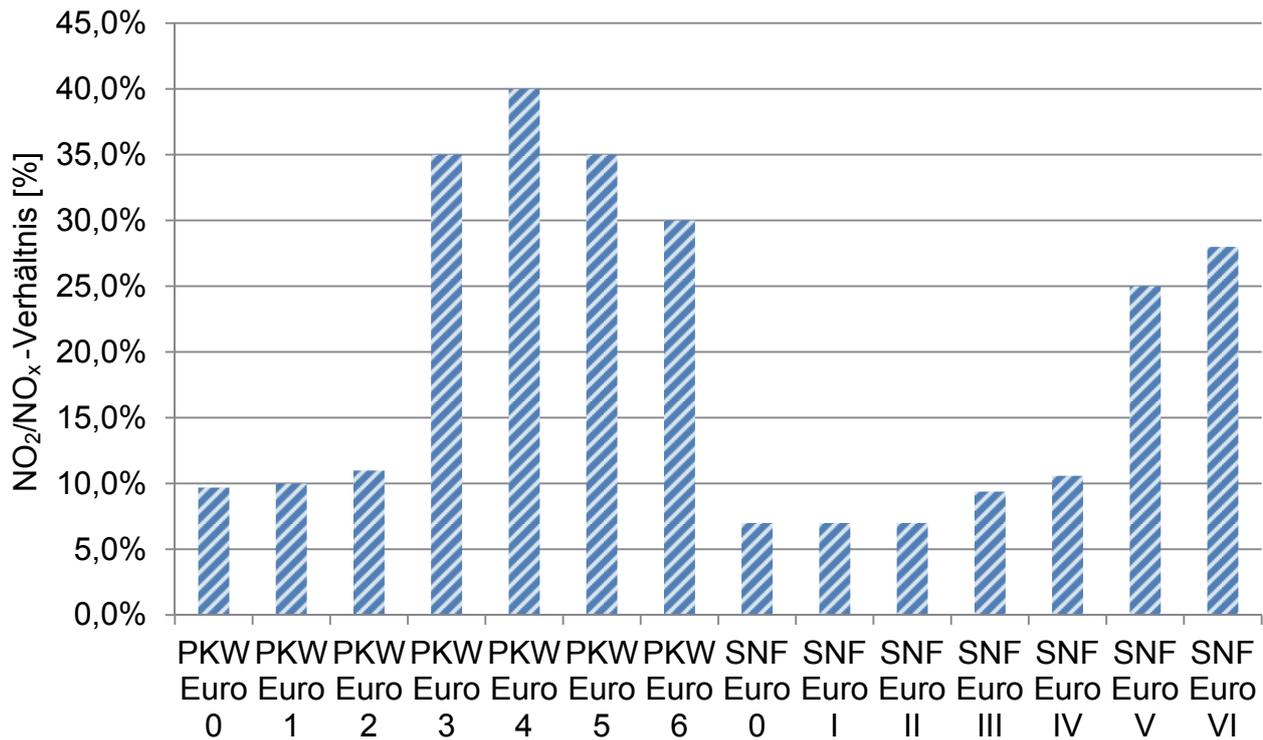


Abbildung 11: Gewählte NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> Massenverhältnisse (als NO<sub>2</sub> Äquiv.) für Kraftfahrzeuge mit Dieselmotor

### 3.3.2 CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren

Für das in Kapitel 4.6 berechnete Szenario „Optimaler Fall“ wurde angenommen, dass die in Kapitel 2.1.2 erläuterten Vorgaben und Ziele eingehalten werden.

In der Berechnung der CO<sub>2</sub>-PKW-Emissionen wurde dies mit den in **Tabelle 14** ausgewiesenen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren umgesetzt.

Jahr	Ottomotor gCO <sub>2</sub> /km	Dieselmotor gCO <sub>2</sub> /km
<b>2012</b>	140	120
<b>2020</b>	105	85
<b>2030</b>	95	75

Tabelle 14: Durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Emissionen in g/km der neu zugelassenen PKW-Flotte nach Otto- und Dieselmotor

In der Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen leichter Nutzfahrzeuge der Kategorie N1 wurde dies mit den in **Tabelle 15** ausgewiesenen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren umgesetzt.

Jahr	Klasse	Ottomotor gCO <sub>2</sub> /km	Dieselmotor gCO <sub>2</sub> /km
2014	I	140	120
	II	157	159
	III	238	200
2020	I	105	85
	II	118	112
	III	179	142
2030	I	95	75
	II	107	99
	III	162	125

Tabelle 15: Durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Emissionen in g/km der neu zugelassenen leichten Nutzfahrzeug-Flotte (Kategorie N1) nach Otto- und Dieselmotor

### 3.4 Kaltstartemissionen und Korrekturfaktoren

Die Berechnungsmethodik der Kaltstartemissionen sowie die der Korrekturfaktoren für Höhe und Längsneigung wurde aus [50] übernommen. Die fahrzeugspezifischen Kaltstartemissionsfaktoren und Korrekturfaktoren wurden aus [50] sowie dem Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs [84] entnommen. Von einer detaillierten Beschreibung wird an dieser Stelle abgesehen, da dies keinen wesentlichen Teil der Arbeit darstellt.

### 3.5 Berechnungsalgorithmus

Die Emissionen werden je chemischer Komponente und Jahr ermittelt. Der Berechnungsalgorithmus entspricht dem in **Gleichung 3** dargestellten mathematischen Zusammenhang zwischen Bestand, Fahrleistung und Emissionsfaktoren. Grundsätzlich werden die Fahrzeugbestände mit den erbrachten Fahrleistungen sowie den spezifischen Warm-Emissionsfaktoren und den Korrekturfaktoren

multipliziert. Nicht linearer Bestandteil der Berechnung ist die Addition der Kaltstartemissionen.

Die Emissionsberechnung erfolgt im Detail je Fahrzeugschicht, Alter des Fahrzeuges und Straßenkategorie.

$$\begin{aligned}
 & \text{Bestand je Fahrzeugschicht} \\
 & \text{und Fahrzeugalter} \\
 \text{Emissionen}_{\text{Jahr}} &= \sum_{F=1}^n \left[ \sum_{i=0}^{50} \left[ \underbrace{NZL_{F,\text{Jahr}-i} \times \prod_{k=0}^i \text{ÜBW}_{F,\text{Jahr}-k}}_{\text{Fahrleistung je Fahrzeugschicht, Fahrzeugalter und Straßenkategorie}} \right] \right. \\
 & \times \sum_{S=1}^3 \left[ \left[ \underbrace{FJ_{F,S,\text{Jahr}-i} \times \prod_{k=0}^i AFL_{F,S,\text{Jahr}-k}}_{\text{Fahrleistung je Fahrzeugschicht, Fahrzeugalter und Straßenkategorie}} \right] \times EF_{F,S,\text{Jahr}-i} \times K_{F,S,\text{Jahr}-i} \right] \\
 & \left. + KS_{F,\text{Jahr}-i} \right]
 \end{aligned}$$

- NZL* ...Neuzulassungen [Stk.]  
*ÜBW* ...Überlebenswahrscheinlichkeit [-]  
*FJ* ...durchschnittliche jährliche Fahrleistung [km]  
*AFL* ...Altersfahrleistungsanteil [-]  
*EF* ...Warm-Emissionsfaktor [g/km]  
*K* ... Korrekturfaktor f(Längsneigung, Meereshöhe) [-]  
*KS* ... Kaltstartzuschlag [g]  
*Jahr* ...betrachtetes Jahr [-]  
*F* ...Fahrzeugschicht  
*n* ...Anzahl an Fahrzeugschichten  
*S* ...Straßenkategorie (Innerorts, Außerorts, Autobahn)

Gleichung 3: Berechnung der jährlichen Emissionen je chemischer Komponente [50]

## **4 Emissions- und Immissionsentwicklung der im Fokus stehenden chemischen Komponenten**

Im Folgenden werden, zur Bewertung des Status Quo und der zu erwartenden Reduktionspotentiale, die Emissions- und Immissionsentwicklungen jener chemische Komponenten, welche gemäß Kapitel 2.4 im Fokus dieser Arbeit stehen (CO, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, PM, SO<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub>), untersucht.

Die Emissionsentwicklungen wurden mit PROVEM, dem in Kapitel 3 erörterten Softwaretool, berechnet und verstehen sich als Prognosen unter den gesetzten Rahmenbedingungen. Dargestellt werden die Berechnungsergebnisse des Zeitraumes 1990 bis 2030, um die bisherige Entwicklungen und die Auswirkungen bereits gesetzter rechtlicher und technischer Maßnahmen auf die zukünftigen Emissionen zu bewerten.

Die im Folgenden wiedergegebenen Immissionsentwicklungen basieren auf, bei Behörden und Ämtern erhobenen Jahresmittelwerten der Luftqualität der Länder Österreich und Deutschland. Der abgebildete Zeitraum zeigt mit 1991 bis 2008 einen Blick auf die Vergangenheit. Eine Prognose der Immissionssituation ist nicht auf triviale Weise möglich, da eine Vielzahl unterschiedlicher Emittenten sowie Umwelt- und Klimabedingungen die Luftqualität mit hoher Dynamik beeinflussen.

Zur Bewertung des Einflusses des Straßenverkehrs auf die Luftqualität werden die Entwicklungen der Immissionskonzentrationen, differenziert nach Messstationen, im städtischen Hintergrund und verkehrsnah dargestellt.

### **4.1 Kohlenmonoxid – CO**

Kohlenmonoxid wird sowohl emissions- als auch immissionsseitig reglementiert und steht daher im Fokus der Betrachtung. Im Folgenden wird zunächst unter den gewählten Annahmen die Emissionsentwicklung und im Weiteren die Immissionsentwicklung bewertet.

#### 4.1.1 Emissionsentwicklung von Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen

Die Einführung des Dreiwegekatalysators bei Ottomotoren führte im Straßenverkehrssektor zu einer erheblichen Reduktion der CO-Emissionen. Zudem sorgte der Oxidationskatalysator in Dieselfahrzeugen für eine weitere Minderung. Das kontinuierliche Ausscheiden von alten Kraftfahrzeugen ohne Katalysator führte bzw. führt zu einer deutlichen Herabsetzung des Emissionsniveaus im betrachteten Zeitraum.

##### 4.1.1.1 Österreich

Nachkommend werden die Berechnungsergebnisse der CO-Emission von Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen in Österreich angeführt.

**Abbildung 12** gibt die berechnete Entwicklung und Prognose der CO-Emissionen der Otto- und Diesel-PKW in Österreich wieder. Im Jahr 1990 belief sich der Beitrag der dieseltreibenden PKW auf 1%. Im Jahr 2030 steigt dieser Beitrag – zufolge umfangreicher Emissionsreduktionen der Ottomotoren und der Bestandszunahme an Diesel-PKW (siehe Kapitel 3.1.1) – auf 9%. Dennoch bleibt der Dieselmotor von sekundärer Bedeutung.

Insgesamt wird zwischen 1990 und 2030 im PKW-Sektor eine Reduktion der CO-Emissionen von 92% erreicht. Dies ist eine beachtliche Minderung, wenn berücksichtigt wird, dass der Bestand an PKW und die erbrachten Fahrleistungen im Jahr 2030 deutlich über dem Niveau von 1990 liegen (siehe Kapitel 3.1 und Kapitel 3.2).

Diese Bestands- und Fahrleistungszunahme ist gemeinsam mit den nicht mehr weiter abgesenkten CO-Emissionsgrenzwerten seit Euro 4 dafür verantwortlich, dass es zu einer Stabilisierung des niedrigen Emissionsniveaus kommt und ab 2005 Emissionsreduktionen vorwiegend durch das Ausscheiden älterer PKW erreicht werden.

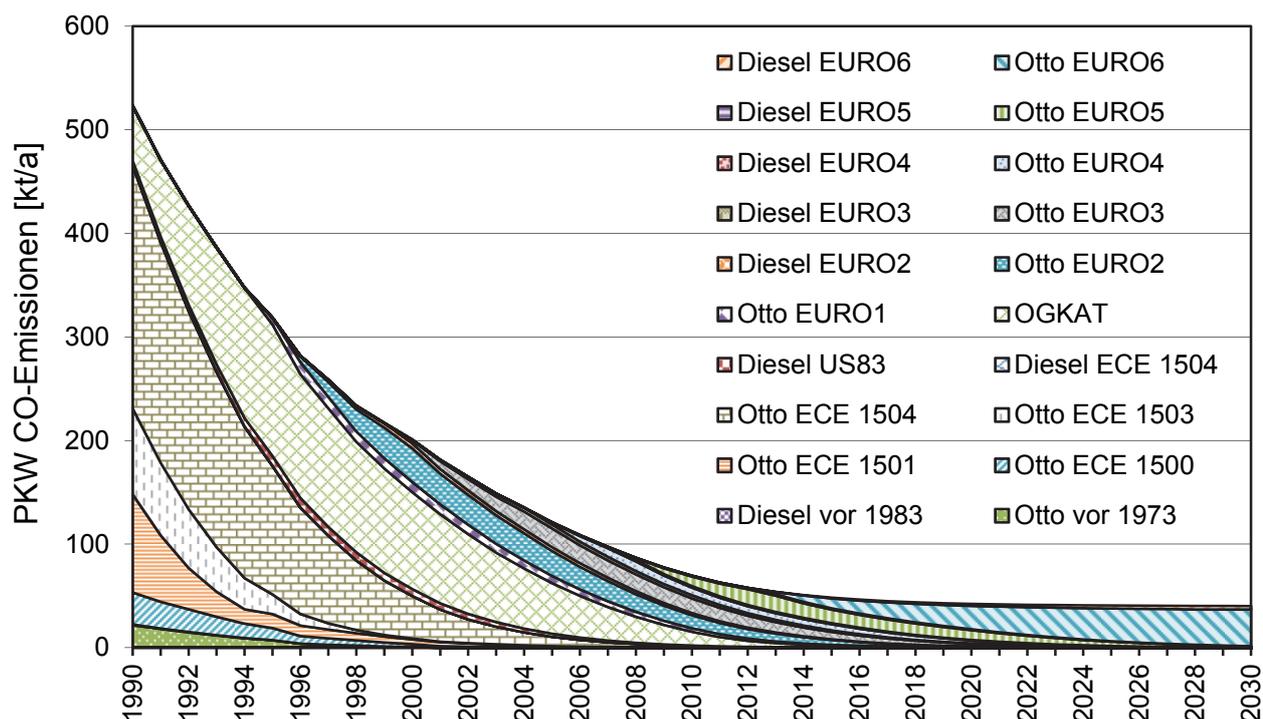


Abbildung 12: Entwicklung und Prognose der PKW CO-Emissionen in Österreich in kt/a

Die in **Abbildung 13** dargestellten CO-Emissionen des Nutzfahrzeugsektors zeigen ebenfalls die Dominanz des Ottomotors auf (siehe „Lieferwagen Otto“). Die durch die Einführung des Dreiwegekatalysators verbesserten Emissionen des Ottomotors und die Bestandsentwicklung hin zum Dieselmotor führen im Nutzfahrzeugbereich zu einer Reduktion der CO-Emissionen von 93% im Zeitraum 1990 bis 2030.

Der im Jahr 2009 erkennbare „Knick“ in der Emissionsentwicklung ist mit dem durch die weltweite „Wirtschaftskrise“ einhergehenden Fahrleistungs- und Absatzeinbruch im Transportsektor zu erklären (siehe hierzu Kapitel 3.1 und Kapitel 3.2).

Auch im Nutzfahrzeugsektor kommt es auf Grund der Gleichhaltung des Grenzwertes seit Euro 4 und der starken Bestands- und Fahrleistungszunahme zu einer Stabilisierung des niedrigen Emissionsniveaus.

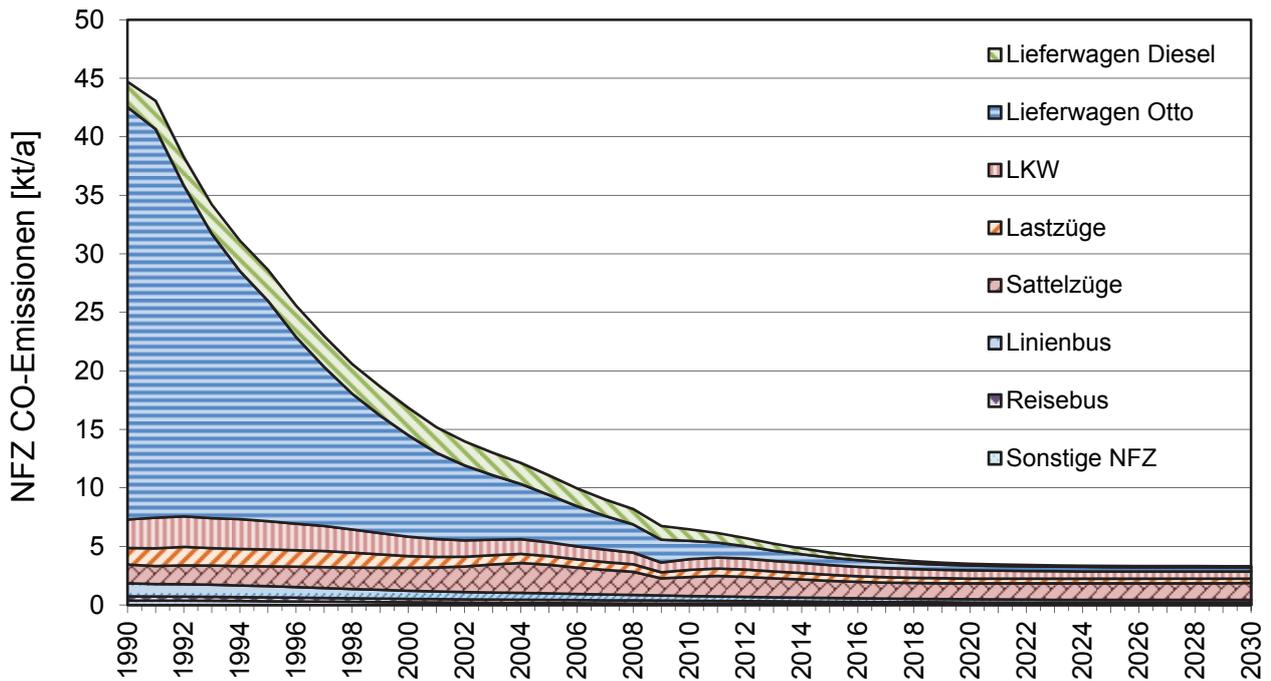


Abbildung 13: Entwicklung und Prognose der Nutzfahrzeug CO-Emissionen in Österreich in kt/a

Der in **Abbildung 14** wiedergegebene Sektorenvergleich für Österreich bestätigt den starken Rückgang des Verkehrseinflusses auf die CO-Emissionen. [93] Zukünftig werden die Sektoren Kleinverbraucher und Industrie die dominierenden CO-Emittenten sein. Insgesamt sind jedoch in allen Bereichen Reduktionen zu verzeichnen.

Die Emissionsberechnungen für den Verkehr basieren dabei auf den im Inland verkauften Kraftstoffen. Dieser dient als Referenzwert, auf welchen die Emissionsberechnung abgestimmt wird. [93]

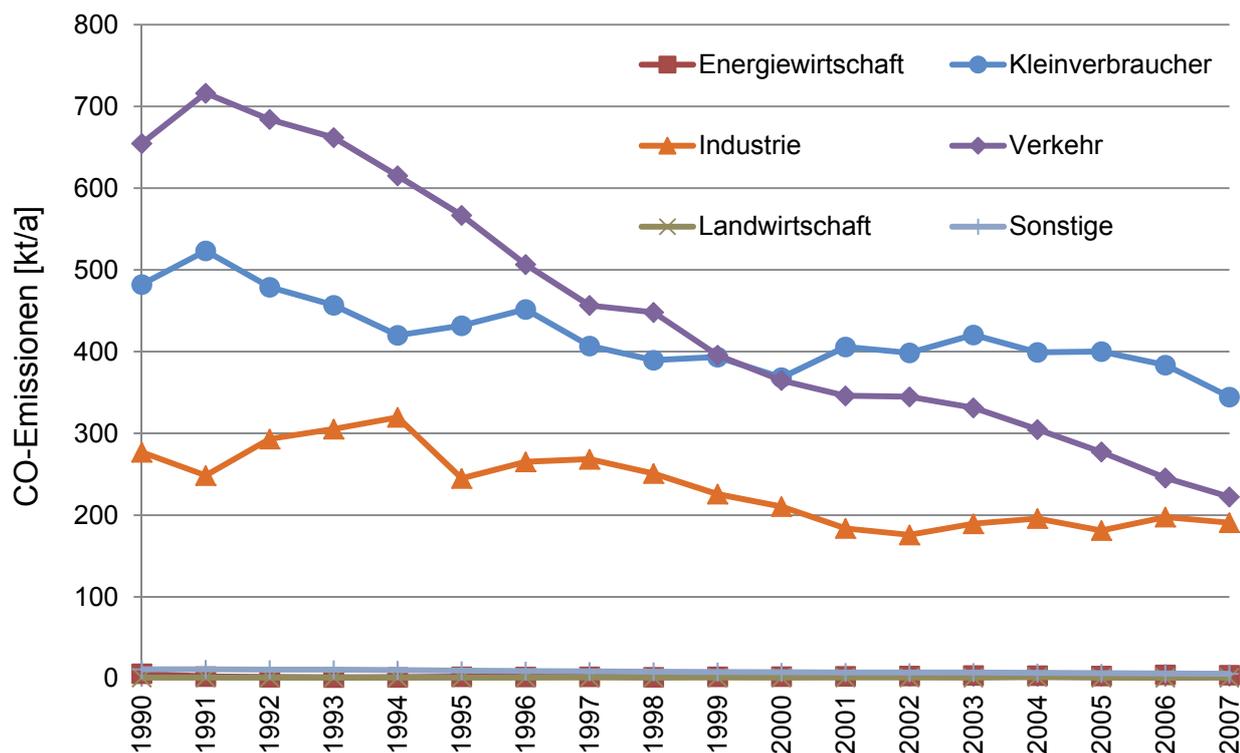


Abbildung 14: Sektorenvergleich<sup>34</sup> der CO-Emissionen in Österreich [93]

#### 4.1.1.2 Deutschland

In Deutschland ergibt sich ein mit Österreich vergleichbarer Emissionsverlauf. **Abbildung 15** und **Abbildung 16** geben diese Entwicklungen wieder. Im PKW-Sektor führen die gesetzten Maßnahmen zwischen 1990 und 2030 zu einer Reduktion von 96%. Im Bereich der Nutzfahrzeuge liegt die Abnahme der CO-Emissionen in diesem Zeitraum bei 85%.

<sup>34</sup> Die Emissionsberechnungen des Sektorenvergleichs basieren dabei auf den im Inland verkauften Kraftstoffen. Die Emissionen des Verkehrssektors beinhalten somit auch jene Emissionen, die aufgrund des im Inland verkauften, aber im Ausland verfahrenen Kraftstoffes entstehen (d.h. inkl. Tanktourismus). Der Sektor Verkehr beinhaltet zudem die Bereiche Straßenverkehr, Bahnverkehr, Schifffahrt, nationaler Flugverkehr und Kompressoren der Gaspipelines. Der land- und forstwirtschaftlichen Verkehr sowie Militär sind im Sektor Haushalte und Kleinverbraucher enthalten.

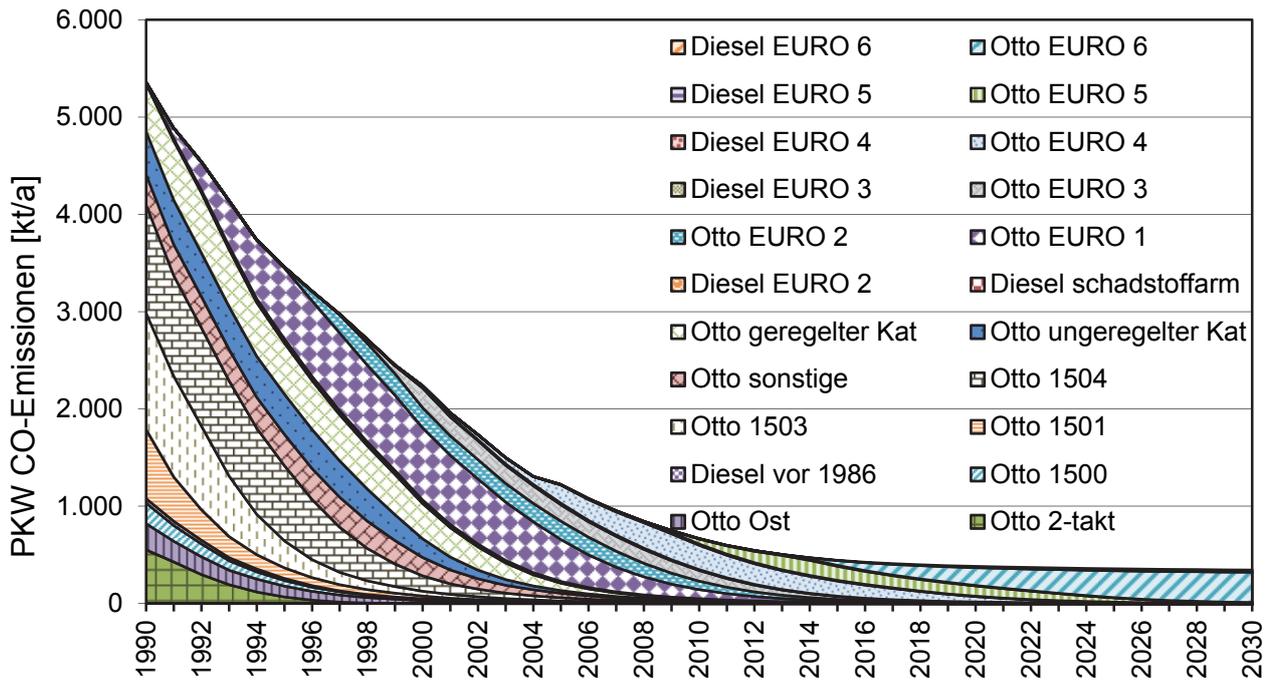


Abbildung 15: Entwicklung und Prognose der PKW CO-Emissionen in Deutschland in kt/a

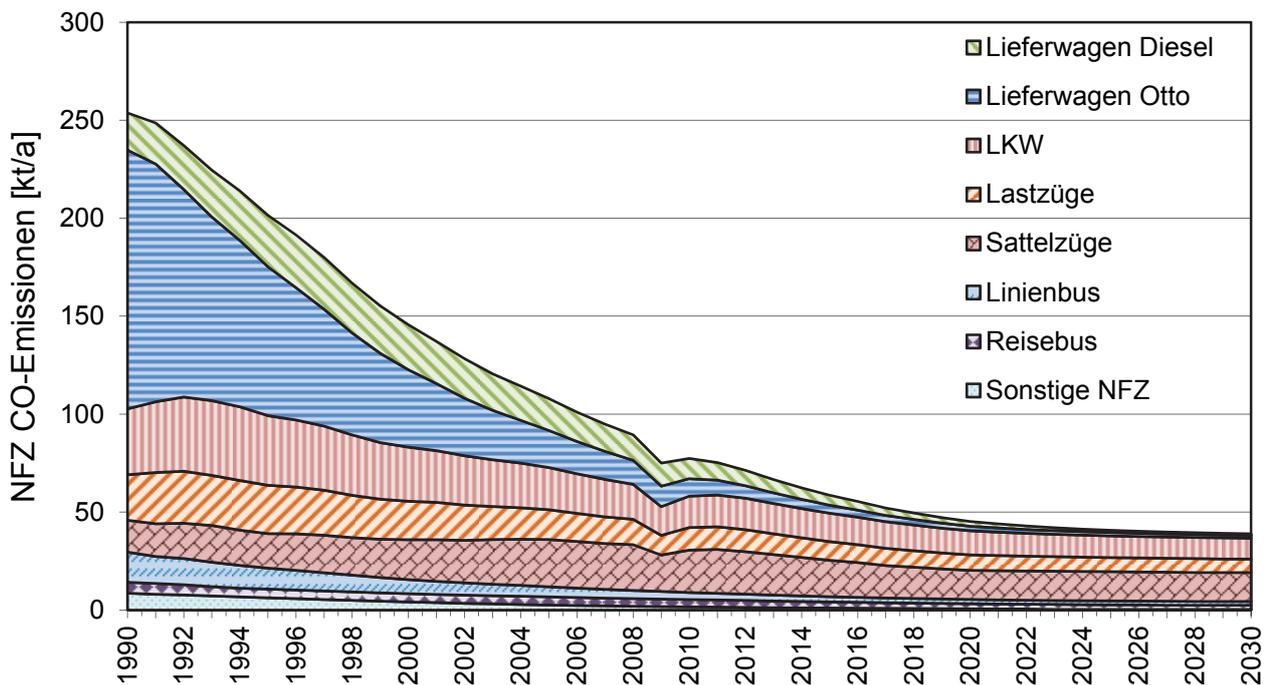


Abbildung 16: Entwicklung und Prognose der Nutzfahrzeug CO-Emissionen in Deutschland in kt/a

Der in **Abbildung 17** wiedergegebene Sektorenvergleich für Deutschland bestätigt den starken Rückgang des Verkehrseinflusses auf die CO-Emissionen. [94] Gemäß dem aus Abbildung 15 und Abbildung 16 zu entnehmenden Trend wird mittelfristig der Verkehrssektor weiter an Priorität verlieren.

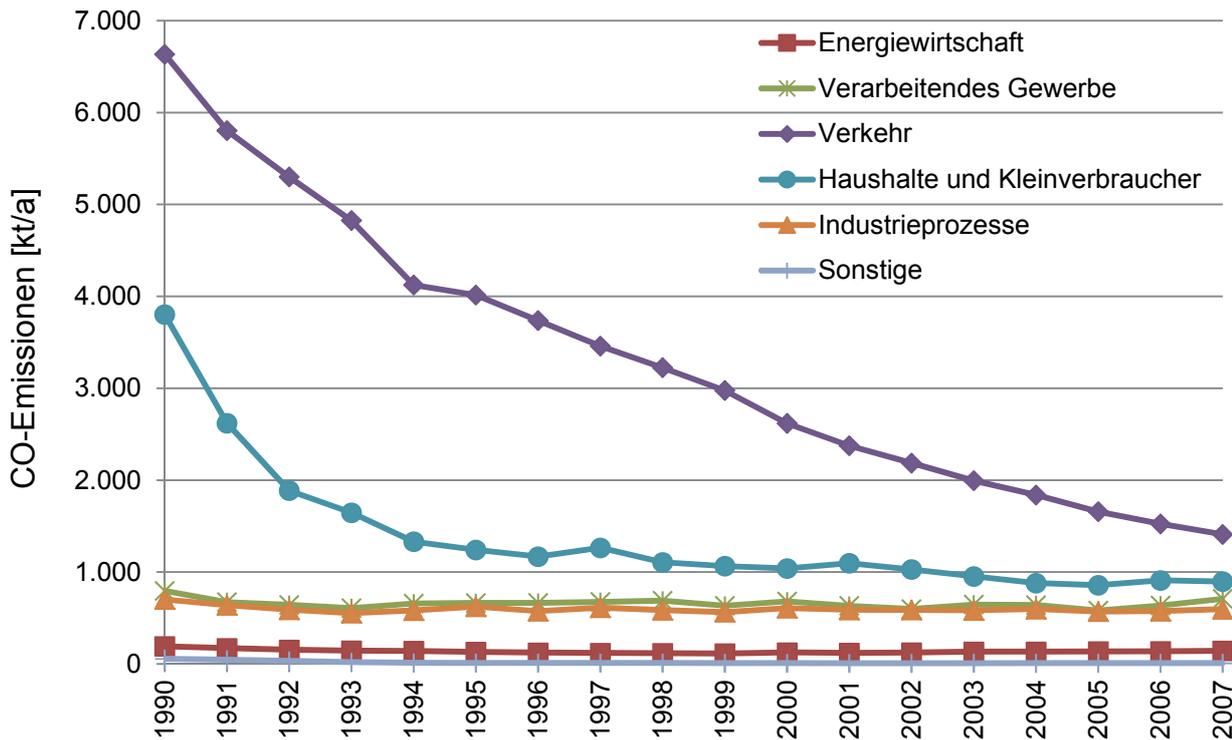


Abbildung 17: Sektorenvergleich<sup>35</sup> der CO-Emissionen in Deutschland [94]

#### 4.1.2 Immissionsentwicklung

Für die chemische Komponente CO zeigt sich sowohl an den Messstellen im städtischen Hintergrund in **Abbildung 18** als auch an den verkehrsnahen Messstellen in **Abbildung 19** eine abnehmende Tendenz. Die Konzentrationswerte sinken im Durchschnitt im Hintergrund zwischen 1991 und 2008 um 61%. An den Verkehrsmessstellen wird eine Reduktion von 75% erreicht.

Das Konzentrationsniveau an verkehrsnahen Messstellen, welches 1991 noch um den Faktor 2,6 über dem Hintergrundniveau lag, nähert sich stetig dem städtischen Hintergrund an, sodass es 2008 um den Faktor 1,7 höher liegt.

<sup>35</sup> Siehe Fußnote 34, Seite 43

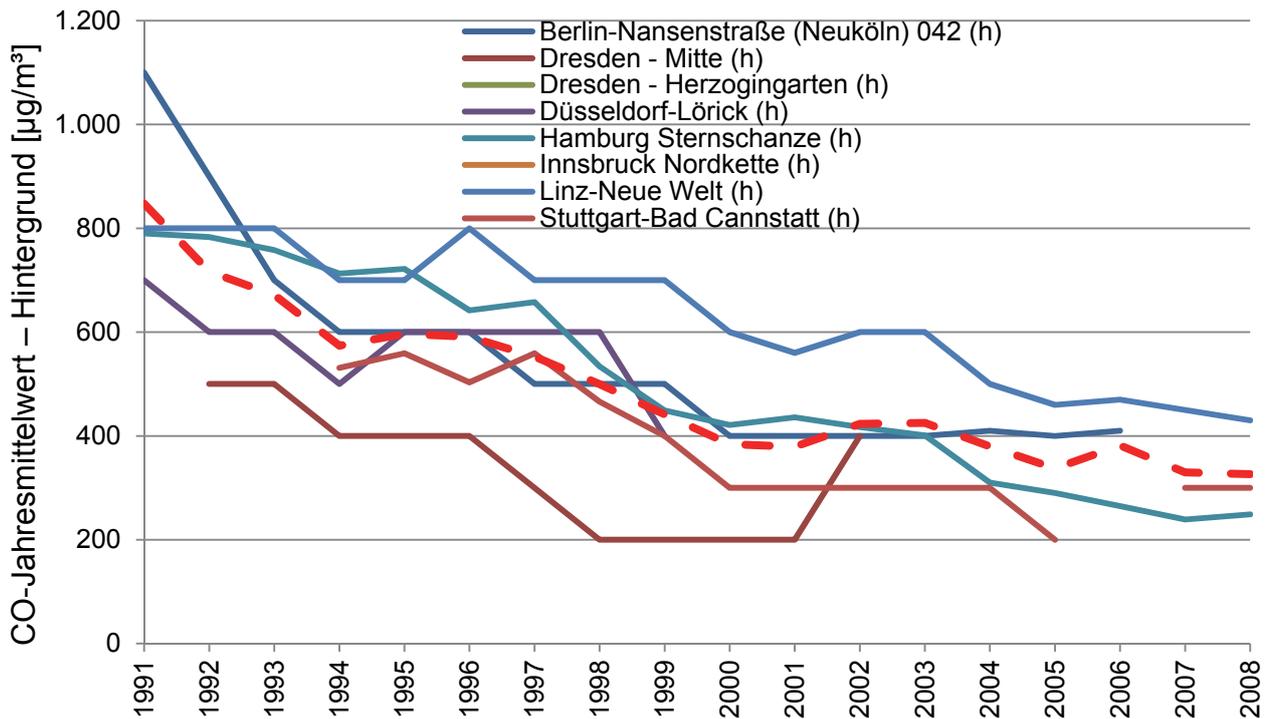


Abbildung 18: CO-Jahresmittelwerte der Immissionskonzentration an ausgewählten städtischen Hintergrundmessstellen (h) [95], [96], [97], [98], [99], [100], [101], [102]

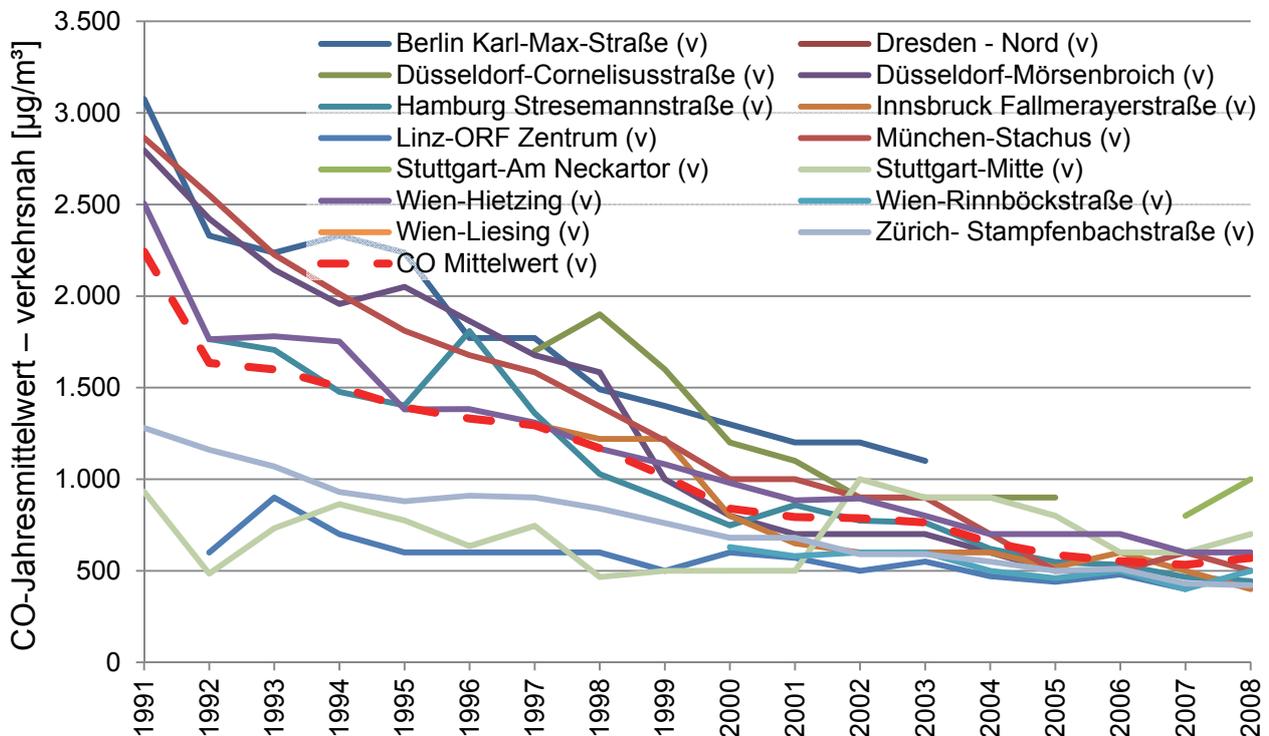


Abbildung 19: CO-Jahresmittelwerte der Immissionskonzentration an ausgewählten Verkehrsmessstellen (v) [95], [96], [97], [98], [99], [100], [101], [102], [103]

## 4.2 Stickstoffoxide – NO<sub>x</sub>

Stickstoffoxid wird wie Kohlenmonoxid sowohl emissions- als auch immissionsseitig reglementiert. Dementsprechend werden im Folgenden die Emissions- und Luftqualitätsentwicklungen analysiert.

### 4.2.1 Emissionsentwicklung von Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen

Im Vergleich zu den CO-Emissionen werden die NO<sub>x</sub>-Emissionen nach Einführung des Dreiwegekatalysators vorrangig von Dieselmotoren bestimmt. Zudem liegen die NO<sub>x</sub>-Emissionen des PKW- und des Nutzfahrzeugsektors etwa auf gleichem Niveau. Im Gegensatz zu den CO-Emissionen, bei denen die Nutzfahrzeugemissionen um eine Größenordnung niedriger sind als jene des PKW-Sektors.

Seitens des Gesetzgebers werden für Personenkraftwagen, leichte Nutzfahrzeuge und schwere Nutzfahrzeuge mit Dieselmotor stetig sinkende NO<sub>x</sub>-Emissionsgrenzwerte vorgeschrieben (siehe Kapitel 2.1.1). Insbesondere von Euro 5 auf Euro 6 wird der Grenzwert um 56% (PKW und leichte Nutzfahrzeuge) bzw. um 80% (schwere Nutzfahrzeuge) abgesenkt. Insgesamt wird der NO<sub>x</sub>-Grenzwert von Euro 3 auf Euro 6 um 84% bzw. 92% reduziert.

Diese umfangreichen Reduktionen werden neben innermotorischen Maßnahmen auch neue Wege der Abgasnachbehandlung erfordern [27], auf welche zufolge des Umfangs der Ausführungen im Rahmen dieser Arbeit nicht näher eingegangen wird.

Das erwartete Emissionsreduktionspotential dieser Technologien wird durch die aktualisierten Emissionsfaktoren in [84] beschrieben und in den folgenden Emissionsentwicklungen ausgewiesen. Zur Beschreibung der Wirkfähigkeit wurde in Ergänzung zur erwarteten Emissionsentwicklung ein Szenario Euro 5 = Euro 6 berechnet. In diesem Szenario werden für die Fahrzeuge der Emissionsstufe Euro 6 die höheren Emissionsfaktoren nach [84] der Fahrzeuge der Emissionsstufe Euro 5 verwendet, um das Absenkpotential von Euro 6 zu zeigen.

#### 4.2.1.1 Österreich

Trotz umfangreicher Reduktionen der zulässigen Grenzwerte führte der starke Anstieg des PKW-Dieselbestandes der letzten beiden Jahrzehnte (siehe Kapitel 3.1.1) zu einer weniger intensiven Emissionsreduktion im Vergleich zu den CO-Emissionen. **Abbildung 20** gibt diese Entwicklung wieder. Der Rückgang des „Dieselbooms“ und vor allem die sehr strengen Grenzwerte der Abgasgesetzgebungsstufe Euro 6 (siehe Kapitel 2.1.1) führen bis zum Jahr 2030 jedoch zu einem Emissionsrückgang von 86%, bezogen auf das Jahr 1990. Im Jahr 2030 werden in der Prognose die NO<sub>x</sub>-Emissionen der Personenkraftwagen mit einem Anteil von 73% von den dieselbetriebenen Personenkraftwagen dominiert.

Der Darstellung ist die Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen, bedingt durch die Einführung der Euro 6 Grenzwerte und der damit einhergehenden NO<sub>x</sub>-Reduktionstechnologien, zu entnehmen (roter Pfeil). Die Einführung von Euro 6 führt im Sektor PKW im Zeitraum 2012 bis 2030 gegenüber einer Fortführung von Euro 5 (strichlierte Linie) zu einer beträchtlichen NO<sub>x</sub>-Emissionsreduktion von 117 kt bzw. 32% (roter Pfeil).

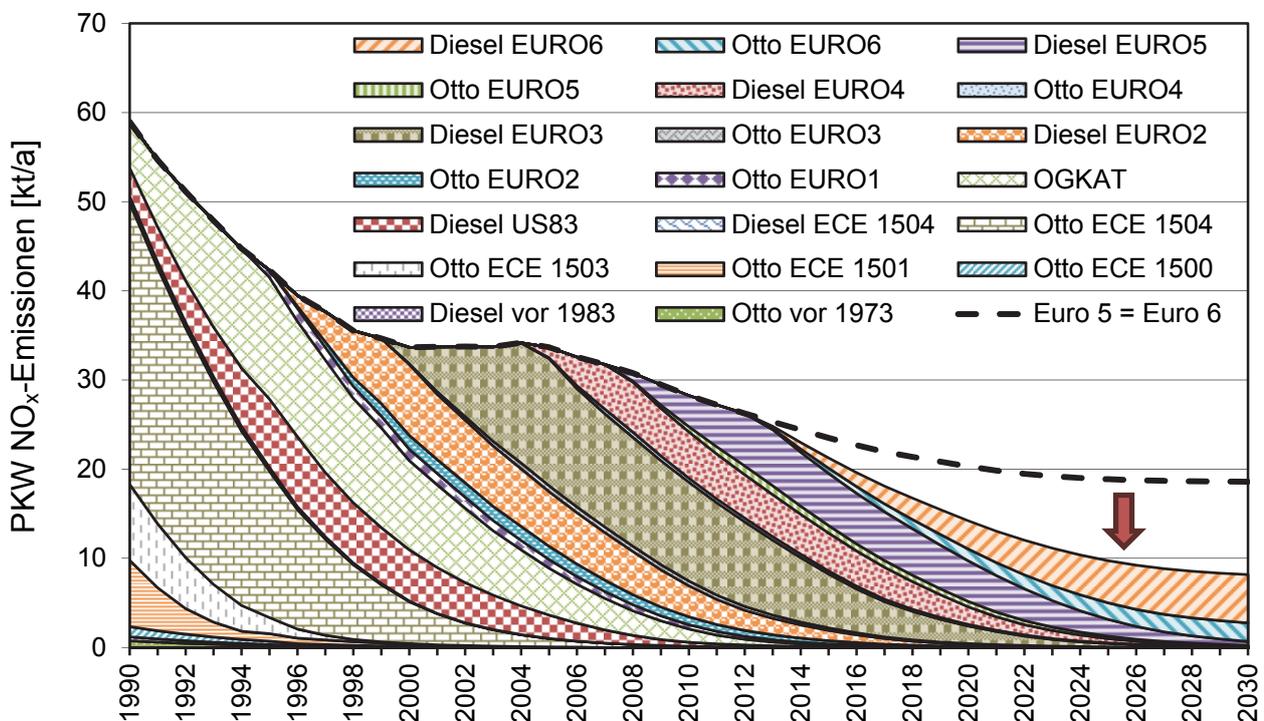


Abbildung 20: Entwicklung und Prognose der PKW NO<sub>x</sub>-Emissionen in Österreich in kt/a

Auch die in **Abbildung 21** dargestellte Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Nutzfahrzeugsektors zeigt die Wirksamkeit der Grenzwerteabsenkungen (insbesondere ab Euro III) auf. Es wird eine Reduktion um 89% zwischen 1990 und 2030 erreicht.

Der Einfluss der Euro VI-Grenzwerte und der damit verbundenen Reduktionstechnologien auf die NO<sub>x</sub>-Emissionen wird durch die Differenz zum Szenario „Euro 5 = Euro 6“ (roter Pfeil) dargestellt. Die Umsetzung der Euro VI-Grenzwerte führt im Zeitraum 2009 bis 2030 zu einer NO<sub>x</sub>-Reduktion im Nutzfahrzeugsektor von 60% bzw. 218 kt.

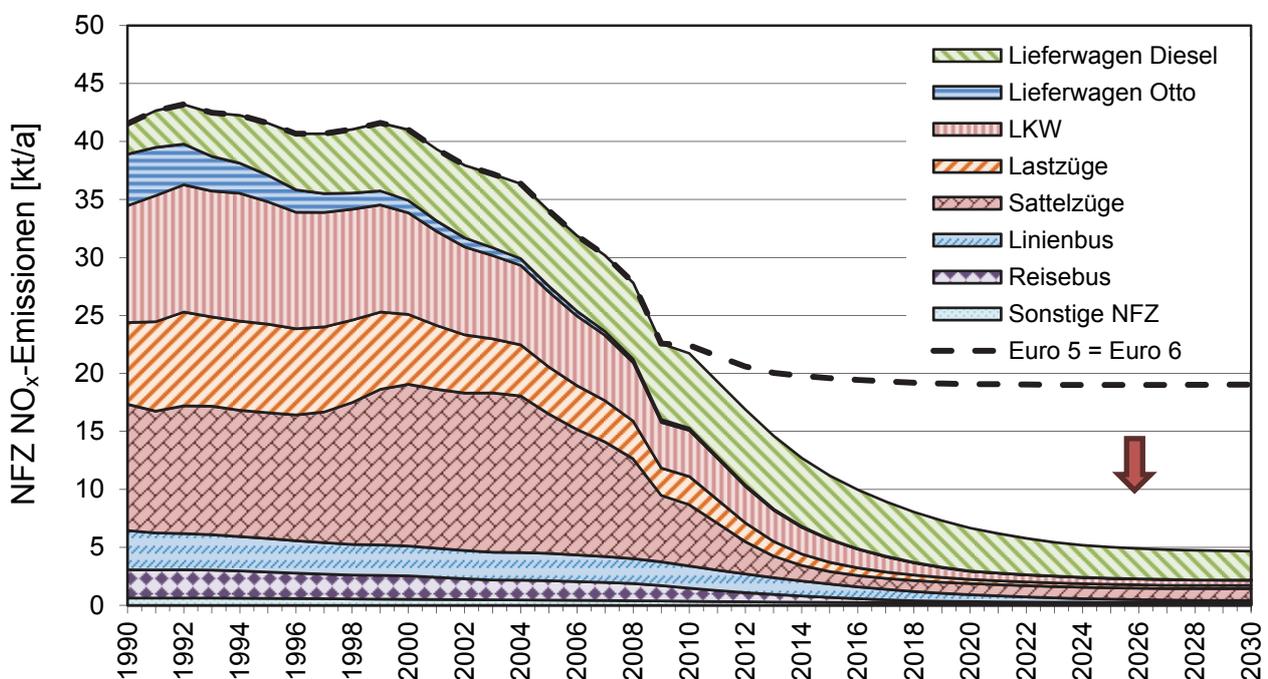


Abbildung 21: Entwicklung und Prognose der Nutzfahrzeug NO<sub>x</sub>-Emissionen in Österreich in kt/a

Der in **Abbildung 22** wiedergegebene Sektorenvergleich für Österreich zeigt für den Zeitraum 1990 bis 2007 ein deutlich anderes Bild als die im obigen berechneten Emissionsentwicklungen für PKW und NFZ. [93] Der dramatische Verkehrseinfluss ist durch die Berücksichtigung des Tanktourismus zu erklären. In der in [93] durchgeführten Berechnung wird der gesamte in Österreich abgesetzte Kraftstoff (d.h. inkl. Tanktourismus) zur Emissionsberechnung herangezogen. Es wird somit von einer überhöhten, in Österreich nicht generierten Fahrleistung ausgegangen. Der in der Darstellung angeführte NO<sub>x</sub>-Summenwert für Personenkraftwagen und

Nutzfahrzeuge dieser Arbeit macht den Einfluss des Tanktourismus (violetter Pfeil) deutlich.

Der Straßenverkehr ist auch nach Bereinigung des Tanktourismus der dominierende Emittent in Österreich. Aber etwa ab 2015 sind umfassende Reduktionen durch die Einführung der Euro 6-bedingten NO<sub>x</sub>-Reduktionstechnologien zu erwarten.

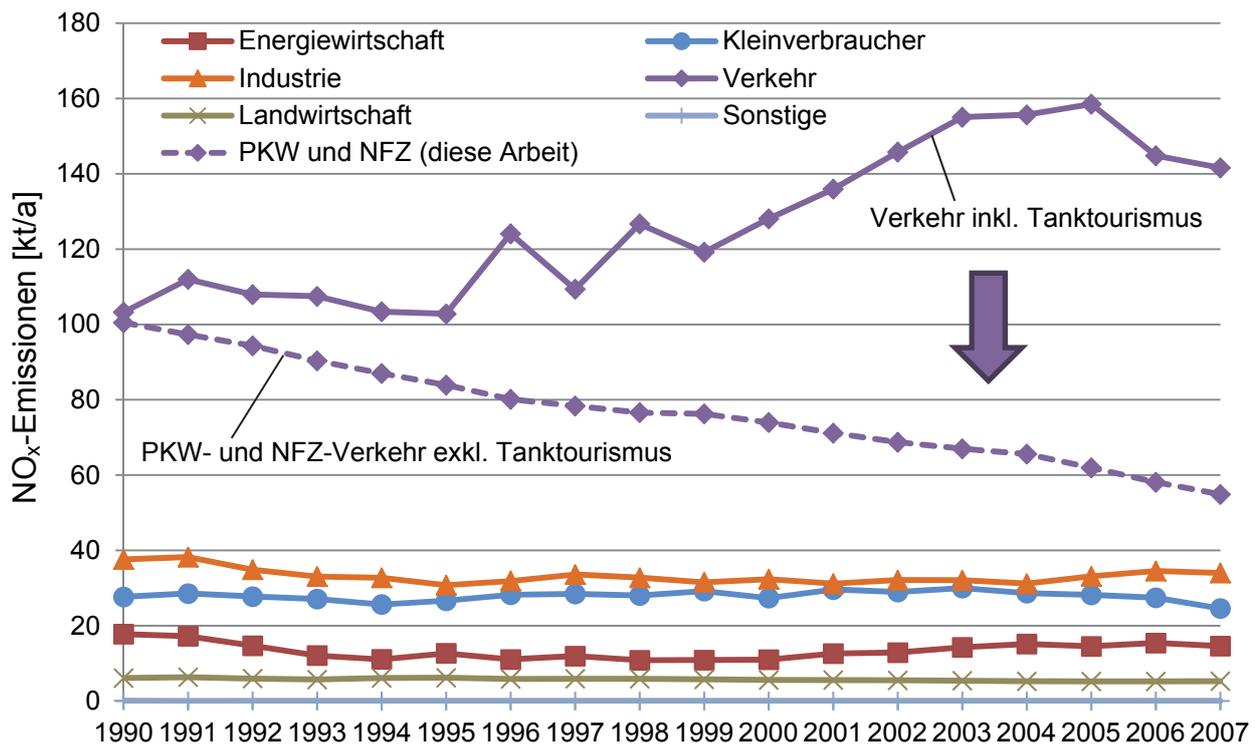


Abbildung 22: Sektorenvergleich<sup>36</sup> der NO<sub>x</sub>-Emissionen in Österreich [93], [eigene Berechnungen]

#### 4.2.1.2 Deutschland

Der sich für Deutschland darstellende NO<sub>x</sub>-Emissionsverlauf des PKW-Sektors, wiedergegeben in **Abbildung 23**, lässt erkennen, dass der Dieselboom später und weniger intensiv eingesetzt hat (siehe Kapitel 3.1.2). Insgesamt wird zwischen 1990 und 2030 eine Emissionsreduktion von 92% erreicht. Die durch die Einführung von Euro 6 realisierbare Emissionsreduktion (roter Pfeil) des Sektors PKW kann im Zeitraum 2012 bis 2030 mit 983 kt bzw. 36% angegeben werden.

<sup>36</sup> Siehe Fußnote 34, Seite 43

Bei den in **Abbildung 24** wiedergegebenen NO<sub>x</sub>-Emissionen des NFZ-Sektors liegt die Reduktion im Zeitraum 1990 bis 2030 bei 88%. Die Einführung von NO<sub>x</sub>-Reduktionstechnologien bedingt durch die Euro VI-Grenzwerte (roter Pfeil) führen in diesem Zeitraum 2009 bis 2030 zu einer NO<sub>x</sub>-Reduktion von 55% bzw. 2.265 kt.

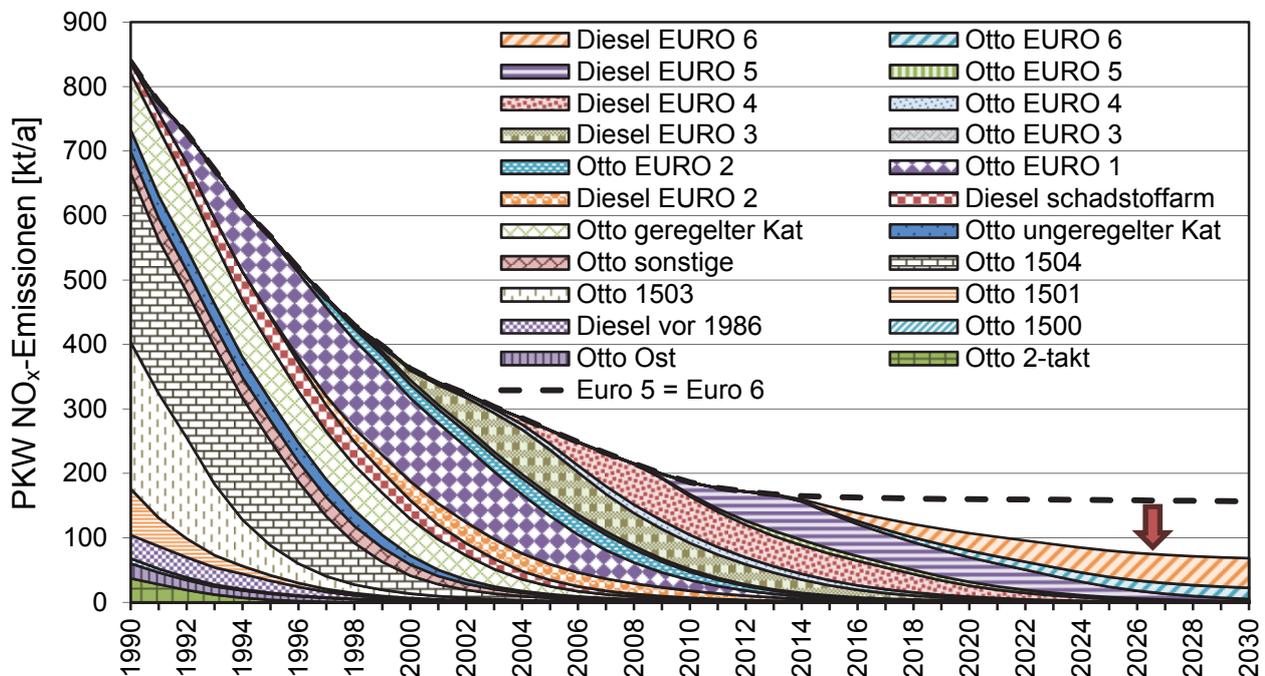


Abbildung 23: Entwicklung und Prognose der PKW NO<sub>x</sub>-Emissionen in Deutschland in kt/a

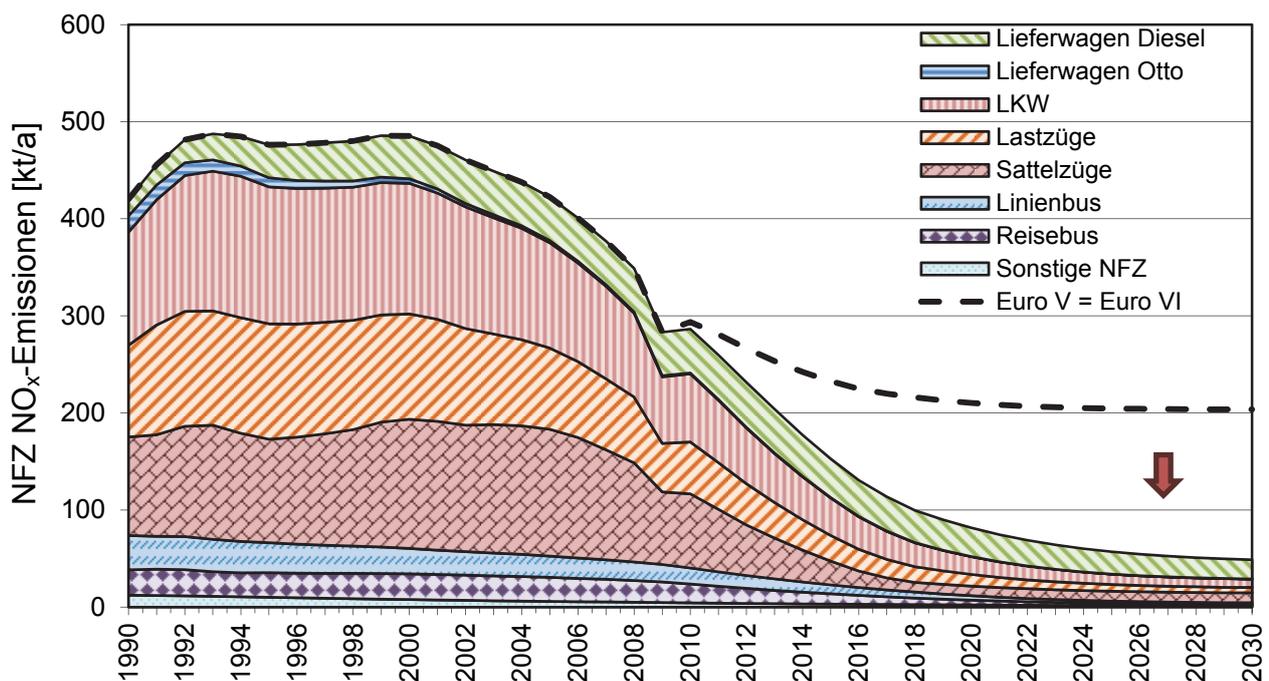


Abbildung 24: Entwicklung und Prognose der Nutzfahrzeug NO<sub>x</sub>-Emissionen in Deutschland in kt/a

Der in **Abbildung 25** wiedergegebene Sektorenvergleich für Deutschland bestätigt den starken Rückgang der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Verkehrssektors. [94] Das bestätigt auch die in die Darstellung eingefügte Summe der PKW- und NFZ-NO<sub>x</sub>-Emissionen Deutschlands, welche in dieser Arbeit berechnet wurden. Der sich darstellende Unterschied ist durch die ebenfalls in [94] berücksichtigten weiteren Verkehrsbereiche erklärbar.

Der Straßenverkehr ist auch in Deutschland der dominierende Emittent. Ab etwa 2015 sind jedoch, wie auch in Österreich, umfassende Reduktionen durch die Einführung der Euro 6-bedingten NO<sub>x</sub>-Reduktionstechnologien zu erwarten.

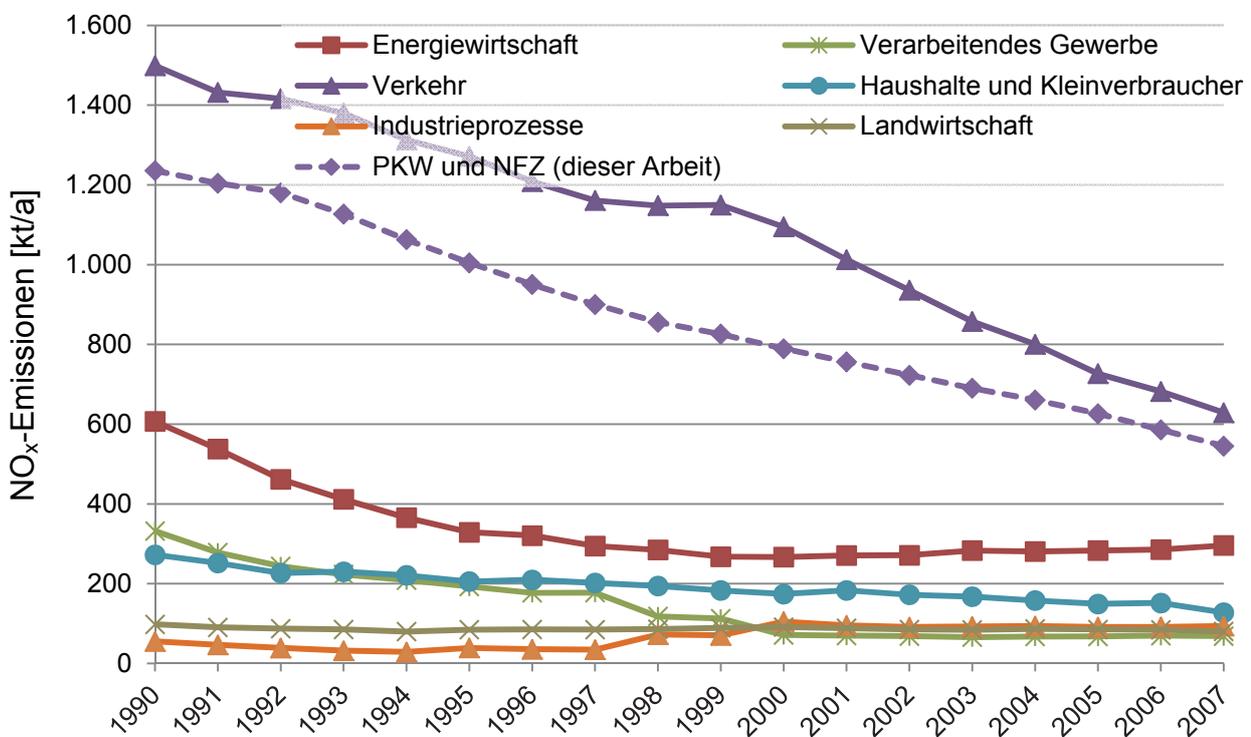


Abbildung 25: Sektorenvergleich<sup>37</sup> der NO<sub>x</sub>-Emissionen in Deutschland [94], [eigene Berechnungen]

#### 4.2.2 Immissionsentwicklung

Die Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Immissionskonzentrationen österreichischer und deutscher Luftqualitätsmessstellen werden als Jahresmittelwerte differenziert nach Messstationen, im städtischen Hintergrund und verkehrsnah dargestellt.

<sup>37</sup> Siehe Fußnote 34, Seite 43

Wie **Abbildung 26** zu entnehmen ist, sanken die Konzentrationswerte im städtischen Hintergrund mit Ausnahme der Messstelle „Linz – Neue Welt“ zwischen 1991 und 2008 kontinuierlich. Der Mittelwert der Konzentrationen sinkt zwischen 1991 und 2008 um 48% von 75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  auf 39  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Der Vergleich mit der Entwicklung an den verkehrsnahen Messstellen, wiedergegeben in **Abbildung 27**, zeigt einen vergleichbaren Trend. Der Mittelwert der Konzentrationen sinkt von 222  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahr 1991 auf 123  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahr 2008. Dies entspricht einer Reduktion von 45%.

Das Konzentrationsniveau liegt im Jahr 2008 an verkehrsnahen Messstellen um den Faktor 3,2 (3,0 im Jahr 1991) höher als an den städtischen Hintergrundmessstellen und bestätigt damit den bereits in Kapitel 4.2.1 bestimmten starken Einfluss des Straßenverkehrs.

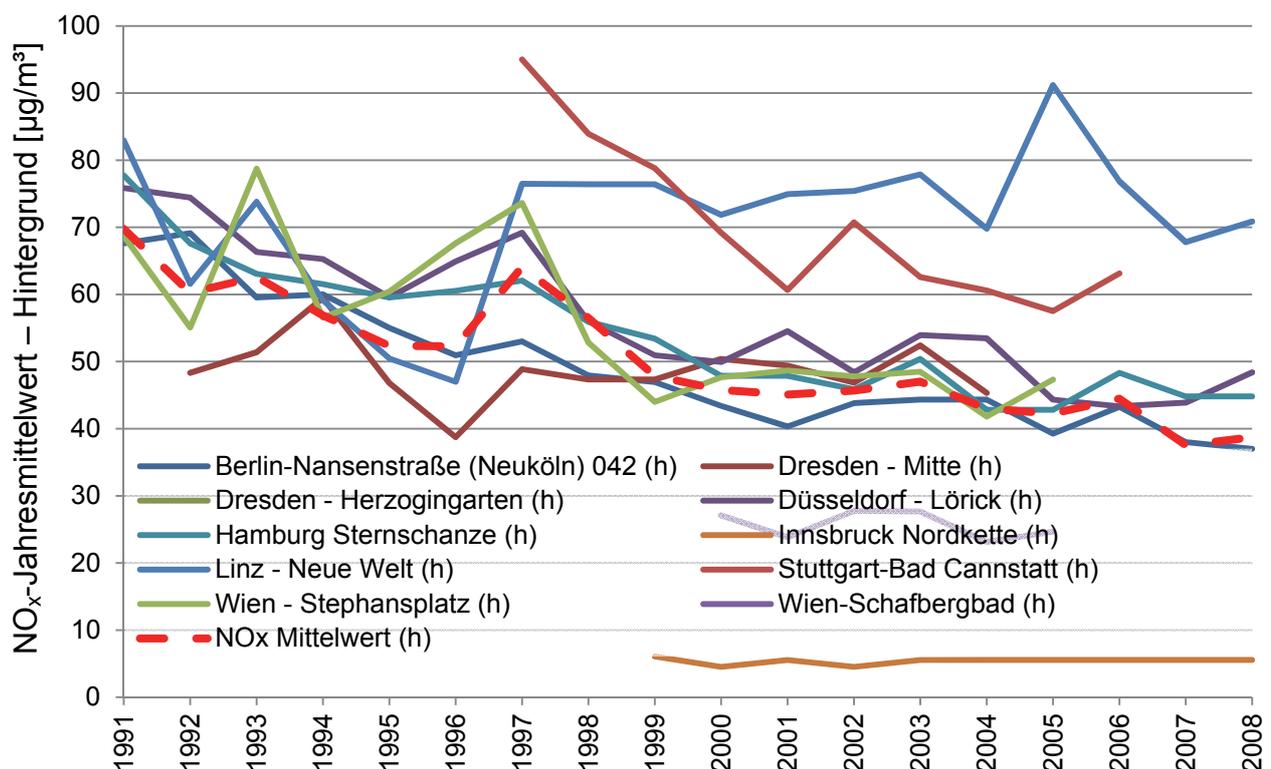


Abbildung 26: NO<sub>x</sub>-Jahresmittelwerte der Immissionskonzentration an ausgewählten städtischen Hintergrundmessstellen (h) [95], [96], [97], [98], [99], [100], [101], [102]

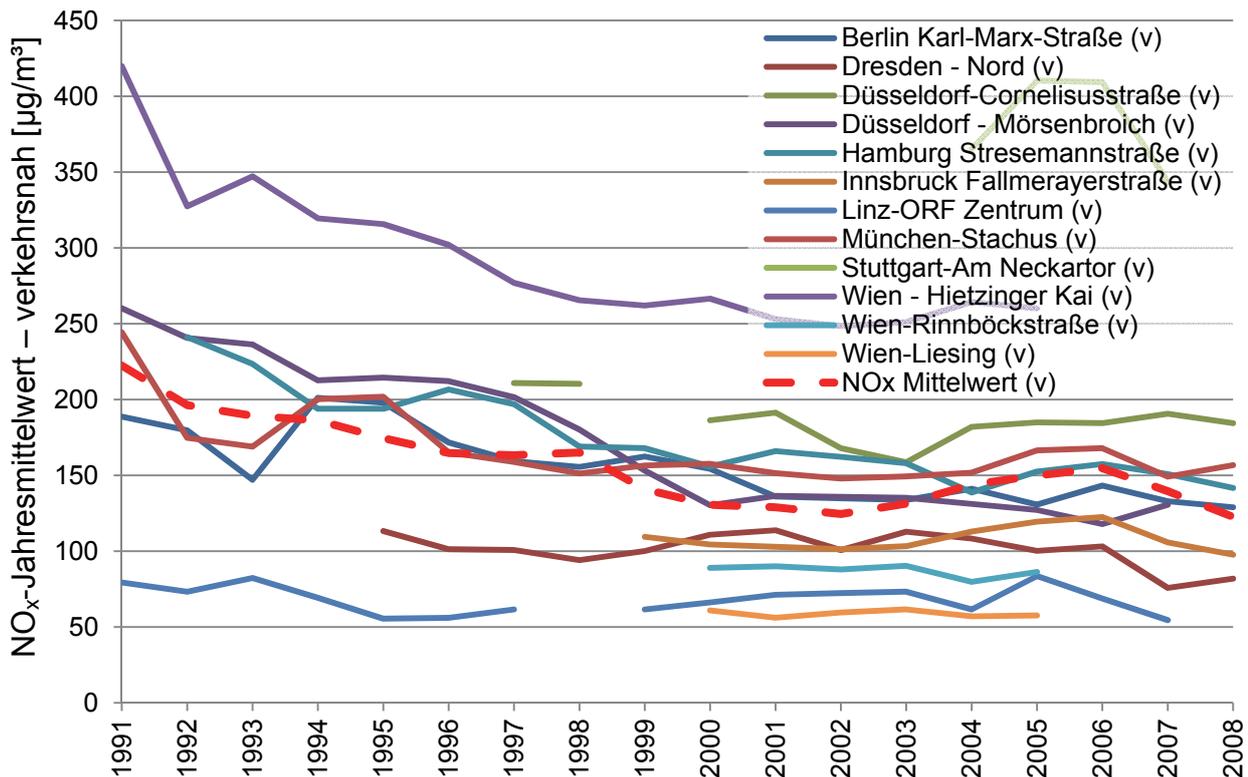


Abbildung 27: NO<sub>x</sub>-Jahresmittelwerte der Immissionskonzentration an ausgewählten Verkehrsmessstellen (v) [95], [96], [97], [98], [99], [100], [101], [102], [103]

### 4.3 Stickstoffdioxid – NO<sub>2</sub>

Zufolge der erwarteten hohen Relevanz von NO<sub>2</sub> wurde dieser Schadstoff als Untergruppe der chemischen Komponenten NO<sub>x</sub> ebenfalls als „im Fokus stehend“ bewertet und im Weiteren analysiert.

#### 4.3.1 Emissionsentwicklung von Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen

Die seitens der Abgasgesetzgebung nicht direkt reglementierten NO<sub>2</sub>-Emissionen zeigen eine von NO<sub>x</sub> abweichende Entwicklung. Die sowohl bei Personenkraftwagen als auch bei leichten und schweren Nutzfahrzeugen erfolgte Weiterentwicklung der Motoren- und Abgasnachbehandlungstechnologien führte während der letzten Gesetzgebungsstufen zu einer Erhöhung des NO<sub>2</sub>-Anteiles an den NO<sub>x</sub>-Emissionen (siehe hierzu Kapitel 3.3.1).

Für den Anstieg des  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -Verhältnisses auf bis zu 80% [85] bei Dieselmotoren ist primär die Einführung des Oxidationskatalysators (Oxidation des Stickstoffs im Abgas) und des Dieselpartikelfilters (Passive Regeneration/Oxidation der Partikel mit  $\text{NO}_2$ ) verantwortlich. [27], [104]

#### 4.3.1.1 Österreich

Die in **Abbildung 28** dargestellte Entwicklung und Prognose der PKW  $\text{NO}_2$ -Emissionen zeigt einen im Jahr 2001 beginnenden deutlichen Anstieg bis zu einem Maximum im Jahr 2010. Zwischen 1990 und 2010 steigen die  $\text{NO}_2$ -Emissionen des österreichischen PKW-Sektors um 148%. Neben der stetigen Zunahme des Diesel-PKW-Bestandes ist im Besonderen die Änderung des  $\text{NO}_2$ -Anteiles am  $\text{NO}_x$  für diese Entwicklung verantwortlich.

Wie durch das Szenario „Euro 5 = Euro 6“ (strichlierte Linie) visualisiert wird, reicht die Wirkung der Gesetzgebungsstufe Euro 5 nicht aus, um die  $\text{NO}_2$ -Emissionen langfristig deutlich zu senken. Erst ein weiterer Rückgang des  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -Verhältnisses während der Euro 6 Gesetzgebungsstufe und die deutliche  $\text{NO}_x$ -Grenzwertabsenkung führen zu einer nachhaltigen Reduktion (roter Pfeil) auf ein Niveau, welches im Jahr 2030 um 39% unter dem von 1990 liegt. Der Einfluss der Euro 6-Gesetzgebung kann mit 38% bzw. 43 kt bewertet werden.

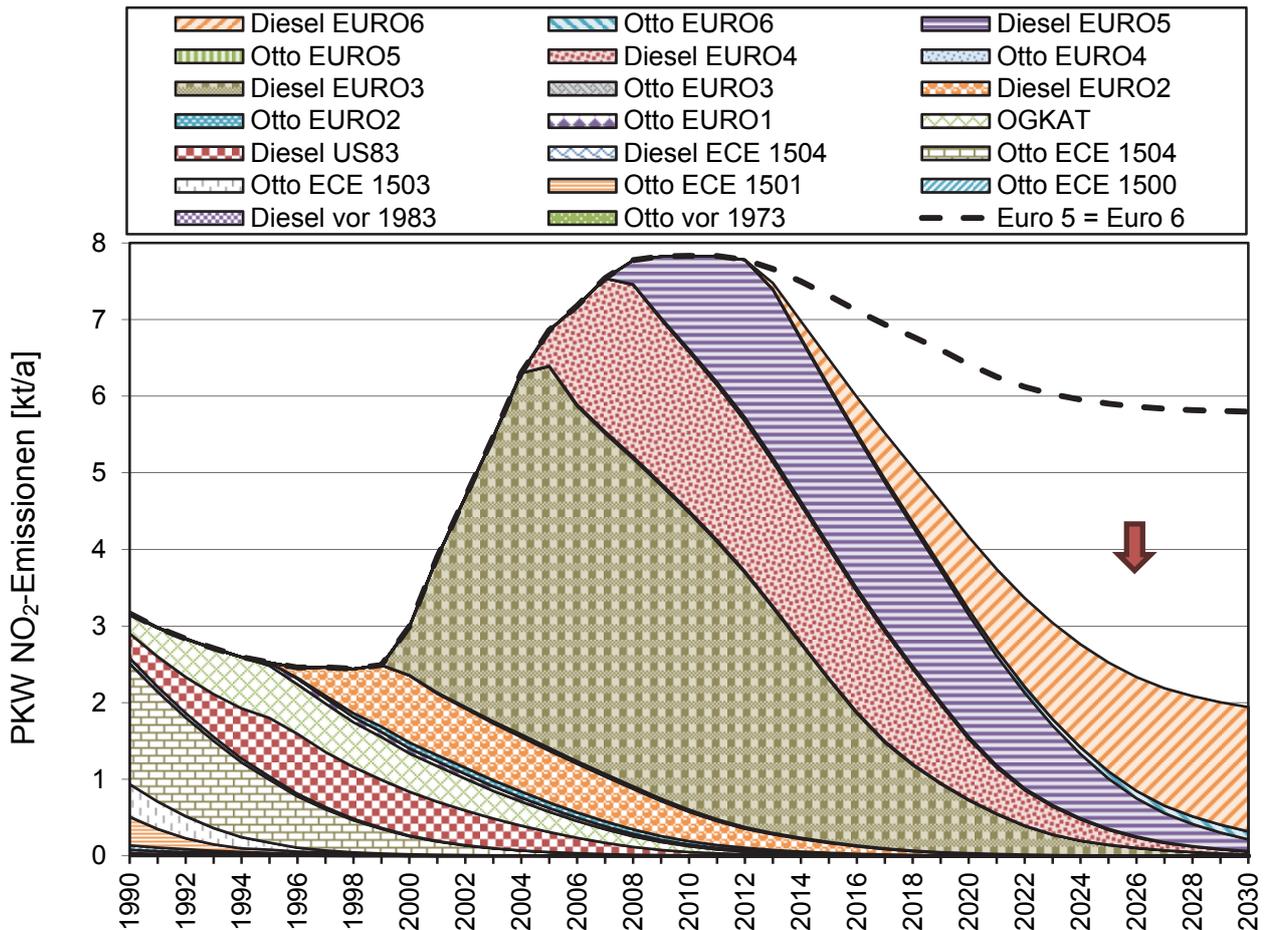


Abbildung 28: Entwicklung und Prognose der PKW NO<sub>2</sub>-Emissionen in Österreich in kt/a

Die sich für Nutzfahrzeuge darstellende Entwicklung und Prognose der NO<sub>2</sub>-Emissionen wird in **Abbildung 29** ausgewiesen. Mit PKW vergleichbare Motoren- und Abgasnachbehandlungstechnologien von Nutzfahrzeugen und der stark ansteigende Bestand von leichten Nutzfahrzeugen (siehe dazu Kapitel 3.1.1) führt zu einer deutlichen Zunahme der NO<sub>2</sub>-Emissionen des Nutzfahrzeugsektors.

Die Einführung der Gesetzgebungsstufe Euro 6 und die damit einhergehenden NO<sub>x</sub>-Reduktionstechnologien ermöglichen die Darstellung einer Emissionsreduktion zwischen 1990 und 2030 von 53%. Bedingt durch die Gesetzgebungsstufe Euro 6 werden zwischen 2009 und 2030 62kt bzw. 62% der NO<sub>2</sub>-Emissionen des Nutzfahrzeugsektors reduziert (roter Pfeil).

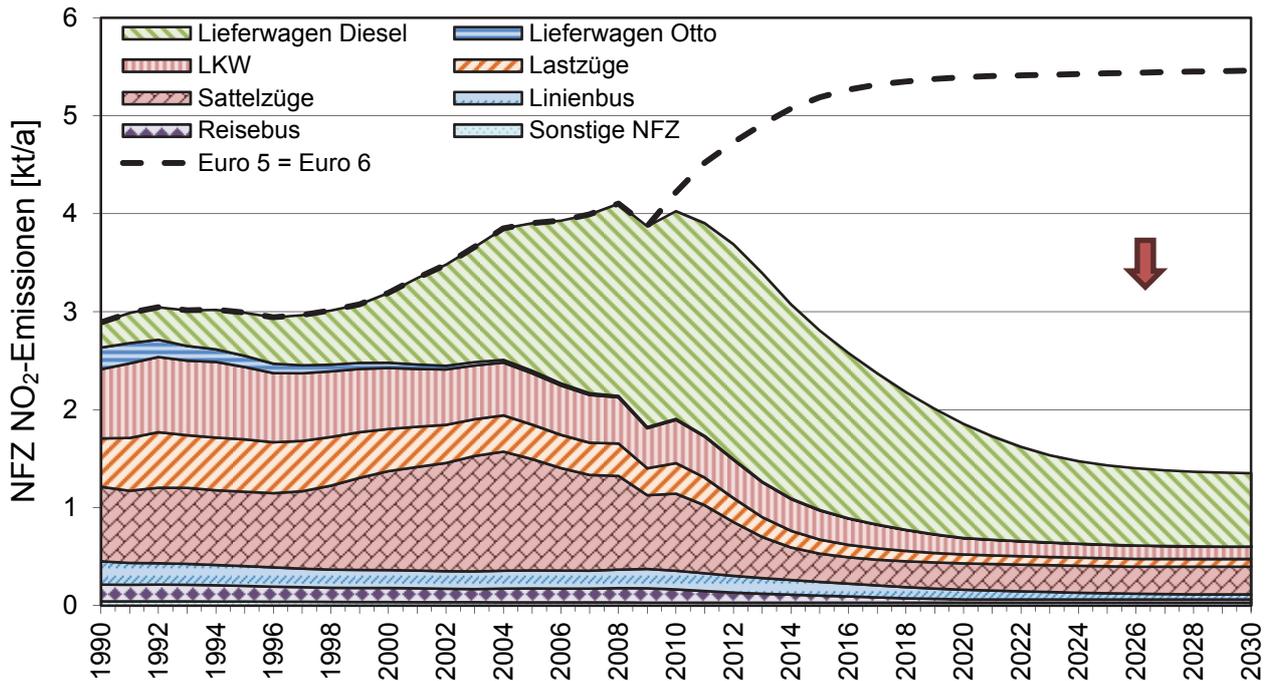


Abbildung 29: Entwicklung und Prognose der Nutzfahrzeug NO<sub>2</sub>-Emissionen in Österreich in kt/a

Ein Sektorenvergleich der Emittenten nach [93] liegt nicht vor.

#### 4.3.1.2 Deutschland

Für Deutschland können vergleichbare Erkenntnisse abgeleitet werden. In **Abbildung 30** werden die Analysen für den Personenkraftwagenverkehr dargestellt. Die Einführung der durch Euro 6 erforderlichen NO<sub>x</sub>-Abgasnachbehandlungstechnologien und die Reduktion des NO<sub>2</sub>-Anteiles im NO<sub>x</sub> führen zu einer NO<sub>2</sub>-Reduktion von 17% bzw. 291 kt. Insgesamt sinkt das NO<sub>2</sub>-Emissionsniveau von 1990 bis 2030 um 63%. Verglichen mit Österreich werden, bedingt durch die weniger diesel-bestimmte Bestandsentwicklung, in Deutschland geringere „Spitzenemissionswerte“ erreicht und weitreichendere Reduktionen erzielt.

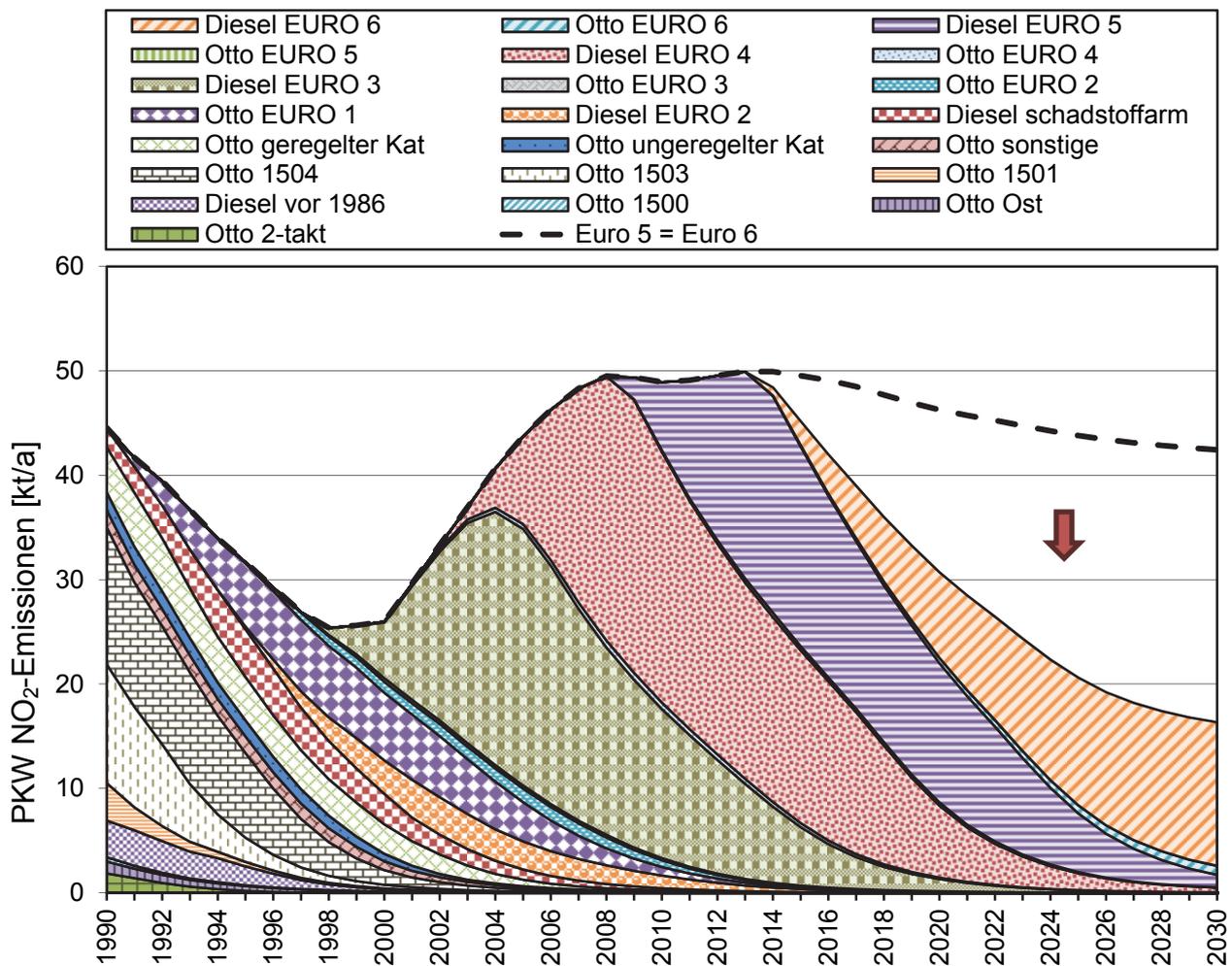


Abbildung 30: Entwicklung und Prognose der PKW NO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland in kt/a

Die Auswirkungen der Euro VI Gesetzgebungsstufe bzw. der daraus resultierenden Abgasnachbehandlungstechnologien auf die NO<sub>2</sub>-Emissionsentwicklung des Nutzfahrzeugverkehrs werden in **Abbildung 31** dargestellt. Die daraus ableitbare Euro VI-bedingte NO<sub>2</sub>-Reduktion ist mit 62% bzw. 578 kt anzugeben. Zwischen 1990 und 2030 kann so eine Senkung der NO<sub>2</sub>-Emissionen um 53% erreicht werden.

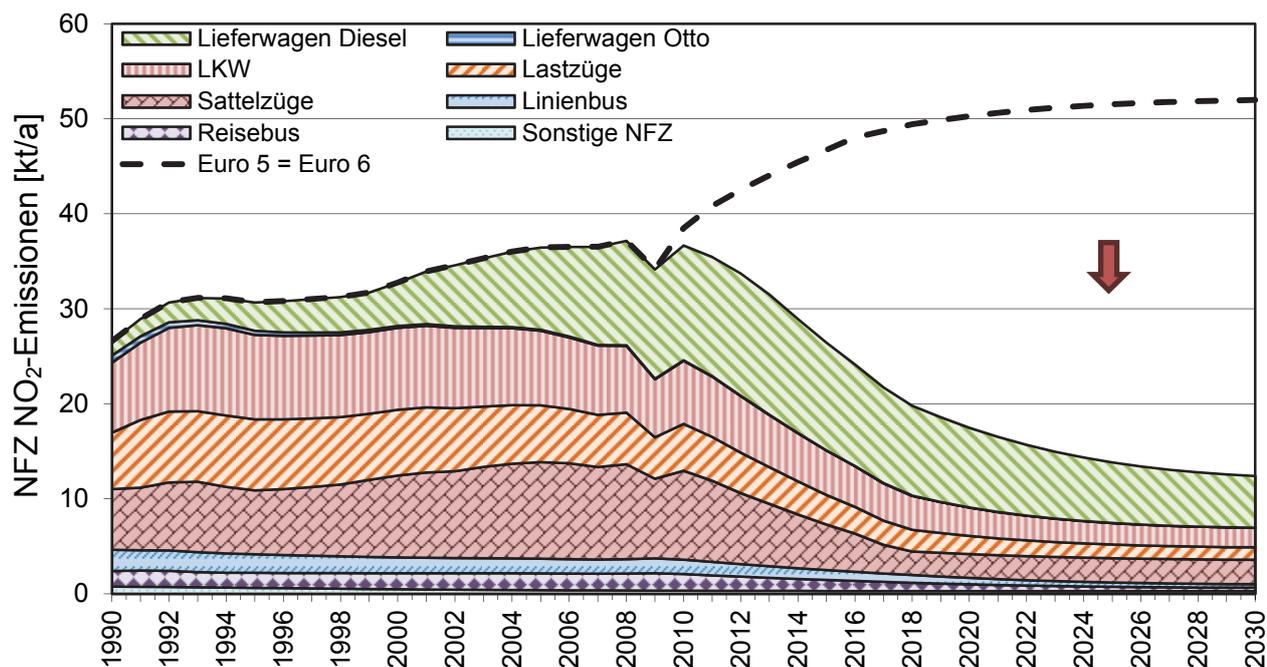


Abbildung 31: Entwicklung und Prognose der Nutzfahrzeug NO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland in kt/a

Ein Sektorenvergleich der Emittenten nach [94] liegt nicht vor.

### 4.3.2 Immissionsentwicklung

Zur Bewertung des Einflusses des Straßenverkehrs wird auch die Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Immissionskonzentrationen differenziert nach Messstationen, im städtischen Hintergrund und verkehrsnah ausgewertet.

An den städtischen Hintergrund-Messstellen sind, mit Ausnahme jener Messstellen, welche bereits auf einem niedrigen Niveau liegen, konstant fallende NO<sub>2</sub>-Konzentrationswerte zu verzeichnen. Wie in **Abbildung 32** dargestellt sinkt der Konzentrationsmittelwert der betrachteten Messstellen zwischen 1991 und 2008 um 38% von 40 µg/m<sup>3</sup> auf 25 µg/m<sup>3</sup>. Der ab dem Jahr 2010 geltende europäische NO<sub>2</sub>-Immissionsgrenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup> und der ab 2012 geltende österreichische Immissionsgrenzwert von 30 µg/m<sup>3</sup> (als Jahresmittelwerte) werden demnach eingehalten (siehe Kapitel 2.2.1 und 2.2.2). Abzüglich der nicht durchgängig verfügbaren Jahresmittelwerte der Messstationen „Düsseldorf-Lörick“ und „Innsbruck Nordkette“ liegt die Reduktion des Mittelwertes zwischen 1991 und 2008 bei 30% und mit 28 µg/m<sup>3</sup> unter dem europäischen und österreichischen Grenzwert.

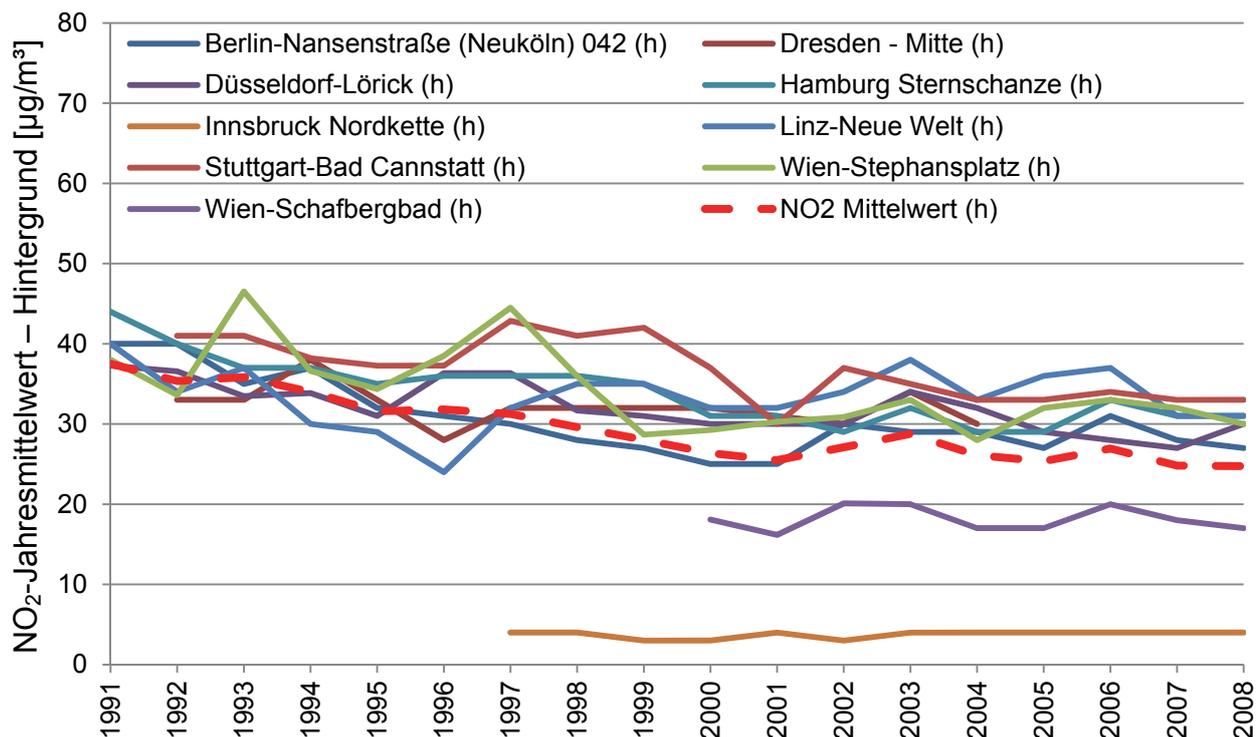


Abbildung 32: NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte der Immissionskonzentration an ausgewählten städtischen Hintergrundmessstellen (h) [95], [96], [97], [98], [99], [100], [101], [102]

Der Trend an verkehrsnahen Messstellen, wiedergegeben in **Abbildung 33**, unterscheidet sich davon. Der Mittelwert der Konzentrationen sinkt in diesem Fall von 58 µg/m<sup>3</sup> im Jahr 1991 auf ein Minimum von 48 µg/m<sup>3</sup> im Jahr 2001, um bis 2008 wieder auf 59 µg/m<sup>3</sup> anzusteigen. Insgesamt ergibt sich daraus ein Anstieg von 2% im Zeitraum 1991 bis 2008. Daraus ist abzuleiten, dass eine Einhaltung des ab 2010/2015 geltenden europäischen Immissionsgrenzwertes von 40 µg/m<sup>3</sup> und des ab 2012 geltende österreichischen Immissionsgrenzwertes von 30 µg/m<sup>3</sup> (als Jahresmittelwerte) nicht realistisch erscheint.

Das Konzentrationsniveau liegt im Jahr 2008 an verkehrsnahen Messstellen um den Faktor 2,4 (1,5 im Jahr 1991) höher als an den städtischen Hintergrundmessstellen und bestätigt damit den zunehmenden Einfluss des Straßenverkehrs.

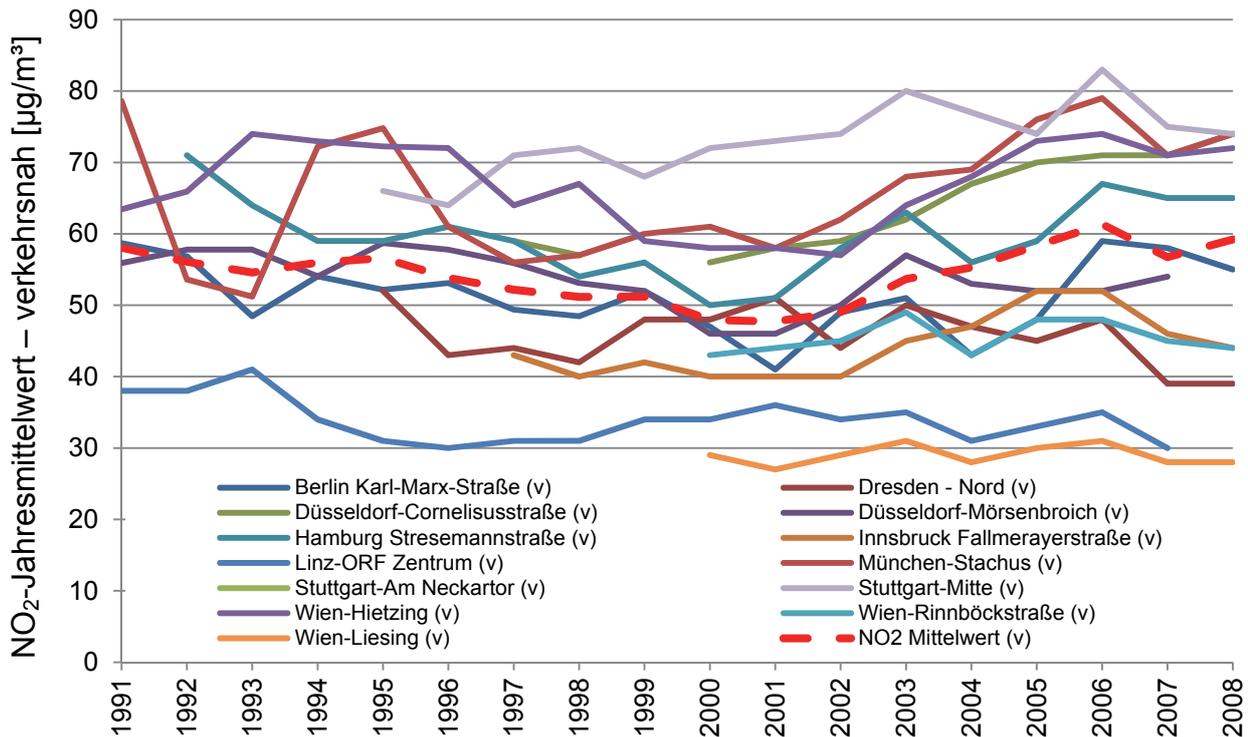


Abbildung 33: NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte der Immissionskonzentration an ausgewählten Verkehrsmessstellen (v) [95], [96], [97], [98], [99], [100], [101], [102], [103]

## 4.4 Partikel – PM

Partikel werden sowohl emissions- als auch immissionsseitig reglementiert und stehen daher im Fokus der Betrachtung. Im Folgenden wird zunächst unter den gewählten Annahmen die Emissionsentwicklung und im Weiteren die Immissionsentwicklung bewertet.

### 4.4.1 Emissionsentwicklung von Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen

Die Emission von Partikeln war bis zur Jetztzeit ein Thema, welches ausschließlich die dieselmotorischen Kraftfahrzeuge betroffen hat. So war auch bis inkl. Euro 4 für PKW-Ottomotoren kein Grenzwert vorgesehen. Dies führte dazu, dass in Emissionsprognosen die Partikelemissionen von Ottomotoren nicht berücksichtigt wurden.

Die zu höheren Partikelemissionen führende Direkteinspritztechnologie im Ottomotor macht eine Berücksichtigung der Ottomotoren in der Emissionsentwicklung und -prognose von Partikeln erforderlich.

In einem ersten Ansatz wurden die Partikelemissionen der direkteinspritzenden PKW-Ottomotoren denen der PKW-Dieselmotoren mit Partikelfilter gleichgesetzt. Der Anteil an Ottomotoren mit Direkteinspritzung am Otto-PKW-Bestand wurde so abgeschätzt, dass diese Gruppe 1% des Bestandes im Jahr 2005 repräsentiert und 73% des Otto-PKW-Bestandes im Jahr 2030 darstellt.

#### 4.4.1.1 Österreich

Wie **Abbildung 34** entnommen werden kann, führte der Anstieg des Bestandes an Diesel-PKW und die Einführung der Direkteinspritzungstechnologie zu einem deutlichen Anstieg der Partikelemissionen. Getrieben von der Abgasgesetzgebung und Fahrbeschränkungen erfolgte die Einführung des Partikelfilters, welcher zu deutlichen Reduktionen führte. Durch diese Technologie wird im Zeitraum 1990 bis 2030 eine Emissionsreduktion von 90% erreicht.

Aktuell liegen die Emissionen noch höher als im Jahr 1990, eine technische Lösung des Problems wurde jedoch mit dem Partikelfilter gefunden. Die kontinuierliche Verjüngung des PKW-Bestandes und das Ausscheiden hochemittierender Diesel-PKW führen unweigerlich zu einer Senkung der Partikelemissionen.

Unter den oben angeführten Rahmenbedingungen werden 30% der Partikelemissionen im Jahr 2030 von direkteinspritzenden Otto-PKW verursacht werden. Dies jedoch auf sehr niedrigem Absolutniveau.

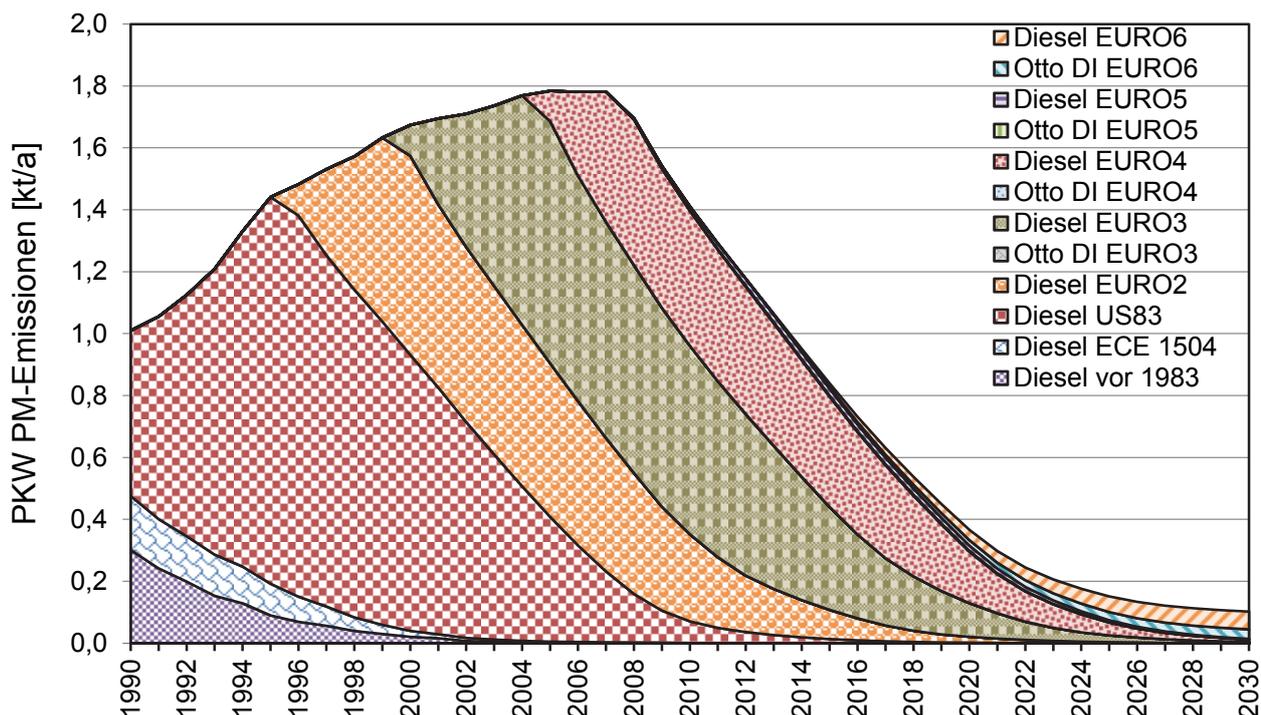


Abbildung 34: Entwicklung und Prognose der PKW PM-Emissionen in Österreich in kt/a

Das Segment der Nutzfahrzeuge unterliegt ebenfalls einer kontinuierlichen Reduktion der Partikelgrenzwerte. Im Gegensatz zum PKW spielen die Partikelemissionen der Ottomotoren mit Direkteinspritzung jedoch eine verschwindende Rolle.

Die Emissionen des Nutzfahrzeugsektors werden in **Abbildung 35** wiedergegeben. Es ist festzustellen, dass die Bestands- und Fahrleistungszunahmen (siehe Kapitel 3.1.1 und Kapitel 3.2) durch die Emissionsreduktionen kompensiert werden können und es daher, im Vergleich zum PKW-Sektor, zu keinem Emissionsanstieg kommt. Das Emissionsniveau sinkt kontinuierlich zwischen 1992 und 2030 um 98%.

Der in **Abbildung 36** wiedergegebene Sektorenvergleich für Österreich zeigt auf, dass der Verkehrssektor drittstärkster Emittent ist. [93] Aufgrund der im obigen wiedergegebenen Berechnungen ist jedoch von einer kontinuierlichen Reduktion des Einflusses auszugehen, sodass der Straßenverkehr zunehmend an Bedeutung verlieren wird. Die Partikelemissionen des Verkehrs sind wiederum um die Berücksichtigung des Tanktourismus zu höheren Werten verschoben.

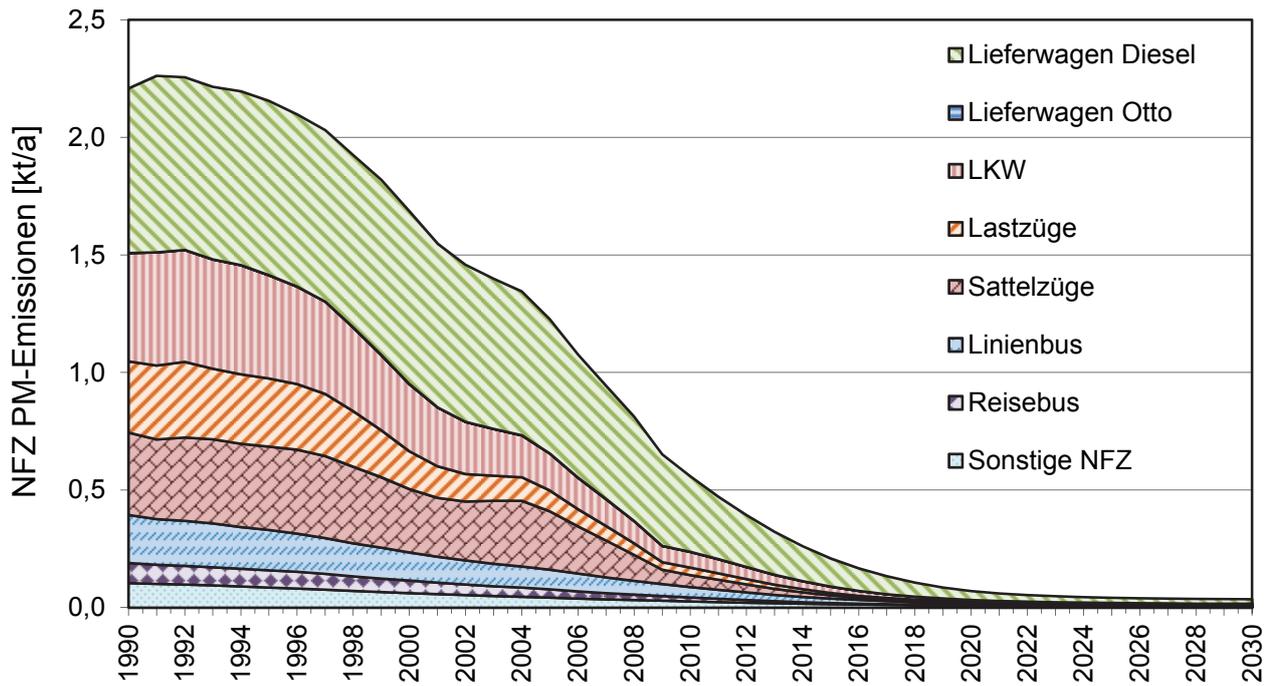


Abbildung 35: Entwicklung und Prognose der Nutzfahrzeug PM-Emissionen in Österreich in kt/a

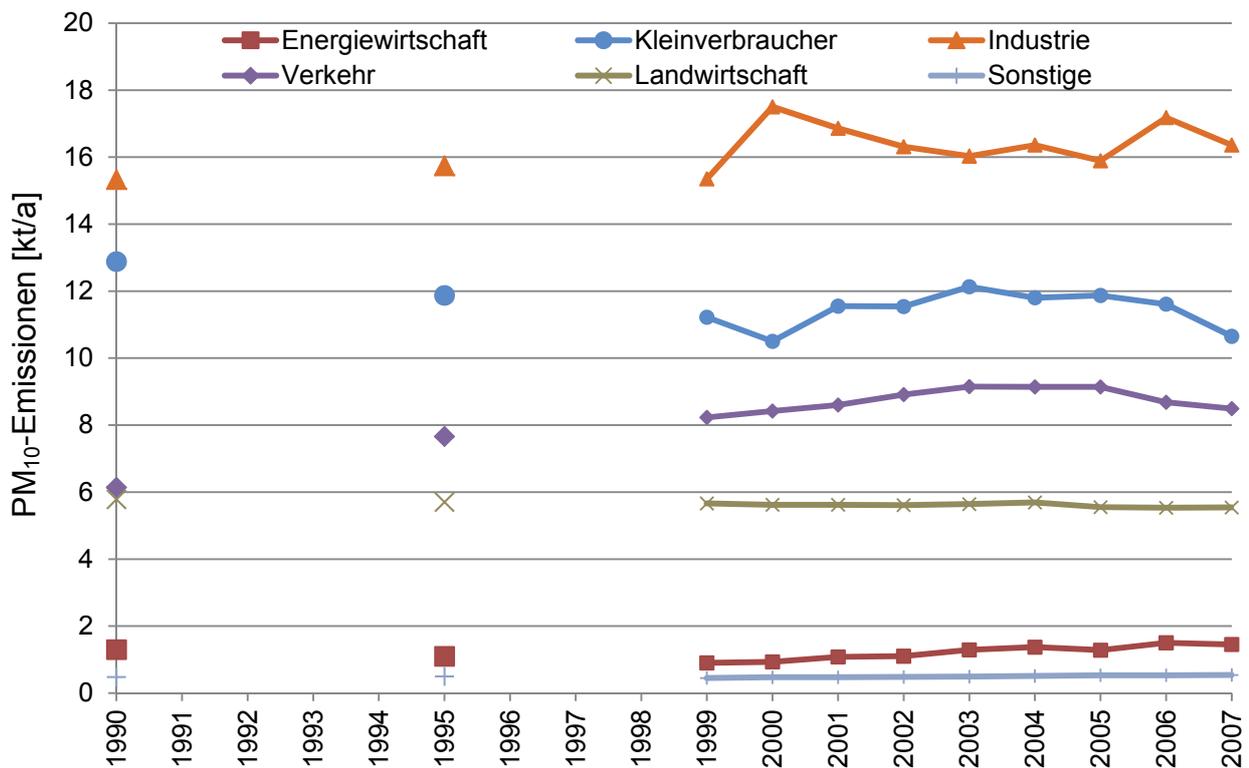


Abbildung 36: Sektorenvergleich<sup>38</sup> der PM<sub>10</sub>-Emissionen in Österreich [93]

<sup>38</sup> Siehe Fußnote 34, Seite 43

#### 4.4.1.2 Deutschland

Der in **Abbildung 37** dargestellte Emissionsverlauf für den Sektor PKW zeigt die Auswirkungen des im Vergleich zu Österreich späteren und weniger ausgeprägten Anstieges an Diesel-Neuzulassungen. Die sich ergebende Reduktionsrate zwischen 1990 und 2030 liegt bei 92%. Im Jahr 2030 werden unter den gewählten Rahmenbedingungen 38% der Partikelemissionen von direkteinspritzenden Otto-PKW verursacht werden.

Für den in **Abbildung 38** wiedergegebenen Emissionsverlauf des Nutzfahrzeugsektors ist ein zu Österreich analoger Trend feststellbar. Im Zeitraum 1990 bis 2030 wird eine Emissionsreduktion von 99% erreicht.

Der in **Abbildung 39** wiedergegebene Sektorenvergleich für Deutschland bestätigt den starken Rückgang des Verkehrseinflusses auf die PM-Emissionen. [94]

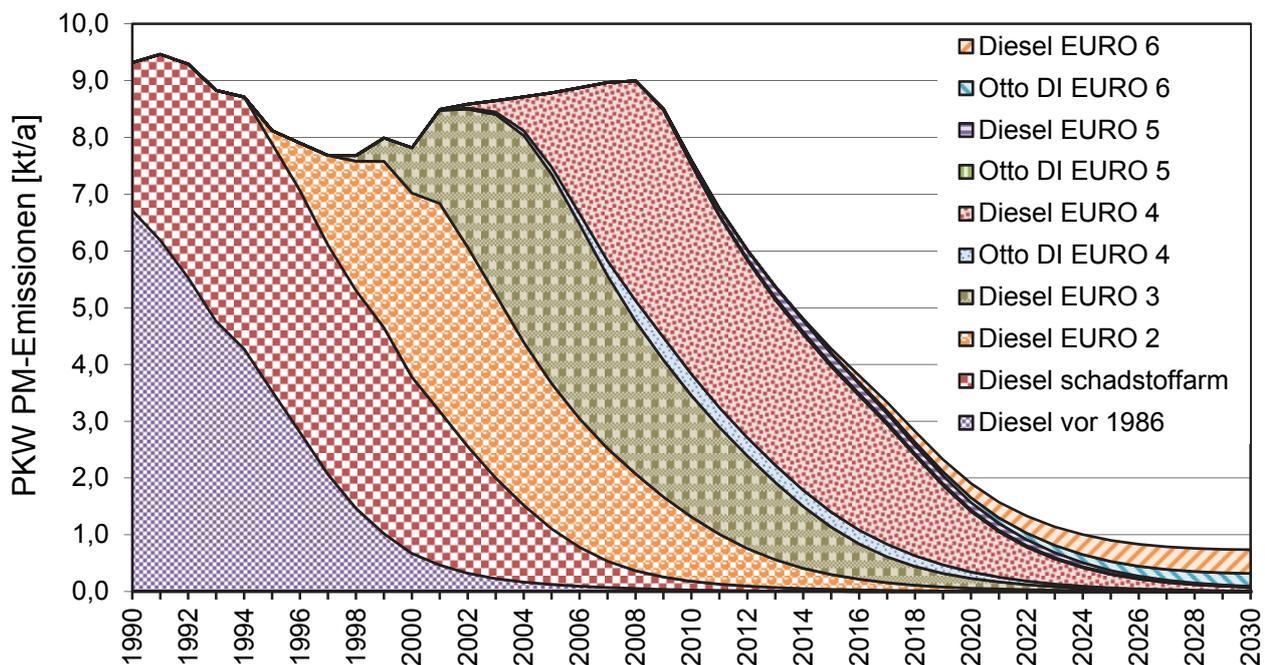


Abbildung 37: Entwicklung und Prognose der PKW PM-Emissionen in Deutschland in kt/a

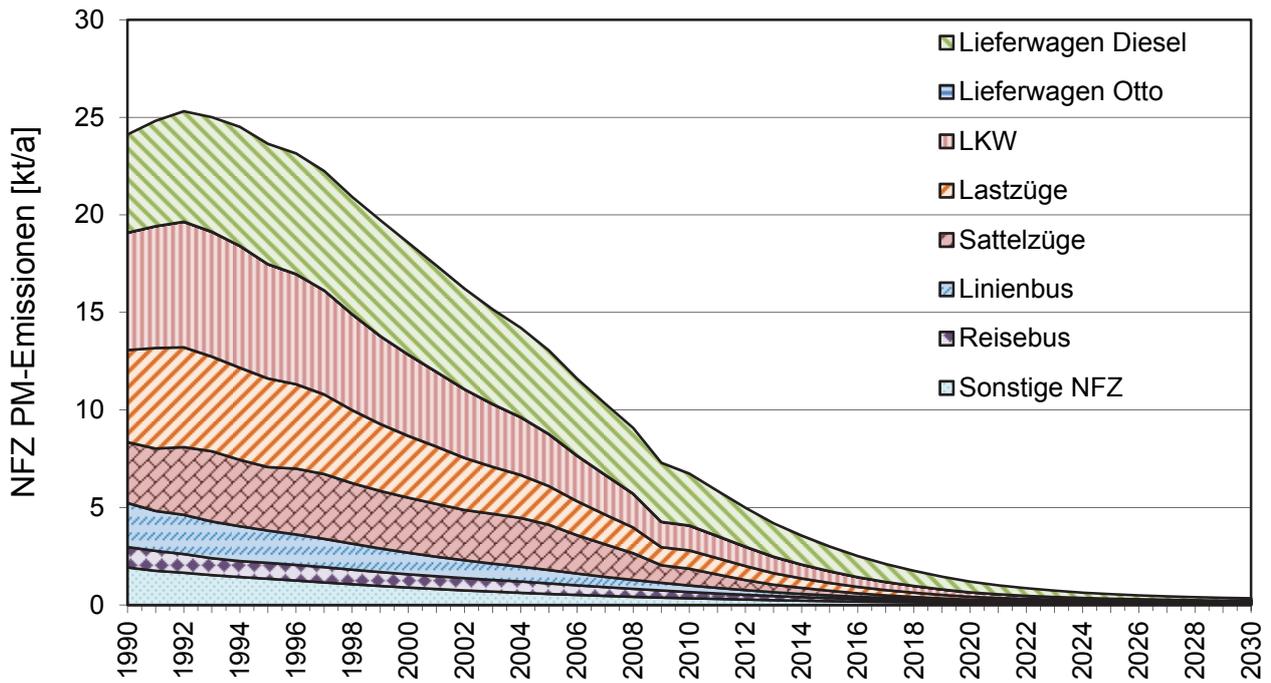


Abbildung 38: Entwicklung und Prognose der Nutzfahrzeug PM-Emissionen in Deutschland in kt/a

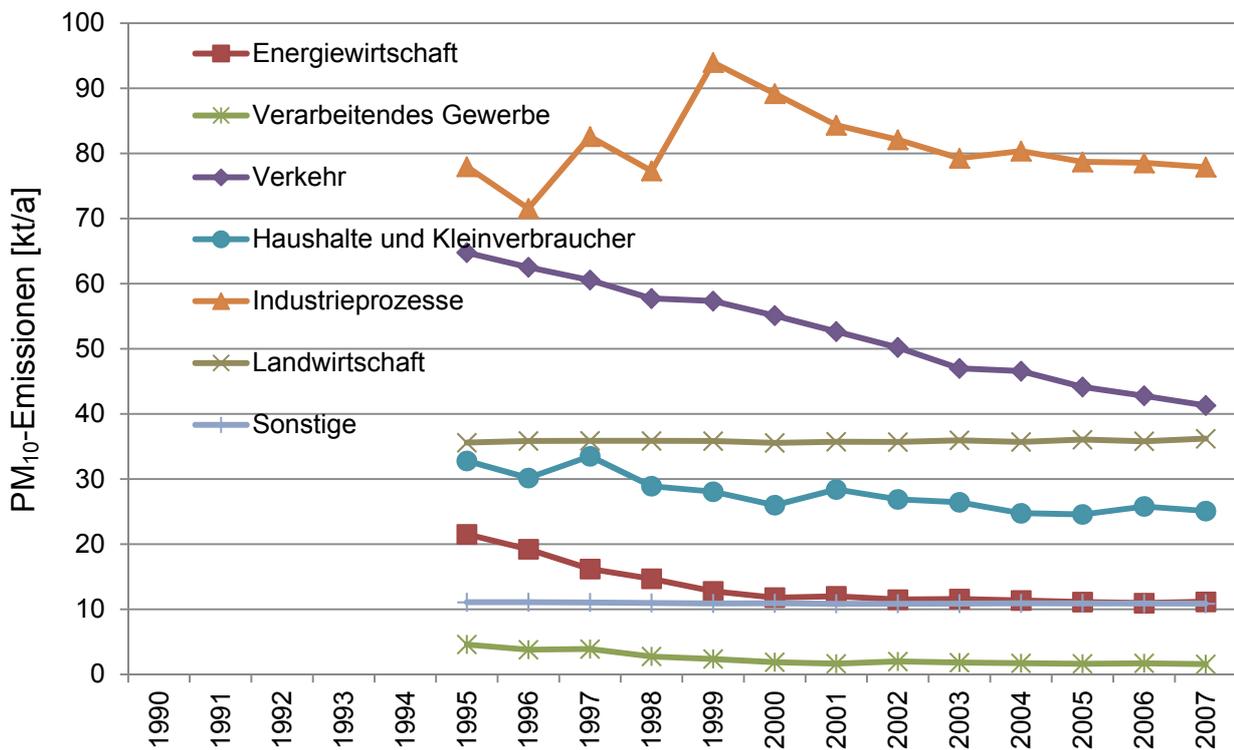


Abbildung 39: Sektorenvergleich<sup>39</sup> der PM<sub>10</sub>-Emissionen in Deutschland [94]

<sup>39</sup> Siehe Fußnote 34, Seite 43

#### 4.4.2 Immissionsentwicklung

Zur Bewertung des Einflusses des Straßenverkehrs auf die Luftqualität wird auch die Entwicklung der Partikel-Immissionskonzentrationen, differenziert nach Messstationen im städtischen Hintergrund und verkehrsnah ausgewertet. Die zur Bewertung der Luftqualität in den letzten 10 Jahren gemessene Partikelgrößenklasse ist  $PM_{10}$ .

**Abbildung 40** gibt die Jahresmittelwerte der städtischen Hintergrundmessstellen wieder und zeigt, dass es im Zeitraum 1999 bis 2008 zu einer kontinuierlichen Abnahme der Konzentrationswerte gekommen ist. Im Mittel wurde in diesem Zeitraum eine Reduktion von 29% erzielt.

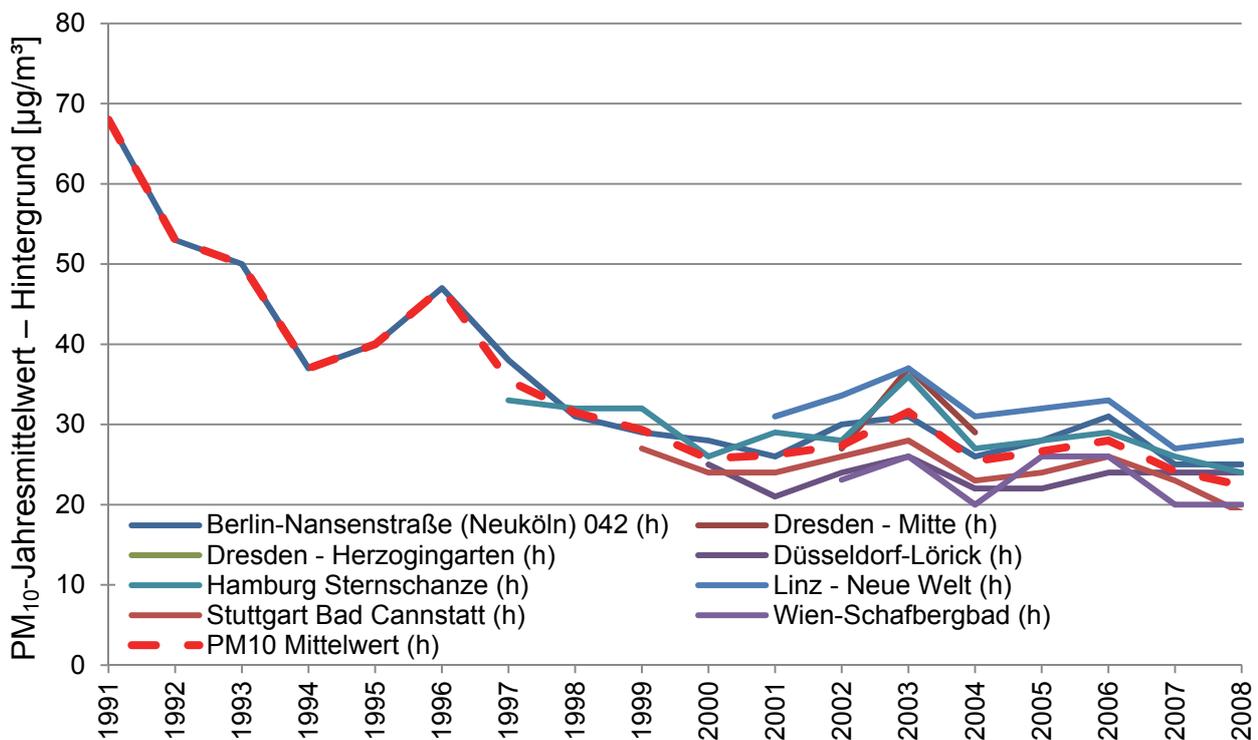


Abbildung 40:  $PM_{10}$ -Jahresmittelwerte der Immissionskonzentration an ausgewählten städtischen Hintergrundmessstellen (h) [95], [96], [97], [98], [99], [100], [101], [102]

Die in **Abbildung 41** dargestellten Jahresmittelwerte der Verkehrsmessstellen weisen eine leicht sinkende Tendenz auf und führen im Zeitraum 1999 bis 2008 im Mittel zu einer Reduktion von 4%.

Der Mittelwert der verkehrsnahen Messstellen im Jahr 2008 liegt mit  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  jedoch nur um den Faktor 1,3 höher (1,0 im Jahr 1999) als jener der städtischen Hintergrundmessstellen mit  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ein ausgeprägter Einfluss des Straßenverkehrs auf die Feinstaubkonzentration kann daraus nicht abgeleitet werden. Diese Einschätzung korreliert mit den Erkenntnissen aus den Emissions-Sektorenvergleichen in [93] und [94].

Der Grenzwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wird sowohl an den städtischen Hintergrundmessstellen als auch an den meisten verkehrsnahen Messstellen eingehalten. Der Zielwert von  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wird hingegen weder verkehrsnah noch im Hintergrund eingehalten.

Insbesondere die auf einem ähnlichen Niveau liegenden Konzentrationswerte im Hintergrund deuten darauf hin, dass das Immissionsgrundniveau nicht alleine durch den Straßenverkehr bestimmt wird. Winterliches Klima und das bei kalten Temperaturen erforderliche Heizen von Wohnräumen erhöht die Feinstaubbelastung insbesondere in den Wintermonaten. [105]

Die umfassenden zu erwartenden Partikel-Emissionsreduktionen im Straßenverkehr werden aufgrund der nicht dominierenden Stellung des Straßenverkehrs nur teilweise zu einer Absenkung der  $\text{PM}_{10}$ -Immissionen führen können.

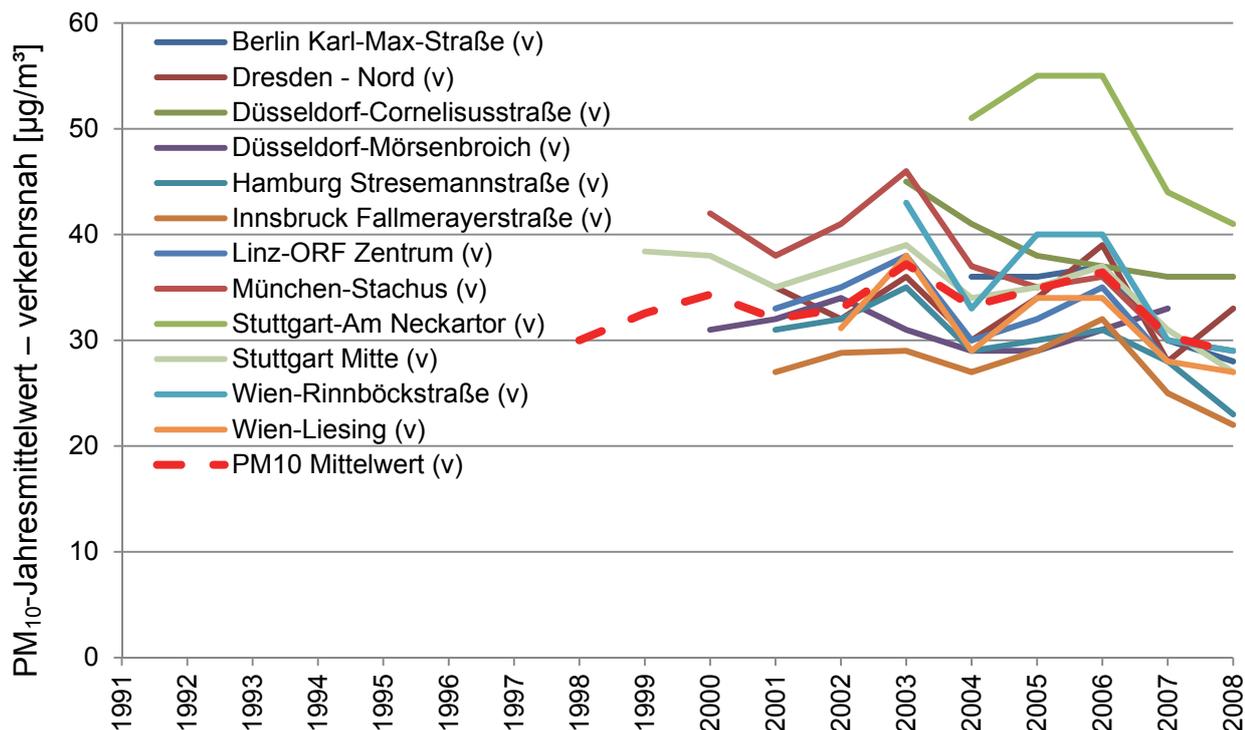


Abbildung 41: PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwerte der Immissionskonzentration an ausgewählten Verkehrsmessstellen (v) [95], [96], [97], [98], [99], [100], [101], [102], [103]

#### 4.5 Schwefeldioxid – SO<sub>2</sub>

Wie in [31] und [42] erörtert wird, ist SO<sub>2</sub> aufgrund zahlreicher sektorenübergreifender Reduktionsmaßnahmen emissions- und immissionsseitig von untergeordneter Bedeutung. Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Analyse der Immissionskonzentrationen bestätigt dies sowohl im städtischen Hintergrund [95], [96], [97], [98], [99], [100], [101], [102] als auch verkehrsnah [95], [96], [97], [98], [99], [100], [101], [102], [103]. Es ist ein Rückgang der Konzentrationen, gemessen als Jahresmittelwert, von 84% festzustellen. Zudem weist das Verhältnis zwischen verkehrsnaher und städtischer Hintergrundkonzentration im Jahr 2008 mit 0,8 und im Jahr 1991 mit 1,0 auf einen sinkenden Einfluss des Straßenverkehrs hin. Die gemäß [40] vorgeschriebenen Emissionshöchstmengen werden seit dem Jahr 2000 eingehalten [42]. Von einer detaillierten Darstellung wird an dieser Stelle abgesehen.

#### 4.6 Kohlenstoffdioxid – CO<sub>2</sub>

Kohlendioxid wird durch die „CO<sub>2</sub>-Flottenregelung“ für PKW und leichte Nutzfahrzeuge (siehe Kapitel 2.1.2) sowie durch energiepolitische Ziele (siehe Kapitel 2.3) als wesentliche chemische Komponente adressiert und steht daher im Fokus der

Betrachtung. Um die Relevanz des Straßenverkehrs zu bewerten, werden die Emissionsentwicklung des Straßenverkehrs, differenziert nach Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen, und ein Sektorenvergleich nach Emittenten herangezogen.

Die Kohlenstoffdioxidemissionen und der Verbrauch eines Kraftfahrzeuges mit Verbrennungsmotor stehen in einem chemisch bedingten Zusammenhang, sodass die folgenden Aussagen über die zeitliche Entwicklung für den Verbrauch als auch für die CO<sub>2</sub>-Emissionen in gleicher Weise gelten.

Das CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential beigemischter Biokraftstoffe wurde in den folgenden Darstellungen nicht berücksichtigt. Die real generierbaren CO<sub>2</sub>-Vorteile aktueller Biokraftstoffe werden sehr kontrovers diskutiert, sodass das mit Biokraftstoffen darstellbare CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential im weiteren Verlauf der Arbeit separat behandelt wird.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs wurden nach 3 Szenarien berechnet, um die Ausschöpfung der Reduktionspotentiale darzustellen. Das Szenario „Euro 5 = Euro 6“ baut auf der Annahme auf, dass bei Kraftfahrzeugen der „Generation Euro 6“ gegenüber den Kraftfahrzeugen der „Generation Euro 5“ keine Verbrauchseinsparungen und somit CO<sub>2</sub>-Reduktionen realisierbar sind.

Das „konservative Szenario“ berücksichtigt Verbrauchseinsparungen und somit CO<sub>2</sub>-Reduktionen bei Kraftfahrzeugen der „Generation Euro 6“ gegenüber Kraftfahrzeugen der „Generation Euro 5“ in einem solchen Ausmaß, wie es im Mittel der letzten 3 Kraftfahrzeuggenerationen realisiert wurde.

Das Szenario „Optimaler Fall“ beschreibt die Umsetzung der in Kapitel 2.1.2 wiedergegebenen „CO<sub>2</sub>-Flottenregelung“ anhand der in Kapitel 3.3.2 angeführten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren.

#### **4.6.1 Emissionsentwicklung von Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen in Österreich**

Im PKW-Segment wurden in den letzten Jahrzehnten große Fortschritte im Bereich des Kraftstoffverbrauchs, aber auch in den Bereichen Fahrzeugsicherheit und dem

Komfort gemacht. Die Erhöhung der Fahrzeugsicherheit und des Komforts führten zu einem kontinuierlichen Anstieg der Fahrzeugmasse, sodass der motorisch generierte Verbrauchsvorteil nur im eingeschränkten Maße auf der Straße real umgesetzt werden konnte. [27]

Dies hatte zur Folge, dass mit steigendem Bestand und steigender Fahrleistung die CO<sub>2</sub>-Emissionen, wie in **Abbildung 42** dargestellt, bis 2007 ebenfalls zugenommen haben. Mit Einführung einer gesetzlichen Reglementierung der zulässigen durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Emission pro PKW (siehe Kapitel 2.1.2) wird mit dieser unvorteilhaften Entwicklung gebrochen.

Wie umfassend die Einhaltung der dargelegten Vorgaben und Ziele erfolgt, ist aus heutiger Sicht schwer abzuschätzen. Insbesondere die Abweichung zwischen Typprüfwert und real erreichtem Verbrauchswert kann die CO<sub>2</sub>-Reduktionspotentiale mindern.

Im Szenario „Euro 5 = Euro 6“ (strichlierte Linie) wird lediglich ein leichter Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch das Ausscheiden der PKW vor Euro 5 erreicht. Auch das „konservative Szenario“ (rote Linie) kann den Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen zwischen 1990 und 2007 nicht kompensieren, wenngleich ein Reduktionspotential von -3% bzw. - 4.630 kt CO<sub>2</sub> gegenüber dem Szenario „Euro 5 = Euro 6“ dargestellt werden kann (roter Pfeil).

Das Szenario „Optimaler Fall“ führt gegenüber dem ohne „CO<sub>2</sub>-Flottenregelung“ zu erwartenden „konservativen Szenario“ (rote Linie) zu einschneidenden Verbrauchs- bzw. CO<sub>2</sub>-Reduktionen. Es ist von CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktionen um 22% bzw. 35.832 kt bis 2030 auszugehen (grüner Pfeil). Im Jahr 2030 liegt das CO<sub>2</sub>-Emissionsniveau in diesem Szenario um 31% unter dem CO<sub>2</sub>-Emissionswert des Jahres 1990.

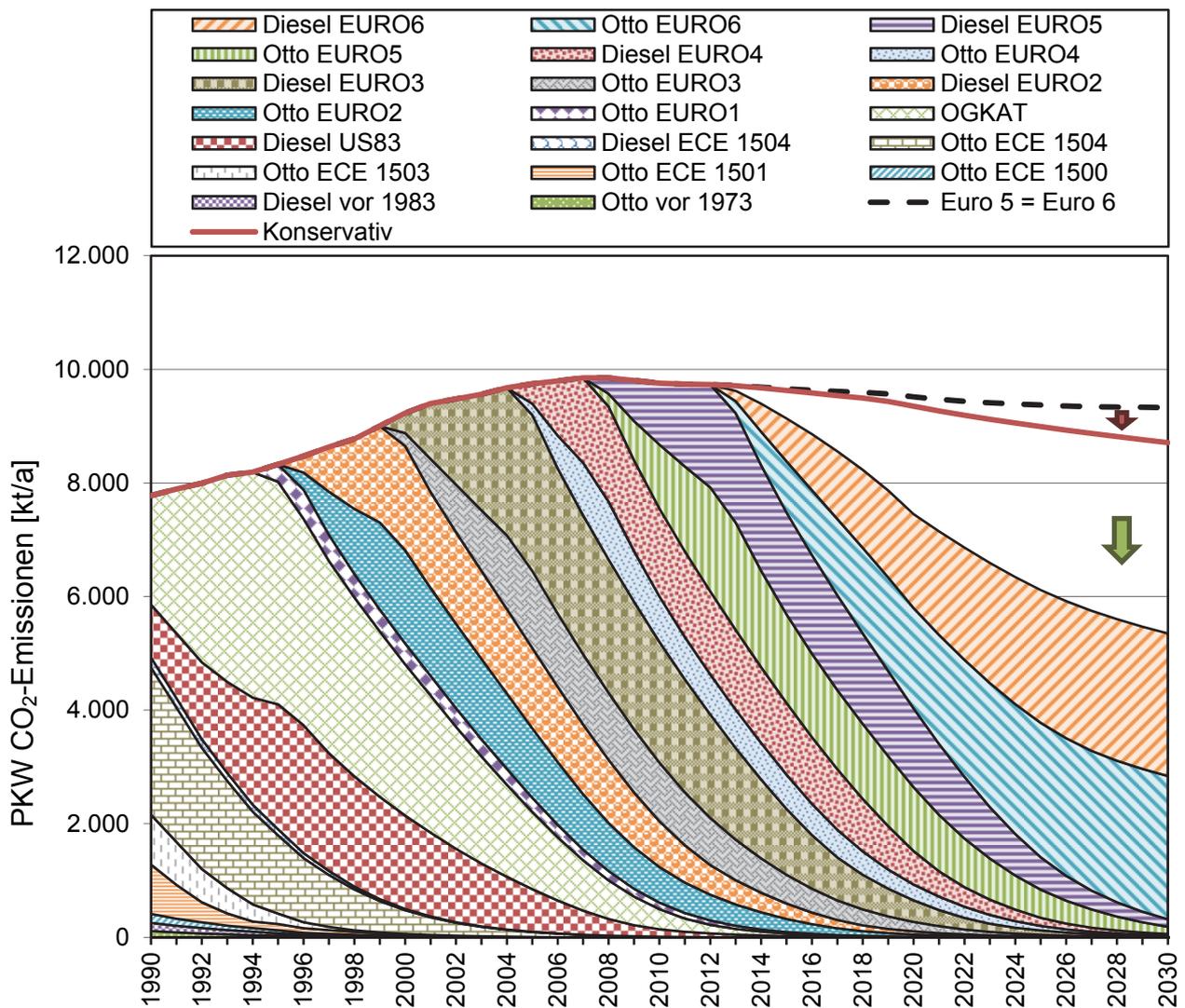


Abbildung 42: Entwicklung und Prognose der PKW CO<sub>2</sub>-Emissionen in Österreich in kt/a

Wie **Abbildung 43** entnommen werden kann, führt auch im Nutzfahrzeugsektor der stetig steigende Bestand und die zunehmenden Fahrleistungen, insbesondere der leichten Nutzfahrzeuge, zu einer Kompensation der erreichten Verbrauchsvorteile. Gegenüber der konservativen Prognose (rote Linie) führt die „CO<sub>2</sub>-Flottenregelung“ bei leichten Nutzfahrzeugen (Klasse N1) insgesamt im Sektor der Nutzfahrzeuge zu einer Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von 7% bzw. 6.271 kt bis 2030 (grüner Pfeil). Im Jahr 2030 liegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen 19% über dem Niveau des Jahres 1990.

Für die Nutzfahrzeuge der Kategorien N2 und N3 wurden bis dato keine CO<sub>2</sub>-Regulierungen vorgeschlagen. Demnach fällt das CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential, verglichen mit dem PKW-Sektor, deutlich geringer aus.

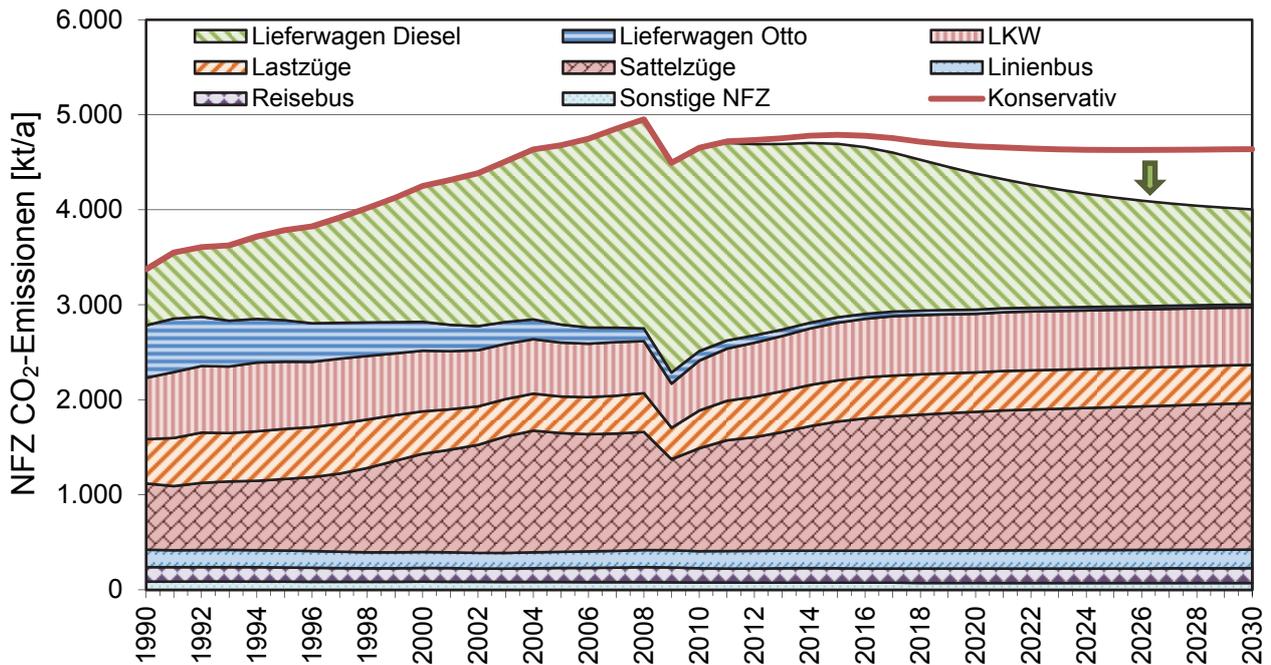


Abbildung 43: Entwicklung und Prognose der Nutzfahrzeug CO<sub>2</sub>-Emissionen in Österreich in kt/a

Der in **Abbildung 44** wiedergegebene Sektorenvergleich für Österreich zeigt eine stetig steigende Bedeutung des Verkehrssektors auf. Bedingt durch die Berücksichtigung des Tanktourismus wird der Einfluss jedoch stark überbewertet. [106] Die ebenfalls in dieser Abbildung eingetragene Summe an CO<sub>2</sub>-Emissionen des PKW- und NFZ-Sektors dieser Arbeit macht diese Überbewertung deutlich. Das allgemein höhere Emissionsniveau von [106] ist damit zu begründen, dass in [106] nicht nur der PKW- und NFZ-Verkehr betrachtet wird sondern zudem der Zweiradverkehr, der Bahnverkehr, die Schifffahrt, der nationale Flugverkehr und die Kompressoren der Gaspipelines Berücksichtigung finden (siehe hierzu Fußnote 34, Seite 43).

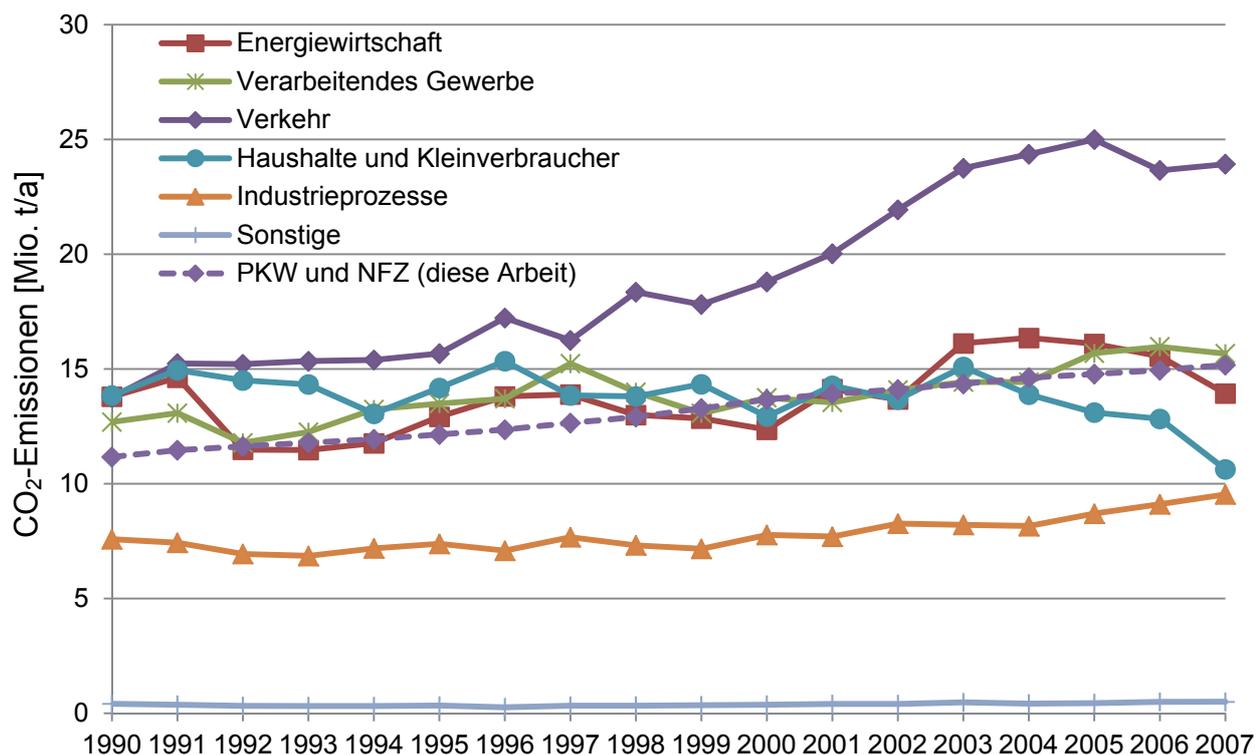


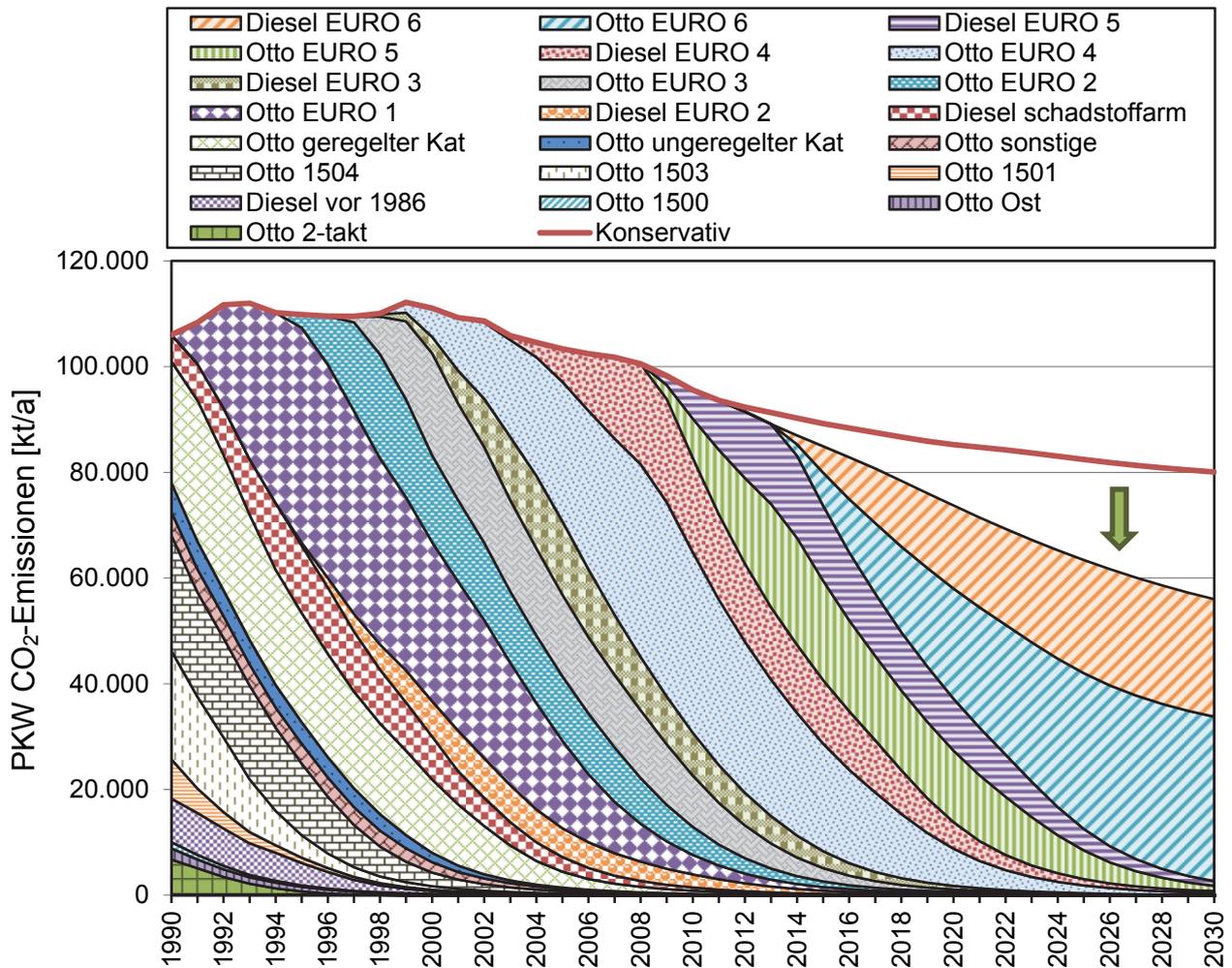
Abbildung 44: Sektorenvergleich<sup>40</sup> der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Österreich [106], [eigene Berechnungen]

#### 4.6.2 Emissionsentwicklung von Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen in Deutschland

Die, zufolge der späteren und langsameren österreichischen Motorisierung, im Vergleich zu Österreich schwächeren Bestandsentwicklung in Deutschland (siehe dazu Kapitel 3.1.2) führt, wie in **Abbildung 45** dargestellt, im Sektor PKW zu kontinuierlich sinkenden CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Die durch die Umsetzung des Szenarios „Optimaler Fall“ realisierbare CO<sub>2</sub>-Reduktion kann mit 15% bzw. 244.416 kt angegeben werden (grüner Pfeil). Im Jahr 2030 liegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 47% unter dem Wert von 1990.

<sup>40</sup> Siehe Fußnote 34, Seite 43

Abbildung 45: Entwicklung und Prognose der PKW CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland in kt/a

Der in **Abbildung 46** wiedergegebenen CO<sub>2</sub>-Emissionsentwicklung ist zu entnehmen, dass selbst im „Optimalen Fall“, d.h. unter Berücksichtigung der „CO<sub>2</sub>-Flottenregelung“ für leichte Nutzfahrzeuge (Klasse N1), im Zeitraum 1990 bis 2030 die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 41% steigen.

Die zufolge der CO<sub>2</sub>-Reglementierung erzielte CO<sub>2</sub>-Reduktion kann im gesamten Nutzfahrzeugsektor mit 4% bzw. 40.830 kt angegeben werden. Der in Relation zum schweren Nutzfahrzeug geringere Anteil an leichten Nutzfahrzeugen führt, verglichen mit Österreich, zu einer geringeren CO<sub>2</sub>-Reduktion.

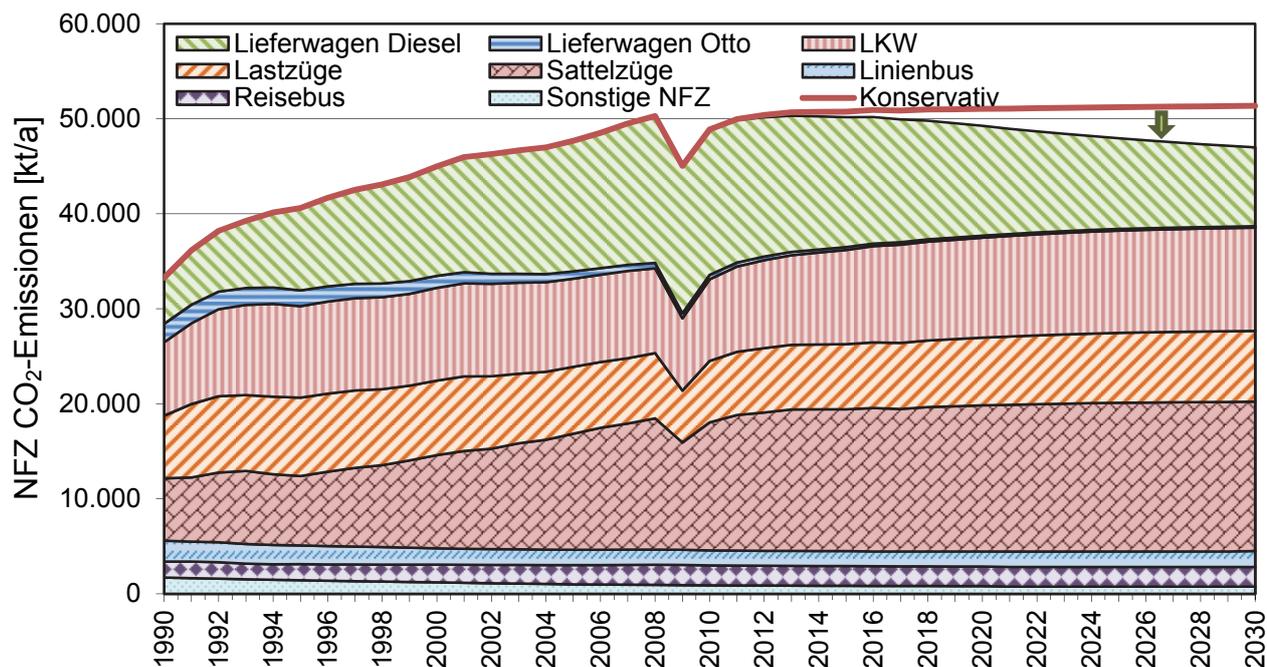
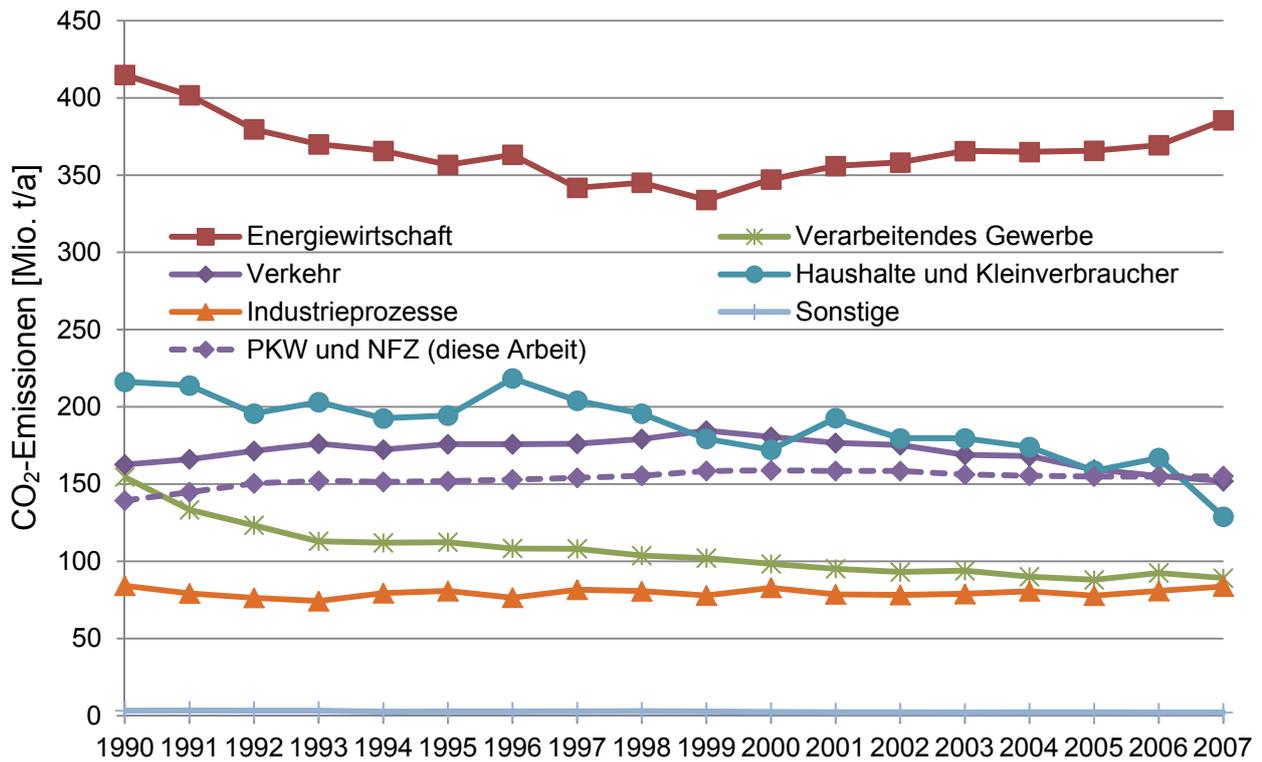


Abbildung 46: Entwicklung und Prognose der Nutzfahrzeug CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland in kt/a

Der in **Abbildung 47** wiedergegebene Sektorenvergleich für Deutschland bestätigt den Rückgang der verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen und zeigt die nur durchschnittliche Bedeutung des Verkehrssektors auf. [106]

Die ebenfalls in dieser Abbildung eingetragene Summe an CO<sub>2</sub>-Emissionen des PKW- und NFZ-Sektors dieser Arbeit korreliert gut mit den Berechnungen aus [106]. Das allgemein höhere Emissionsniveau von [106] ist damit zu begründen, dass in [106] nicht nur der PKW- und NFZ-Verkehr betrachtet wird sondern zudem der Zweiradverkehr, der Bahnverkehr, die Schifffahrt, der nationale Flugverkehr und die Kompressoren der Gaspipelines Berücksichtigung finden (siehe hierzu Fußnote 34, Seite 43).

Abbildung 47: Sektorenvergleich<sup>41</sup> der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland [106]<sup>41</sup> Siehe Fußnote 34, Seite 43

## 5 Auswahl der kritischen chemischen Komponenten

Die in Kapitel 4 für Österreich und Deutschland durchgeführten Berechnungen der PKW- und Nutzfahrzeugemissionen sowie die Analysen der Immissionskonzentrationen der im Fokus stehenden Stoffe (bestimmt in Kapitel 2.4) stellen die Grundlagen für die in diesem Abschnitt durchgeführten Bewertungen dar. Zu klären ist, welche der im Fokus stehenden chemischen Komponenten als kritisch zu betrachten sind.

Als kritisch werden in diesem Zusammenhang jene Stoffe bezeichnet, welche die in Kapitel 2 angeführten Grenzwerte und/oder Ziele im Sinne des Umwelt- oder Klimaschutzes bis 2030 voraussichtlich nicht einhalten.

Die Analyse der Emissions- und Immissionsentwicklungen führt je chemische Komponente – CO, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, PM, SO<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> – zu unterschiedlichen Ergebnissen, sodass die Erkenntnisse im Folgenden stoffspezifisch erörtert werden.

Eine zusammenfassende Darstellung der Entwicklungen der Luftqualität und der Straßenverkehrsemissionen wird in **Tabelle 16** wiedergegeben. Die Prozentwerte der Immissionskonzentrationsreduktionen (städtischer Hintergrund als auch verkehrsnah) beschreiben die Entwicklung des gemittelten Jahresmittelwertes ausgewählter österreichischer und deutscher Messstellen zwischen 1991 und 2008. Die Prozentwerte der Emissionsreduktionen des Straßenverkehrs (PKW und NFZ) beschreiben die Entwicklung der (in Kapitel 4 berechneten) Straßenverkehrsemissionen Österreichs und Deutschlands als Summenwert, differenziert nach den Zeiträumen 1991 bis 2008 (zum direkten Vergleich in der Immissionsentwicklung) und 1990 bis 2030 (als Trendinformation).

Chemische Komponente		Immission			Emissionen	
		Städtischer Hintergrund	Verkehrsnah	Verhältnis Verk./ s.H.	Straßenverkehr (PKW und NFZ)	
		'91-'08	'91-'08	'91   '08	'91-'08	'90-'30
<b>Kohlenmonoxid</b>	CO	-61%	-75%	2,6   1,7	-82%	-93%
<b>Stickstoffoxid</b>	NO <sub>x</sub>	-48%	-45%	3,0   3,2	-53%	-90%
<b>Stickstoffdioxid</b>	NO <sub>2</sub>	-30%	+2%	1,5   2,4	+29%	-58%
<b>Feinstaub/Partikel</b>	PM <sub>10</sub> /PM	-29%	-4%	1,0   1,3	-45%	-97%
<b>Schwefeldioxid</b>	SO <sub>2</sub>	-84%	-84%	1,2   0,8	[42]	[42]
<b>Kohlendioxid</b>	CO <sub>2</sub>	-	-	-	+6%	-25%

Tabelle 16: Entwicklung der Luftqualität und der Straßenverkehrsemissionen

## 5.1 Kohlenmonoxid – CO

Wie Tabelle 16 bzw. dem Kapitel 4.1.2 zu entnehmen ist, sinken sowohl an den Messstellen im städtischen Hintergrund als auch an den verkehrsnahen Messstellen die Konzentrationswerte im Zeitraum 1991 bis 2008 mit 61% bzw. 75% deutlich.

Im gleichen Betrachtungszeitraum (siehe Tabelle 16 bzw. Kapitel 4.1.1) sinken die Straßenverkehrsemissionen (PKW und NFZ) um 82%. Dies führt dazu, dass das Konzentrationsniveau an verkehrsnahen Messstellen, welches 1991 noch um den Faktor 2,6 über dem Hintergrundniveau lag, im Jahr 2008 nur mehr um den Faktor 1,7 höher lag.

Die Immissionsgrenzwerte wurden im Jahr 2009 an allen österreichischen Luftqualitätsmessstellen eingehalten [31]. Wird zudem berücksichtigt, dass die prognostizierte Emissionsreduktion des Straßenverkehrs für den Zeitraum 1990 bis

2030 mit 93% anzugeben ist und dadurch der Einfluss des Straßenverkehrs weiter abnimmt, ist Kohlenmonoxid als unkritisch einzustufen.

**CO wird als unkritisch eingestuft.**

**Es besteht kein weiterer Handlungsbedarf im Bereich des Straßenverkehrs.**

## **5.2 Stickstoffoxide – NO<sub>x</sub>**

Die der Tabelle 16 bzw. dem Kapitel 4.2.2 zu entnehmende Entwicklung der Luftqualität zeigt für den Zeitraum 1991 bis 2008 eine Reduktion der Konzentrationen um 48% bzw. 45% auf. Die Reduktion der Straßenverkehrsemissionen liegt in diesem Zeitraum mit 53% etwa auf gleichem Niveau (siehe hierzu auch Kapitel 4.2.1).

Aus dem Verhältnis der Immissionskonzentrationen „städtischer Hintergrund“ und „verkehrsnahe“ kann mit 3,0 im Jahr 1991 und 3,2 im Jahr 2008 der gewichtige und zunehmende Einfluss der Straßenverkehrsemissionen auf die NO<sub>x</sub>-Konzentration in der Luft abgeleitet werden.

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit existiert nach [43] jedoch kein Immissionsgrenzwert und der kritische Wert zum Schutz der Vegetation und von Ökosystemen nach [43] lag laut [31] an 16 von 17 Messstellen unter der unteren Belastungsschwelle.

Insbesondere weil die zu erwartende Emissionsreduktion im Straßenverkehr bis 2030 gegenüber 1990 mit 90% angegeben werden kann und kein Immissionsgrenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit existiert, werden die Stickstoffoxide als unkritisch eingestuft.

**NO<sub>x</sub> wird als unkritisch eingestuft.**

**Es besteht kein weiterer Handlungsbedarf im Bereich des Straßenverkehrs.**

### 5.3 Stickstoffdioxid – NO<sub>2</sub>

Die Entwicklung des Einflusses von NO<sub>2</sub> auf die Luftqualität ist, wie Tabelle 16 bzw. Kapitel 4.3.2 entnommen werden kann, nach dem städtischen Hintergrund und verkehrsnahen Messstellen differenziert zu betrachten. Im städtischen Hintergrund konnte zwischen 1991 und 2008 mit 30% eine Reduktion der NO<sub>2</sub>-Konzentration erreicht werden. Verkehrsnah erfolgt jedoch im selben Zeitraum ein Anstieg um 2%.

Diese Beobachtung korreliert mit der Emissionsentwicklung des Straßenverkehrs in diesem Zeitraum. Die Erhöhung der Straßenverkehrsemissionen um 29% (siehe auch Kapitel 4.3.1) führte zu einem Anstieg des Verhältnisses der Immissionskonzentrationen „städtischer Hintergrund“ zu „verkehrsnah“ von 1,5 im Jahr 1991 auf 2,4 im Jahr 2008. Dies unterstreicht den zunehmenden Einfluss des Straßenverkehrs.

Zudem wird der in [43] zum Schutz der menschlichen Gesundheit vorgeschriebene und ab 2010/2015 in Europa geltende Jahresmittelwert von 40 µg/m<sup>3</sup> im Jahr 2009 laut [31] an 20 von 156 österreichischen Messstationen überschritten. Dies ist insbesondere auch deswegen als kritisch zu bewerten, da der in [45] für Österreich vorgeschriebene und ab 2012 geltende Grenzwert bei 30 µg/m<sup>3</sup> liegt und beide Regulierungen keine Überschreitungen erlauben. Bestätigt wird dies auch durch die Analyse der verkehrsnahen Messstellen in dieser Arbeit (siehe Kapitel 4.3.2). Zwischen 1991 und 2008 überschreitet der Mittelwert der ausgewählten verkehrsnahen Messstellen durchgehend beide Grenzwerte.

Wird berücksichtigt, dass in Österreich (zwischen 1991 und 2008) im Jahr 1996 (Deutschland 1998) die niedrigsten NO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs generiert wurden und es trotzdem zu einer theoretischen EU- bzw. Österreich-Grenzwertüberschreitung von 35% (Deutschland 28%) bzw. 80% kam und dieses Emissionsniveau gemäß der erstellten Prognose erst 2021 (Deutschland 2018) wieder erreicht wird, ist Stickstoffdioxid als kritischer Stoff einzustufen, da die Grenzwerte bereits ab 2010/2015 bzw. 2012 gelten.

**NO<sub>2</sub> wird als kritisch eingestuft.**

**Es besteht weiterer Handlungsbedarf im Bereich des Straßenverkehrs.**

## 5.4 Partikel – PM

Die in Tabelle 16 zusammengefassten bzw. in Kapitel 4.4 beschriebenen Ergebnisse der Emissionsberechnung und Immissionsanalyse zeigen im Betrachtungszeitraum 1991 bis 2008 sowohl emissions- als auch immissionsseitig geringe bis durchschnittliche Reduktionen.

Insbesondere an verkehrsnahen Luftqualitätsmessstellen konnten kaum Reduktionen erzielt werden. Das Verhältnis der Konzentrationen (verkehrsnah zu städtischer Hintergrund) zeigt den steigenden, aber geringen Einfluss des Straßenverkehrs auf. Auch der in Kapitel 4.4.1 durchgeführte Sektorenvergleich nach Emittenten bestätigt eine nicht dominierende Position des Straßenverkehrs.

Der nach [43] zum Schutz der menschlichen Gesundheit existierende  $PM_{10}$ -Immissionsgrenzwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (als Jahresmittelwert) wurde laut [31] im Jahr 2009 nicht überschritten. Der nach [45] geltende  $PM_{10}$ -Grenzwert von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als Tagesmittelwert wurde gemäß [31] an 6 von 143 Messstellen überschritten.

Für die chemische Komponente  $PM_{2,5}$  liegen derzeit noch wenige Messwerte vor. Eine für Österreich durchgeführte Untersuchung in [42] stellt jedoch fest, dass in den Jahren 2007 und 2008 der ab 2015 geltende Grenzwert an allen Messstellen eingehalten wurde.

Somit ist festzustellen, dass Grenzwertüberschreitungen nur sehr punktuell auftreten. Insbesondere auch deswegen, weil Partikelimmissionen stark von den vorherrschenden Klimabedingungen (Meteorologie) abhängig sind. [105]

Da die zu erwartenden Emissionsreduktionen im Straßenverkehr bis 2030 gegenüber 1990 mit 97% angegeben werden können und der Straßenverkehr nur beschränkten Einfluss auf die Partikelemissionen und somit -immissionen hat, werden die Partikel als unkritisch eingestuft.

**PM wird als unkritisch eingestuft.**

**Es besteht kein weiterer Handlungsbedarf im Bereich des Straßenverkehrs.**

## 5.5 Schwefeldioxid – SO<sub>2</sub>

Wie bereits in Kapitel 4.5 ausgeführt, ist SO<sub>2</sub> aufgrund zahlreicher sektorenübergreifender Reduktionsmaßnahmen emissions- und immissionsseitig von untergeordneter Bedeutung [31], [42]. Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Analyse der Immissionskonzentrationen bestätigt dies sowohl im „städtischen Hintergrund“ als auch „verkehrsnahe“. Es ist ein Rückgang der Konzentrationen, gemessen als Jahresmittelwert von 84%, festzustellen. Zudem weist das Verhältnis zwischen verkehrsnaher und städtischer Hintergrundkonzentration im Jahr 2008 mit 0,8 und im Jahr 1991 mit 1,0 auf einen sinkenden Einfluss des Straßenverkehrs hin. Die gemäß [40] vorgeschriebenen Emissionshöchstmengen werden seit dem Jahr 2000 eingehalten [42].

**SO<sub>2</sub> wird als unkritisch eingestuft.**

**Es besteht kein weiterer Handlungsbedarf im Bereich des Straßenverkehrs.**

## 5.6 Kohlenstoffdioxid – CO<sub>2</sub>

Die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emission des Straßenverkehrs zeigt, wie in Kapitel 4.6 ausführlich erörtert und in Tabelle 16 zusammengefasst, einen zwischen 1991 und 2008 steigenden Trend. Erst eine langfristige Betrachtung bis 2030 führt, aufgrund der CO<sub>2</sub>-Regulierung für PKW und leichte Nutzfahrzeuge, zu moderaten Reduktionen von 25% gegenüber dem Jahr 1990. Wie in dieser Arbeit ausgeführt konnte bzw. kann die Erhöhung des Bestandes und der Fahrleistung sowie die mit der Gewichtszunahme aufgrund von Sicherheits- und Komfortausstattungen einhergehende Verbrauchszunahme nicht in ausreichendem Maße kompensiert werden, um mit CO, NO<sub>x</sub> oder PM vergleichbare Reduktionsraten zu erzielen.

Zudem ist festzuhalten, dass für schwere Nutzfahrzeuge keine CO<sub>2</sub>-Regulierung vorliegt und demnach die Reduktion der spezifischen Kraftstoffverbräuche bzw. der CO<sub>2</sub>-Emissionen geringer ausfällt.

Wie in Kapitel 2.3 erörtert, dient die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen dem Klimaschutz. Verglichen mit den europäischen CO<sub>2</sub>-Reduktionszielen (siehe Kapitel 2.3), ist der Beitrag des Straßenverkehrs durch die Einhaltung der CO<sub>2</sub>-

Flottenvorgaben für PKW und leichte Nutzfahrzeuge (siehe Kapitel 2.1.2) mit einer Reduktion von 25% bis 2030 (gegenüber 1990) als zu gering einzustufen.

Das Europäische Parlament und der Rat definierten im Jahr 2009 das Ziel bis zum Jahr 2020 die Treibhausgasemissionen gegenüber dem Bezugsjahr 1990 um 30% zu reduzieren. Bis 2050 soll eine Reduktion von 60 bis 80% gegenüber 1990 erzielt werden. [48]

Basierend auf den geringen zu erwartenden Emissionsreduktionen im Straßenverkehr, insbesondere bei schweren Nutzfahrzeugen und den ambitionierten Zielen der Europäischen Union, ist CO<sub>2</sub> als kritisch einzustufen.

**CO<sub>2</sub> wird als kritisch eingestuft.**

**Es besteht weiterer Handlungsbedarf im Bereich des Straßenverkehrs.**

## **5.7 Fazit**

Die separierte Betrachtung einzelner Regularien der Bereiche Emission, Immission und Energie liefert kein vollständiges Bild zur Relevanz einzelner chemischer Komponenten. Erst eine ganzheitliche Betrachtung aller umwelt-, energie- und klimarelevanten Vorgaben und Ziele zeigt die im Fokus stehenden Stoffe auf.

Durch den Vergleich der Vorgaben und Ziele mit den erreichten bzw. zu erreichenden Emissions- und Immissionsentwicklungen ist die Bestimmung der kritischen chemischen Komponenten möglich.

**Abbildung 48** zeigt diese Zusammenhänge und den Handlungsbedarf als Schnittmenge der Einzelbetrachtungen. Wie im Obigen erarbeitet, werden die chemischen Komponenten NO<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> als kritisch eingestuft.

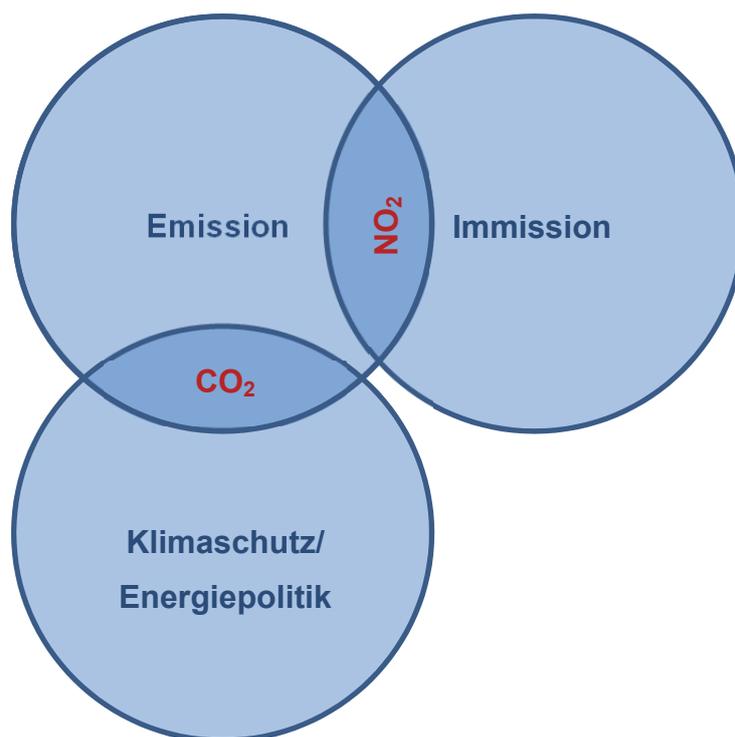


Abbildung 48: Kritische chemische Komponenten bei ganzheitlicher Betrachtung

Im Weiteren werden für die beiden chemischen Komponenten NO<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> der Handlungsbedarf im Bereich des Straßenverkehrs bewertet und Lösungsansätze diskutiert.

## **6 Bewertung des weiteren Handlungsbedarfs im Straßenverkehr**

Als Ergebnis der vorangegangenen Arbeit werden im Folgenden die chemischen Komponenten  $\text{NO}_2$  und  $\text{CO}_2$  und der auf diese beiden Stoffe bezogene weitere emissionsseitige Handlungsbedarf im Straßenverkehr betrachtet und bewertet. Der Fokus der Analysen wird dabei auf Österreich gelegt.

Für das insbesondere nach Luftqualitätsrichtlinien als kritisch einzustufende  $\text{NO}_2$  wurde zur Bestimmung des Handlungsbedarfs eine  $\text{NO}_2$ -Immissionsprognose bis 2030 durchgeführt. Mit dieser wird der weitere immissionsseitige Reduktionsbedarf zur Einhaltung der Immissionsgrenzwerte bestimmt.

Zur Bestimmung des Handlungsbedarfs für das im Sinne des Klimaschutzes als kritisch einzustufende Treibhausgas  $\text{CO}_2$  wird eine Bewertung der Realisierbarkeit der  $\text{CO}_2$ -Reduktionsziele der Europäischen Union zufolge der erwarteten Emissionsreduktionen im Straßenverkehr durchgeführt. Aus dem Grad der Zielerreichung wird der Handlungsbedarf abgeleitet. Dabei wird, wie auch bei den europäischen Reduktionszielen, der Betrachtungszeitraum auf 2050 erweitert.

### **6.1 Stickstoffdioxid $\text{NO}_2$**

Wie eingangs erörtert erfolgt die Bewertung der immissionsseitigen  $\text{NO}_2$ -Reduktion zufolge der erwarteten Emissionen im Straßenverkehr anhand einer Immissionsprognose.

Die für die Entwicklung des Modells erforderlichen Grundlagen werden wie folgt angeführt.

#### **6.1.1 Grundlagen**

In [107] wird, basierend auf den durchgeführten Analysen der Emissions- und Immissionsentwicklungen von 6 österreichischen Luftqualitätsmessstellen, zusammenfassend festgestellt, dass an 4 der betrachteten Straßenabschnitte sowohl

der durchschnittliche tägliche Verkehr als auch die NO<sub>2</sub>-Emissionen und -Immissionen in einem signifikanten Ausmaß zugenommen haben. Als Einflussgrößen/Emittenten werden genannt:

- Verkehr
- Verkehr auf anderen Straßen
- Hausbrand
- Industrie
- Ozonkonzentration

Als entscheidende Einflussfaktoren werden zudem

- Meteorologie,
- chemische Umwandlung in der Atmosphäre und
- Topographie

angeführt.

Die in **Abbildung 49** wiedergegebene Trendauswertung der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte zwischen 2001 und 2006 zeigt auf, dass im Besonderen an stark verkehrsbeeinflussten Messstellen die NO<sub>2</sub>-Immissionen signifikant steigen. [107]

Der Fokus der Betrachtung liegt demnach auf verkehrsnahen Luftqualitätssituationen. Im Weiteren wird speziell für diese Immissionssituation der Einfluss des Straßenverkehrs analysiert.

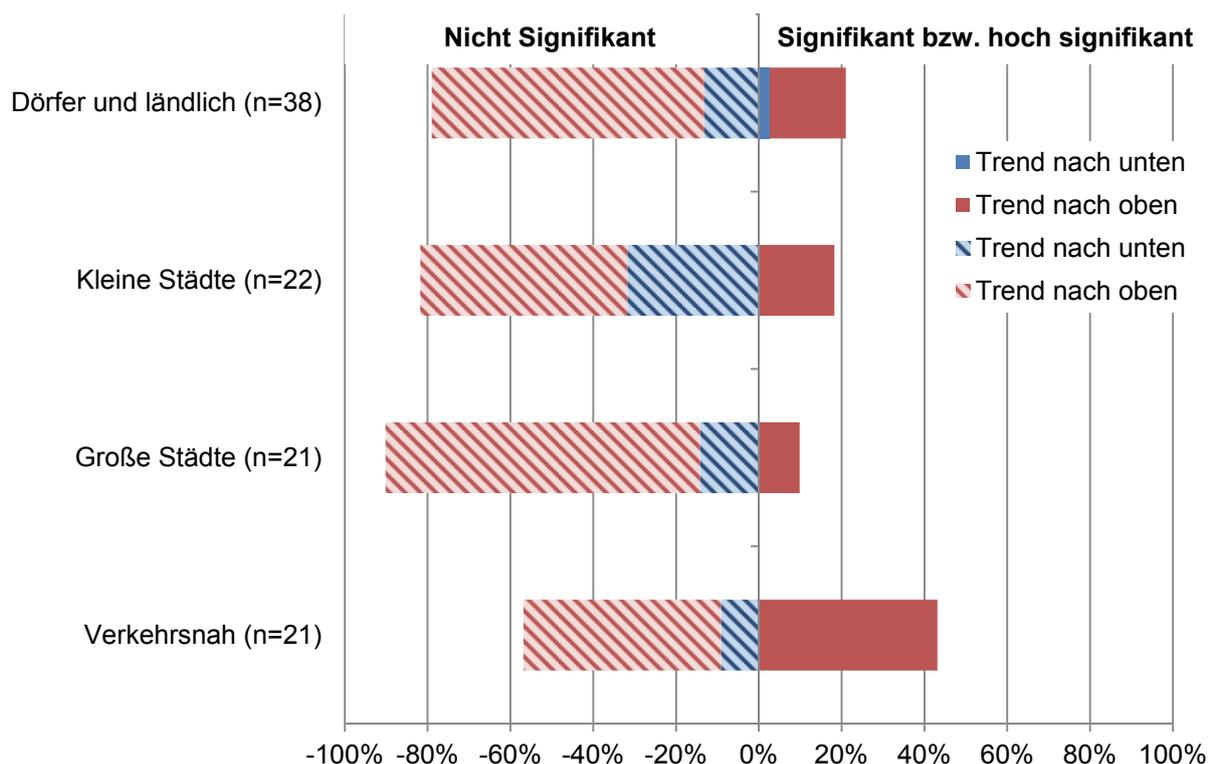


Abbildung 49: Test auf signifikante Trends der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerten [107], [eigene Darstellung]

Bei der in **Abbildung 50** wiedergegebenen Detailbetrachtung der stark belasteten verkehrsnahen Luftqualitätsmessstelle Wien-Hietzinger Kai ist seit 1991 ein Rückgang der NO-Immissionsmesswerte von 48% und der NO<sub>x</sub>-Immissionsmesswerte von 38% festzustellen. In diesem Zeitraum stagniert die NO<sub>2</sub>-Immissionskonzentration bzw. steigt marginal an.

Die in Abbildung 49 dargestellte Zunahme an signifikanten Trends zu steigenden NO<sub>2</sub>-Immissionsmesswerten an verkehrsnahen Messstellen und die in Abbildung 50 wiedergegebene Entwicklung an der Verkehrsmessstelle Wien-Hietzinger Kai lassen an dieser Luftqualitätsmessstelle einen signifikanten Einfluss des Straßenverkehrs erwarten.

Die NO<sub>x</sub>-, NO- und NO<sub>2</sub>-Emissionen des österreichischen Straßenverkehrs (PKW und NFZ) zeigen zu dieser Messstelle gut vergleichbare Entwicklungen und bestätigen damit den Einfluss des Straßenverkehrs.

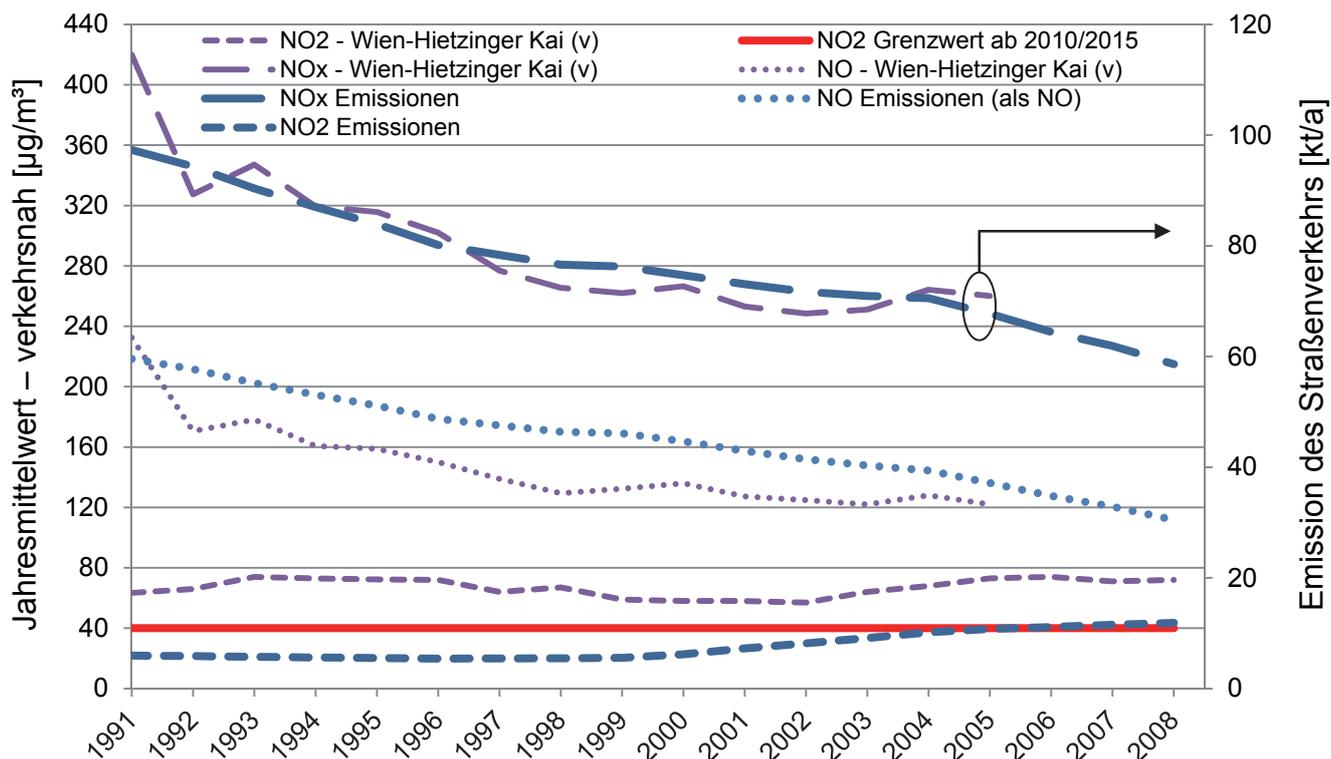


Abbildung 50: NO, NO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub>-Jahresmittelwerte der Immissionskonzentration (NO<sub>x</sub> als NO<sub>2</sub> Äquiv.) der Verkehrsmessstelle Wien-Hietzing Kai [102] und NO<sub>x</sub>- bzw. NO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs (PKW+NFZ) in Österreich [eigene Berechnung]

Im Rahmen der Beurteilung der NO<sub>2</sub>-Immissionsentwicklung werden drei Ursachen für den Anstieg bzw. die Stagnation diskutiert. Als Gründe werden

- der erhöhte Anteil an straßenverkehrsbedingten NO<sub>2</sub>-Emissionen (NO<sub>2</sub>-Primäremissionen),
- erhöhte Ozonkonzentrationen (NO<sub>2</sub>-Sekundäremissionen) und
- eine steigende bzw. stagnierende NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung

genannt [108], [109].

Höhere Ozonkonzentrationen führen, bedingt durch das sich einstellende Gleichgewichtsverhältnis<sup>42</sup> zwischen NO, NO<sub>2</sub> und O<sub>3</sub>, zu höheren NO<sub>2</sub>-Konzentrationen. Steht mehr Ozon zur Verfügung, kann mehr NO zu NO<sub>2</sub> umgewandelt werden. [108] Dem aktuellen Jahresbericht der Luftgütemessungen in Österreich kann ein derartiger Trend jedoch nicht entnommen werden. [110]

<sup>42</sup> Photochemisches Gleichgewicht:  $\text{NO} + \text{O}_3 \leftrightarrow \text{O}_2 + \text{NO}_2$

Auch in [111], dargestellt in **Abbildung 51**, werden diese Ursachen der NO<sub>2</sub>-Konzentration an städtischen, verkehrsnahen Luftqualitätsmessstellen bestimmt.

Die Analyse der NO<sub>2</sub>-Konzentrationszusammensetzungen an vier städtischen, verkehrsnahen Luftqualitätsmessstellen, durchgeführt in [111], führte zu dem Ergebnis, dass im Mittel

- 37% der NO<sub>2</sub>-Immission primärem NO<sub>2</sub>,
- 27% der NO<sub>2</sub>-Immission sekundärem NO<sub>2</sub> (aus NO Emission) und
- 36% der NO<sub>2</sub>-Immission dem städtischen Hintergrund

zuzuordnen sind.

Abhängig von den lokalen Rahmenbedingungen (Verkehrsaufkommen, Topographie, Hintergrundbelastung, etc.) an den Messstellen ergeben sich für die NO<sub>2</sub>-Konzentrationszusammensetzung die in **Abbildung 52 angeführten** Bandbreiten.

Wird nun im Fall der städtischen, verkehrsnahen Messstelle davon ausgegangen, dass primäres und sekundäres NO<sub>2</sub> durch den lokalen Straßenverkehr verursacht werden, liegt dessen Beitrag im Mittel bei 64% (Bandbreite 56% bis 72%).

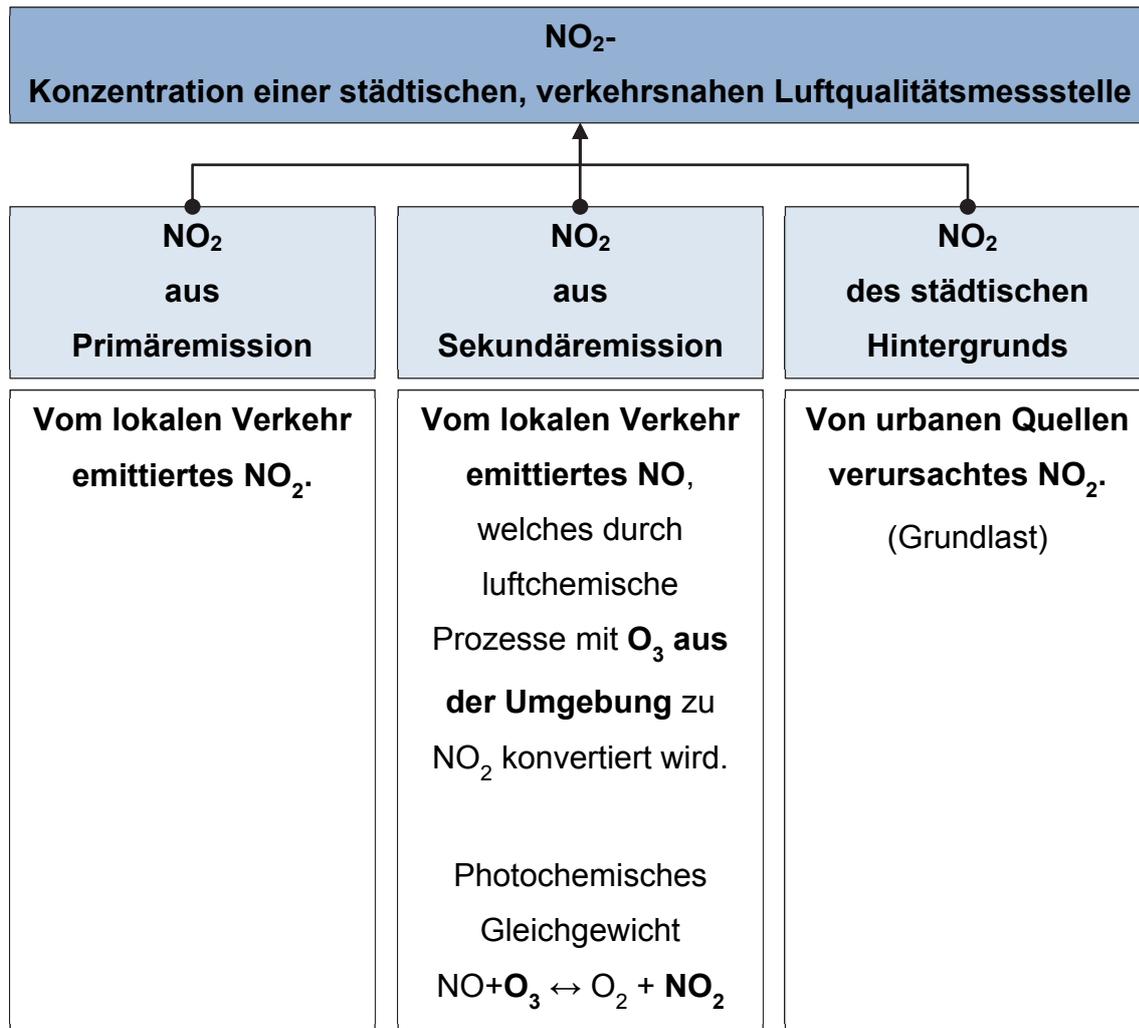


Abbildung 51: Quellen der NO<sub>2</sub>-Konzentration an einer städtischen, verkehrsnahen Luftqualitätsmessstelle [111], [eigene Darstellung]

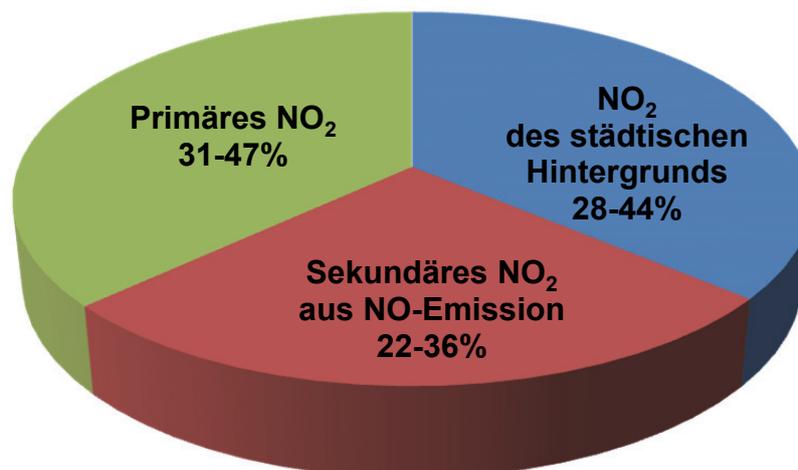


Abbildung 52: Zusammensetzung der lokalen NO<sub>2</sub>-Belastung [111], [eigene Berechnung]

### 6.1.2 Modelle der NO<sub>2</sub>-Immissionsberechnung

Ein häufig verwendeter mathematischer Zusammenhang zur Bestimmung der NO<sub>2</sub>-Immissionskonzentration ist der 1996 in [112] publizierte Regressionsansatz (Romberg-Formel, **Gleichung 4**). Dabei wird die NO<sub>2</sub>-Immissionskonzentration als Funktion der NO<sub>x</sub>-Immissionskonzentration bestimmt. Die empirisch ermittelten Konstanten für den Jahresmittelwert A, B und C stellen dabei die Regressionsparameter dar. In [113] wurde 2006 die Anwendbarkeit der Romberg-Formel (**Gleichung 4**) untersucht und bestätigt.

$$NO_2 = \frac{A * NO_x}{NO_x + B} + C * NO_x$$

$$A = 103, B = 130 \text{ und } C = 0,005$$

Gleichung 4: Romberg-Formel [112]

Um dem sich ändernden NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Konzentrationsverhältnis zu entsprechen, wurde in [114] eine Anpassung der Regressionsparameter unter Berücksichtigung der Jahresmittelwerte der Jahre 2004-2006 durchgeführt. Dabei wurden die Werte A=29, B=35 und C=0,217 bestimmt. Die angepasste Romberg-Formel wird im Weiteren als Bächlin-Formel bezeichnet.

Wie dem Aufbau der Gleichung 4 und [114] zu entnehmen ist, kann ohne Anpassung der Regressionsparameter A, B und C der Einfluss eines sich ändernden NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Konzentrationsverhältnisses auf die NO<sub>2</sub>-Konzentration nicht dargestellt werden.

Gerade dies ist jedoch Ziel dieser Arbeit, da - wie in Kapitel 3.3.1 ausgeführt - emissionsseitig von einer dynamischen Änderung der NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Emission auszugehen ist.

Aufgrund der vielschichtigen chemischen Zusammenhänge der NO<sub>2</sub>-Bildung ist eine präzise Bewertung des Straßenverkehrseinflusses nur unter Berücksichtigung der relevanten Parameter (Ozonkonzentration, Verkehrsaufkommen, Flottenzusammensetzung, etc.) im Rahmen einer Modellrechnung möglich. Insbesondere die örtlich unterschiedlichen Gegebenheiten wie Windgeschwindigkeit, Temperatur u.a.m. sind darin abzubilden.

In [115] wurde ein vereinfachtes Chemiemodell auf Basis der Jahresmittelwerte der  $\text{NO}_x$ -,  $\text{NO}_2$ - und  $\text{O}_3$ -Hintergrundbelastung sowie des primären  $\text{NO}_x/\text{NO}_2$ -Emissionsverhältnisses vorgestellt. Diese, hier als Düring-Modell bezeichnete Berechnungsmethodik, geht von folgenden Annahmen aus:

- Das Gleichgewicht zwischen  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$  und  $\text{O}_3$  wird schnell erreicht.
- Die Reaktion mit flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) wird nicht berücksichtigt.
- Der Durchmischungsprozess wird mit einer „starr“ Durchmischungszeit parametrisiert.
- Der Windeinfluss wird nicht berücksichtigt.

Die analysierten Reaktionen können gemäß **Gleichung 5** und **Gleichung 6** wiedergegeben werden:



k...Reaktionskoeffizient in  $\frac{1}{\text{ppb}\cdot\text{s}}$  | IM...Immissionskonzentration

Gleichung 5:  $\text{NO}_2$  Produktion [115]



J... Photolysefrequenz in  $\frac{1}{\text{s}}$  | IM...Immissionskonzentration

Gleichung 6:  $\text{NO}$  Produktion [115]

Im Zustand des photochemischen Gleichgewichts gilt **Gleichung 7**.

$$\frac{d\text{NO}_{2,IM}}{dt} = \frac{d\text{NO}_{IM}}{dt} = \frac{d\text{O}_{3,IM}}{dt} = 0$$

Gleichung 7: Photochemisches Gleichgewicht

Die Lösung der drei Differentialgleichungen (Gleichung 7), unter Berücksichtigung von **Gleichung 8** und **Gleichung 9**, führt zu der in **Gleichung 10** angeführten Bestimmungsgleichung der  $\text{NO}_2$ -Immissionskonzentration.

$$NO_{2,IM,V} = \frac{NO_{2,EM}}{NO_{x,EM}} * (NO_{x,IM} - NO_{x,IM,H})$$

EM...Emission | IM...Immissionskonzentration | V...Verkehr | H...Hintergrund

Gleichung 8: NO<sub>2</sub>-Immission des Straßenverkehrs [115]

$$NO_{IM,V} = NO_{IM} - NO_{IM,H}$$

IM...Immissionskonzentration | V...Verkehr | H...Hintergrund

Gleichung 9: NO-Immission des Straßenverkehrs [115]

$$NO_{2,IM} = 0,5 * (B - \sqrt{B^2 - 4 * (NO_{x,IM} * NO_{2,IM,O} + \frac{NO_{2,IM,n}}{k * \tau})})$$

mit den Variablen:

$$B = NO_{x,IM} + NO_{2,IM,O} + \frac{1}{k} * (J + \frac{1}{\tau})$$

$$NO_{2,IM,n} = NO_{2,IM,V} + NO_{2,IM,H}$$

$$NO_{2,IM,O} = NO_{2,IM,n} + O_{3,IM,H}$$

IM...Immissionskonzentration | V...Verkehr | H...Hintergrund

k...Reaktionskoeffizient in  $\frac{1}{ppb*s}$  |  $\tau$ ...Zeitkonstante in s | J... Photolysefrequenz in  $\frac{1}{s}$

Gleichung 10: Bestimmungsgleichung der NO<sub>2</sub>-Immissionskonzentration [115]

Im vereinfachten Ansatz nach [115] sind zur Bestimmung des NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwertes folgende Werte anzusetzen:

- Reaktionskoeffizient  $k=0,00039 \frac{1}{ppb*s}$
- Zeitkonstante  $\tau=100$  s (Straßenschlucht) bzw. 40 s (freie Ausbreitung)
- Photolysefrequenz  $J=0,0045 \frac{1}{s}$

Die Anwendung des Düring-Modells erfordert demnach untenstehende Eingangsgrößen:

- NO<sub>x</sub>-Immissionskonzentration an der zu untersuchenden Verkehrsmessstelle
- NO<sub>x</sub>-Immissionskonzentration der Hintergrundstation
- NO<sub>2</sub>-Immissionskonzentration einer geeigneten Hintergrundstation
- O<sub>3</sub>-Immissionskonzentration einer geeigneten Hintergrundstation
- NO<sub>x</sub>/NO<sub>2</sub>-Emissionsverhältnis

Ohne Anwendung eines Chemiemodells sind im Falle einer Zukunftsbetrachtung für die Bestimmung der erforderlichen  $\text{NO}_{x,V^-}$ ,  $\text{NO}_{x,H^-}$ ,  $\text{NO}_{2,H^-}$ ,  $\text{O}_{3,H^-}$ -Immissionskonzentrationen entsprechende Annahmen zu treffen.

Da die Bestimmung dieser Konzentrationen Unsicherheiten unterliegen, wurde im Weiteren ein empirischer Ansatz entwickelt, welcher auf die direkte Bestimmung der im Obigen angeführten zukünftigen Immissionskonzentrationen verzichtet. Nach der Vorstellung dieses Modells werden die vorliegenden vier Berechnungsmethoden anhand eines Fallbeispiels verglichen.

Grundlage des in dieser Arbeit empirisch entwickelten Modells sind die in [111] durchgeführten Untersuchungen. Ziel war es, dabei die modellbasierten Berechnungen soweit zu vereinfachen, dass eine gegenüber Düring [115] weiter vereinfachte Berechnung durchgeführt werden kann. Zum Unterschied von Düring sollte dabei lediglich die  $\text{NO}_2$ -Immissionskonzentration eines Bezugsjahres bzw. die  $\text{NO}_x$ - und  $\text{NO}_2$ -Emissionen erforderlich sein.

Die durch Iteration ermittelte empirische Näherungsformel zur Berechnung der  $\text{NO}_2$ -Immissionskonzentration eines beliebigen Jahres wird in **Gleichung 11** dargestellt. Die Berechnung berücksichtigt die gemessene  $\text{NO}_2$ -Immissionskonzentration eines Basisjahres und die berechneten bzw. prognostizierten  $\text{NO}_x$ - und  $\text{NO}_2$ -Emissionen des Straßenverkehrs des Jahres der gesuchten  $\text{NO}_2$ -Immission.

Für die Simplifizierung des Modells wurde der in **Gleichung 12** wiedergegebene Verhältnissfaktor  $a$  empirisch bestimmt. Dabei erfolgt eine Mittelung der Modelldaten der vier in [111] untersuchten Messstellen.

$$NO2_{IM,x} = \left( \frac{NOx_{EM,x}}{NOx_{EM,y}} + \frac{NO2_{EM,x}}{NO2_{EM,y}} \right) \times NO2_{IM,y} \times a$$

(IM... Immission in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , EM... Emission in  $\text{kt}/\text{Jahr}$ , x... Jahr, y... Bezugsjahr)

Gleichung 11:  $\text{NO}_2$ -Immissionswert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

$$a = \frac{1}{4} \times \sum_{i=1}^4 \frac{\frac{NO2_{IM,2020,i}}{NO2_{IM,2008,i}}}{\frac{NOx_{EM,2020,i}}{NOx_{EM,2008,i}} + \frac{NO2_{EM,2020,i}}{NO2_{EM,2008,i}}} = 0,561$$

(IM... Immission in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , EM... Emission in kt/Jahr, i... Wert an der Messstelle)

Gleichung 12: Verhältnissfaktor a [-]

Der durch diese Näherung generierte Fehler wurde anhand der Modelldaten für das Jahr 2020 berechnet und kann mit  $\pm 6\%$  angegeben werden. **Tabelle 17** vergleicht die Ergebnisse der  $\text{NO}_2$ -Immissionswerte an den untersuchten Messstellen aus [111] und dieser Arbeit.

$\text{NO}_2$ -Immission in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	[111]	Diese Arbeit	Relativer Wert
<b>Messstelle 1</b>	69	67	96%
<b>Messstelle 2</b>	40	41	103%
<b>Messstelle 3</b>	33	35	106%
<b>Messstelle 4</b>	45	43	95%
<b>Bandbreite</b>			+/-6%

Tabelle 17: Fehlerabschätzung durch Näherung

Voraussetzung für die Anwendbarkeit der hier entwickelten Näherung ist, dass analog zu den in [111] analysierten Daten das Verhältnis zwischen der  $\text{NO}_2$ -Immissionsreduktion des Straßenverkehrs und der  $\text{NO}_2$ -Immissionsreduktion des städtischen Hintergrundes im Mittel 1 beträgt.

### 6.1.3 Modellvergleich

Für den Vergleich der vier Berechnungsmethoden wurden die  $\text{NO}_2$ -Jahresmittelwerte der Konzentration der Luftqualitätsmessstelle Wien – Hietzinger Kai mit den Modellen rekonstruiert. Als städtischer Hintergrund dienen die Messdaten der Luftqualitätsmessstelle Wien – Schafberg. Da für die Luftqualitätsmessstelle Wien – Schafberg keine  $\text{O}_3$ -Konzentrationswerte vorliegen, wurden jene der Luftqualitätsmessstelle

Wien – Stephansplatz ersatzweise gewählt. Die Messdaten der Luftqualitätsmessstellen sind [102] zu entnehmen. Die Emissionsdaten sind Kapitel 3.3.1, Kapitel 4.2.1.1 und Kapitel 4.3.1.1 zu entnehmen.

Wie **Abbildung 53** entnommen werden kann, stellt die Romberg-Formel mit einer durchschnittlichen Abweichung von 6% (Flächenintegral) die beste Näherung an die realen Messdaten dar. Festzustellen ist jedoch, dass ab dem Jahr 2002 der Anstieg der  $\text{NO}_2$ -Immissionskonzentration, bedingt durch das steigende  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -Emissionsverhältnis, nicht abgebildet wird. Da in der vorliegenden Arbeit der Betrachtungszeitraum bis 2030 reicht und sich das  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -Emissionsverhältnis zunehmend verändert, wird eine steigende Abweichung erwartet.

Die Bächlin-Formel als Anpassung der Romberg-Formel an aktuelle  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -Emissionsverhältnisse führt erwartungsgemäß in den ersten Jahren zu einer Überschätzung der  $\text{NO}_2$ -Immissionskonzentrationen. Erst ab 2006 erfolgt eine Annäherung der berechneten Werte an die Messwerte. Da die Berechnungsmethode vergangene und zukünftige  $\text{NO}_2$ -Immissionskonzentration gleichermaßen bestimmen soll, ist die Bächlin-Formel nur eingeschränkt nutzbar.

Nach dem Romberg-Modell stellt das Düring-Modell mit einer durchschnittlichen Abweichung von 12% (Flächenintegral) die zweitbeste Näherung an die Realdaten dar. Insbesondere ab dem Jahr 2000 ist mit steigendem  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -Emissionsverhältnis eine gute Übereinstimmung des  $\text{NO}_2$ -Immissionskonzentrationsverlaufs festzustellen. Absolut wird das  $\text{NO}_2$ -Immissionskonzentrationsniveau tendenziell überschätzt.

Das in dieser Arbeit entwickelte empirische Modell liefert mit einer durchschnittlichen Abweichung von 17% (Flächenintegral) mit dem Düring-Modell vergleichbare Ergebnisse. Absolut werden die  $\text{NO}_2$ -Immissionskonzentrationen ebenfalls tendenziell überschätzt. Die gute Übereinstimmung des Verlaufs der  $\text{NO}_2$ -Immissionskonzentration ist auch in diesem Modell gegeben.

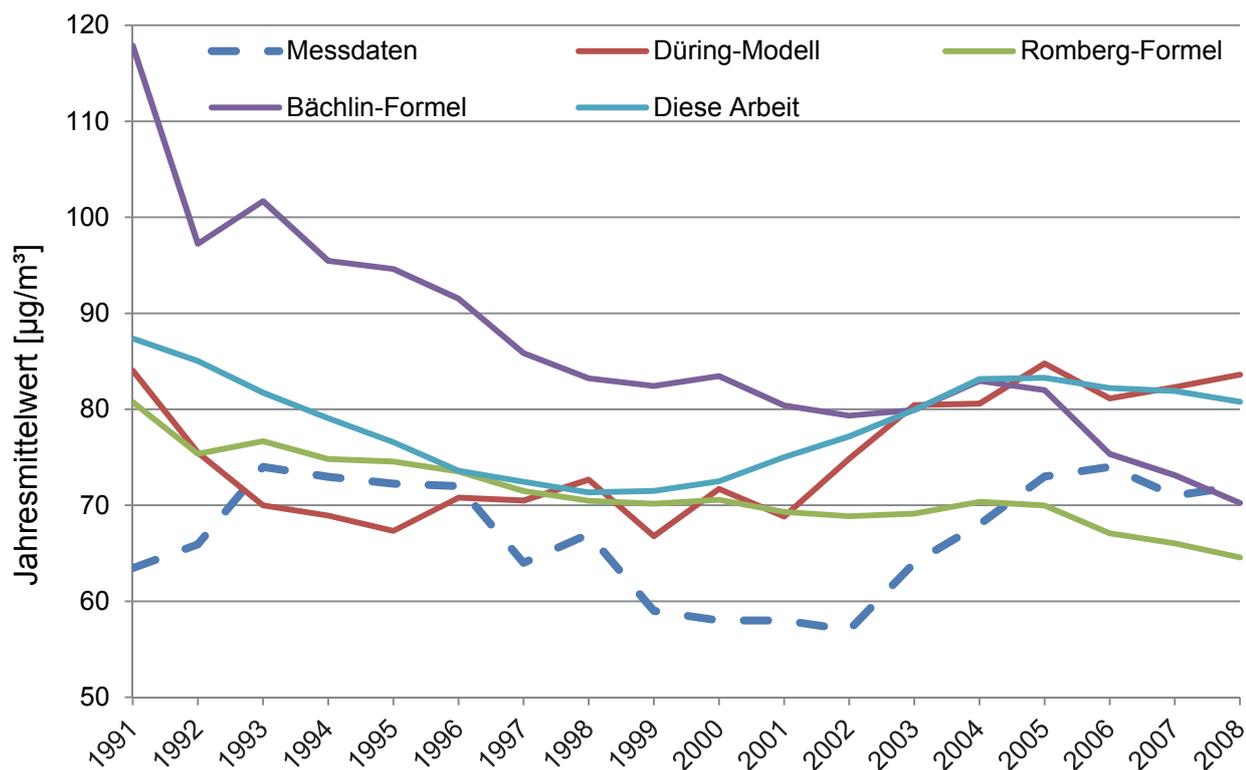


Abbildung 53: NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte der Immissionskonzentration der Verkehrsmessstelle Wien-Hietzinger Kai [102], [eigene Berechnung]

Im Weiteren werden alle vier Berechnungsmethoden verwendet und die Bandbreite der Prognosen aufgezeigt.

#### 6.1.4 Berechnung

Die in den obigen Kapiteln durchgeführten Analysen und Berechnungen ermöglichen nunmehr die Erstellung einer Immissionsprognose. Dabei wird unterstellt, dass an der im Folgenden betrachteten durchschnittlichen österreichischen verkehrsnahen Immissionsmessstelle eine durchschnittliche österreichische Emissionssituation vorliegt.

Die für die Anwendung der einzelnen Berechnungsmethoden erforderlichen Eingangsparameter wurden wie folgt bestimmt.

Der Trend der O<sub>3</sub>-Immissionskonzentrationsentwicklung der Hintergrund-Luftqualitätsmessstelle Wien – Stephansplatz wurde aus den Jahresmittelwerten 1991 bis 2008 [102] bestimmt und in **Gleichung 13** wiedergegeben.

$$O_{3,JMW} = 0,3722 * x + 40,908$$

Gleichung 13: O<sub>3</sub>-Bestimmungsgleichung

Die Entwicklungen der NO<sub>x</sub>-Immissionskonzentrationen an den Luftqualitätsmessstellen Wien – Hietzinger Kai und Wien – Schafberg wurden für die Jahre 1991-2005 [102] zu den nationalen NO<sub>x</sub>-Straßenverkehrsemissionen in Relation gesetzt. Aus der Verknüpfung der jeweiligen Trendfunktionen konnten die in **Gleichung 14** angeführten Bestimmungsgleichungen für die Fortschreibung der NO<sub>x</sub>-Jahresmittelwerte, basierend auf den jährlichen NO<sub>x</sub>-Straßenverkehrsemissionen, abgeleitet werden.

$$NO_{x,JMW,Hietzing} = (NO_{x,EM} - 92,117) * \frac{6,93}{1,8486} + 334,8$$

$$NO_{x,JMW,Schafberg} = e^{(NO_{x,EM} - 95,354) * \frac{0,05}{1,9788}} * 47,481$$

Gleichung 14: NO<sub>x</sub>-Bestimmungsgleichungen

Die Analyse der Entwicklung der NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte der Luftqualitätsmessstelle Wien – Schafberg der Jahre 1991-2008 [102] führte zu der in **Gleichung 15** wiedergegebenen Bestimmungsgleichung für die Fortschreibung der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte, basierend auf den NO<sub>x</sub>-Jahresmittelwerten der Luftqualitätsmessstelle Wien – Schafberg.

$$NO_{2,JMW,Schafberg} = \ln \frac{NO_{x,JMW,Schafberg}}{47,594} * \frac{0,5}{0,05} + 24,825$$

Gleichung 15: NO<sub>2</sub>-Bestimmungsgleichung

Die jeweiligen Trendfunktionen werden in **Abbildung 54** wiedergegeben.

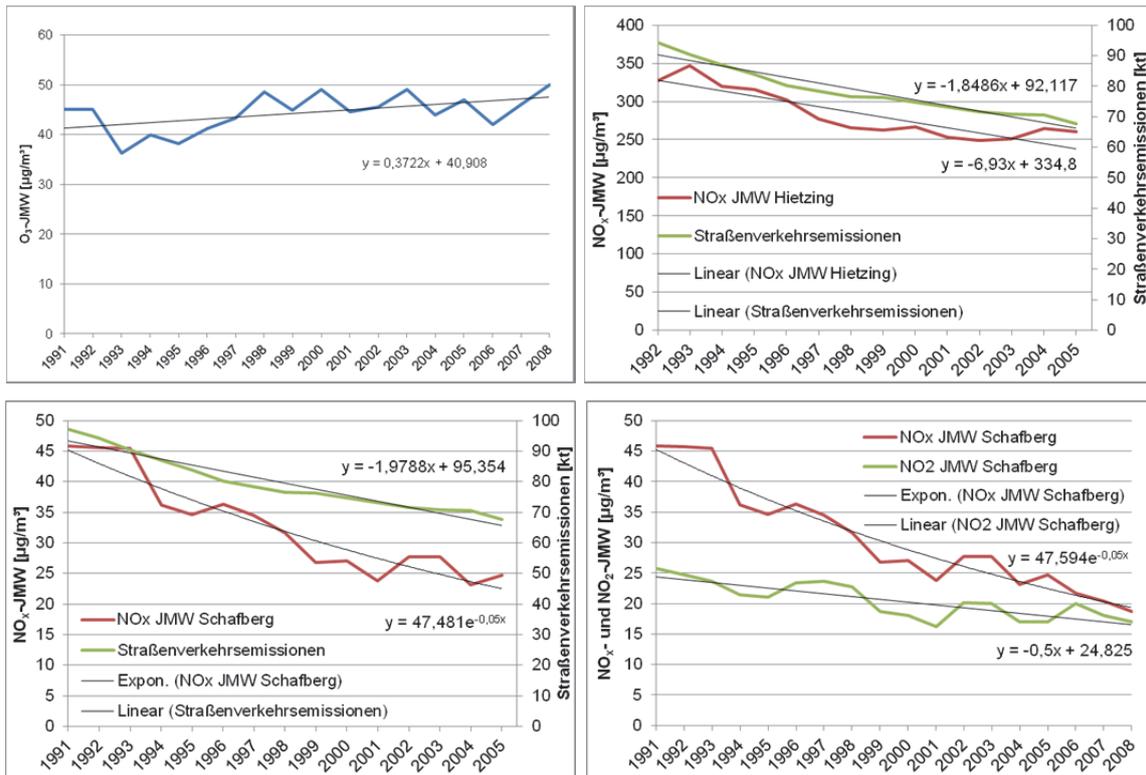


Abbildung 54: Trendanalysen der Jahresmittelwerte [102], [eigene Berechnung]

Wie **Abbildung 55** anschaulich zu entnehmen ist, stellen die im Obigen abgeleiteten Berechnungsgleichungen sehr gute Näherungen an die realen Messdaten dar.

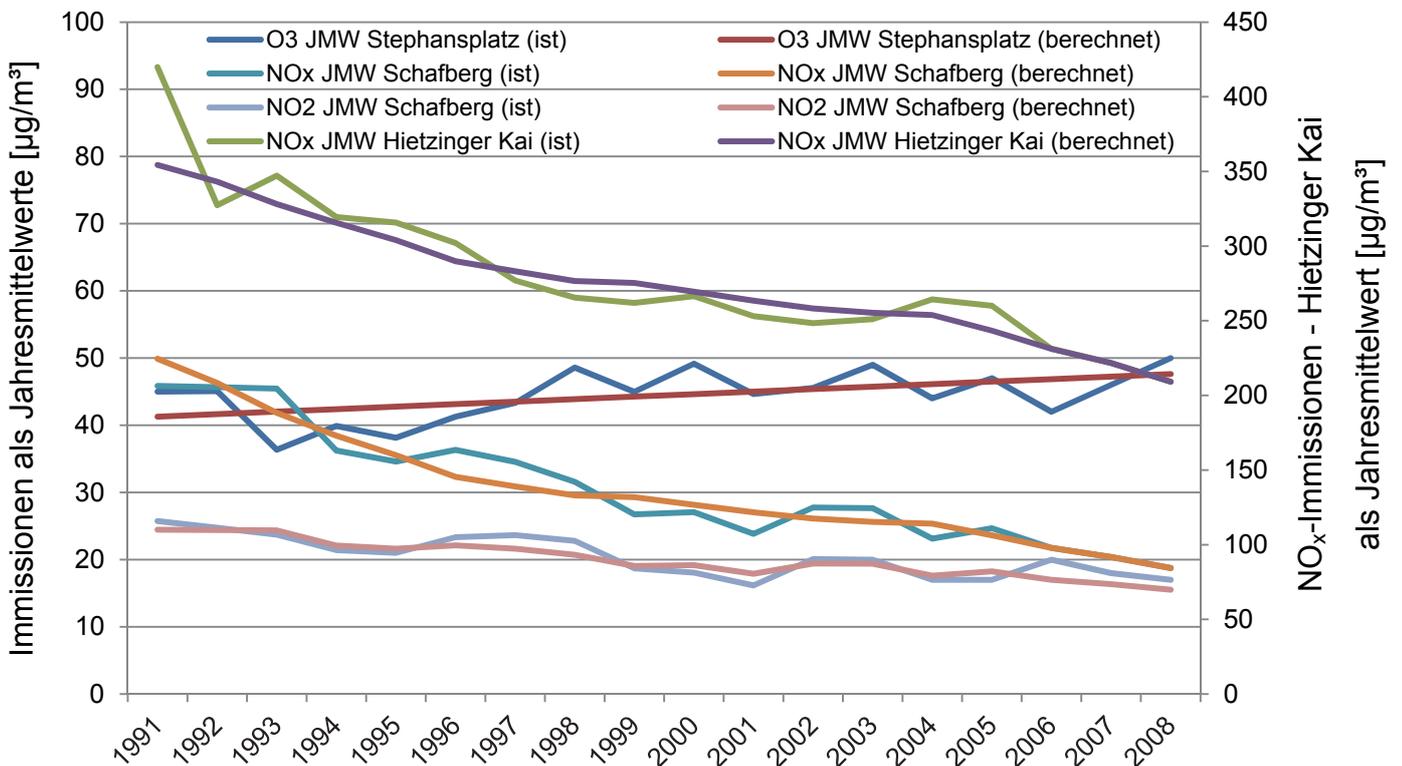


Abbildung 55: Vergleich der Immissionsberechnung mit den Realdaten [102], [eigene Berechnung]

Die für die Berechnung erforderlichen  $\text{NO}_x$ - bzw.  $\text{NO}_2$ -Straßenverkehrsemissionen bzw. deren Verhältnis ist Kapitel 4.2.1.1 und 4.3.1.1 zu entnehmen.

Die Anwendung der vier vorgestellten Berechnungsmethoden mit den im Obigen dargelegten Eingangsdaten führt für die Luftqualitätsmessstelle Wien – Hietzinger Kai zu den in **Abbildung 56** dargestellten Verläufen. Festzustellen ist, dass das Düring-Modell und das in dieser Arbeit entwickelte Modell zu quasi deckungsgleichen Ergebnissen führen.

Der Vergleich zwischen Romberg- und Bächlin-Formel zeigt auf, dass mit zunehmend sinkendem  $\text{NO}_x$ -Emissions- bzw. Immissionsniveau die Prognosen zu näherungsweise deckungsgleichen Ergebnissen führen. Ab etwa 2020 liefern alle vier Berechnungsmethoden gut vergleichbare Ergebnisse.

Um einer mögliche Überschätzung im Sinne zu hoher  $\text{NO}_2$ -Immissionen zwischen 2008 und 2020 durch das Modell dieser Arbeit und das Modell von Düringer zu vermeiden, werden für die weiteren Analysen die Bandbreiten der Ergebnisse der vier betrachteten Berechnungsmethoden (Minimum/Maximum) herangezogen.

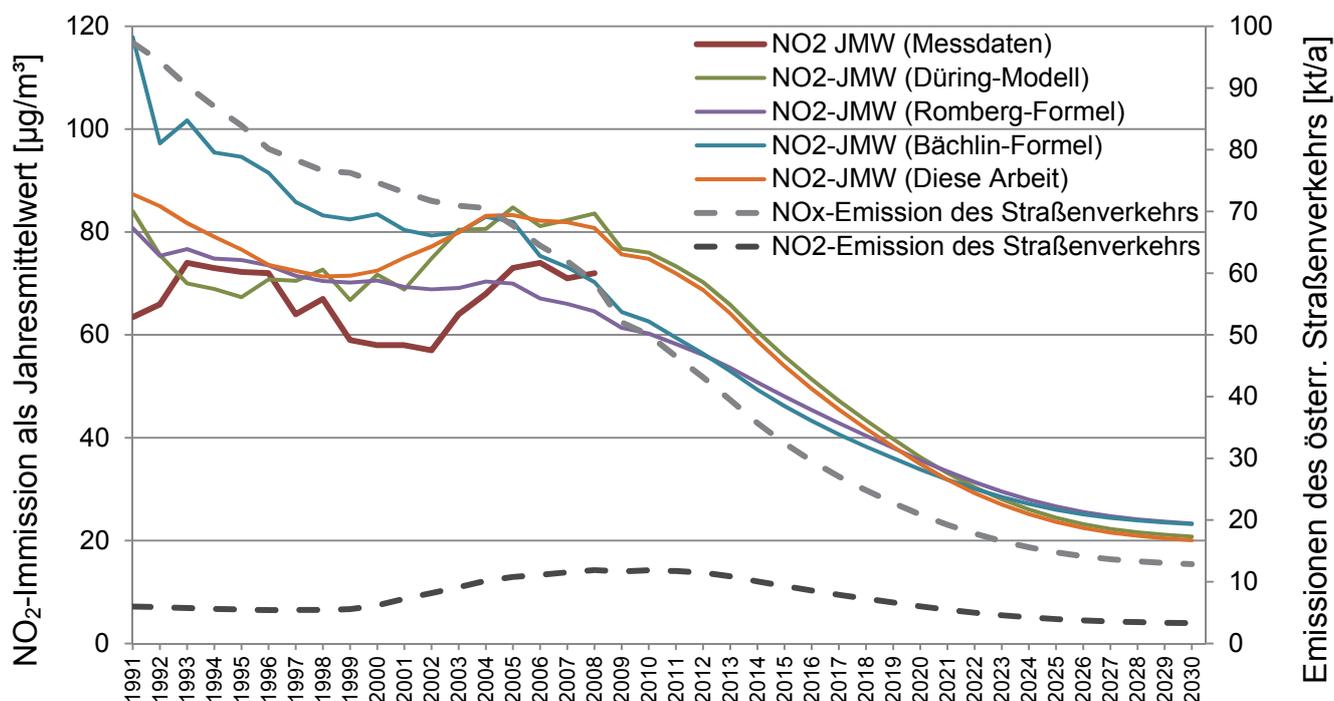


Abbildung 56:  $\text{NO}_2$ -Immissionsprognosen der Luftqualitätsmessstelle Wien – Hietzinger Kai und  $\text{NO}_x$ - bzw.  $\text{NO}_2$ -Emissions des Straßenverkehrs (PKW-NFZ) in Österreich

Die in **Abbildung 57** wiedergegebene NO<sub>2</sub>-Immissionsentwicklung an der Luftqualitätsmessstelle Wien – Hietzinger Kai stellt den, basierend auf den in Kapitel 4.2 und Kapitel 4.3 erarbeiteten Emissionsentwicklungen, erwarteten Fall dar.

Es ist festzustellen, dass der europäische bzw. österreichische Immissionsgrenzwert (als Jahresmittelwert) in den Jahren 2010/2015 bzw. 2012 nicht eingehalten wird. Von einer Einhaltung des europäischen Immissionsgrenzwertes ist an verkehrsnahen Messstellen (hier Wien - Hietzinger Kai) ab 2017 bis 2019 auszugehen. Die Einhaltung des österreichischen Immissionsgrenzwertes ist ab 2022 bis 2023 - somit 10 bis 11 Jahre nach Einführung - zu erwarten.

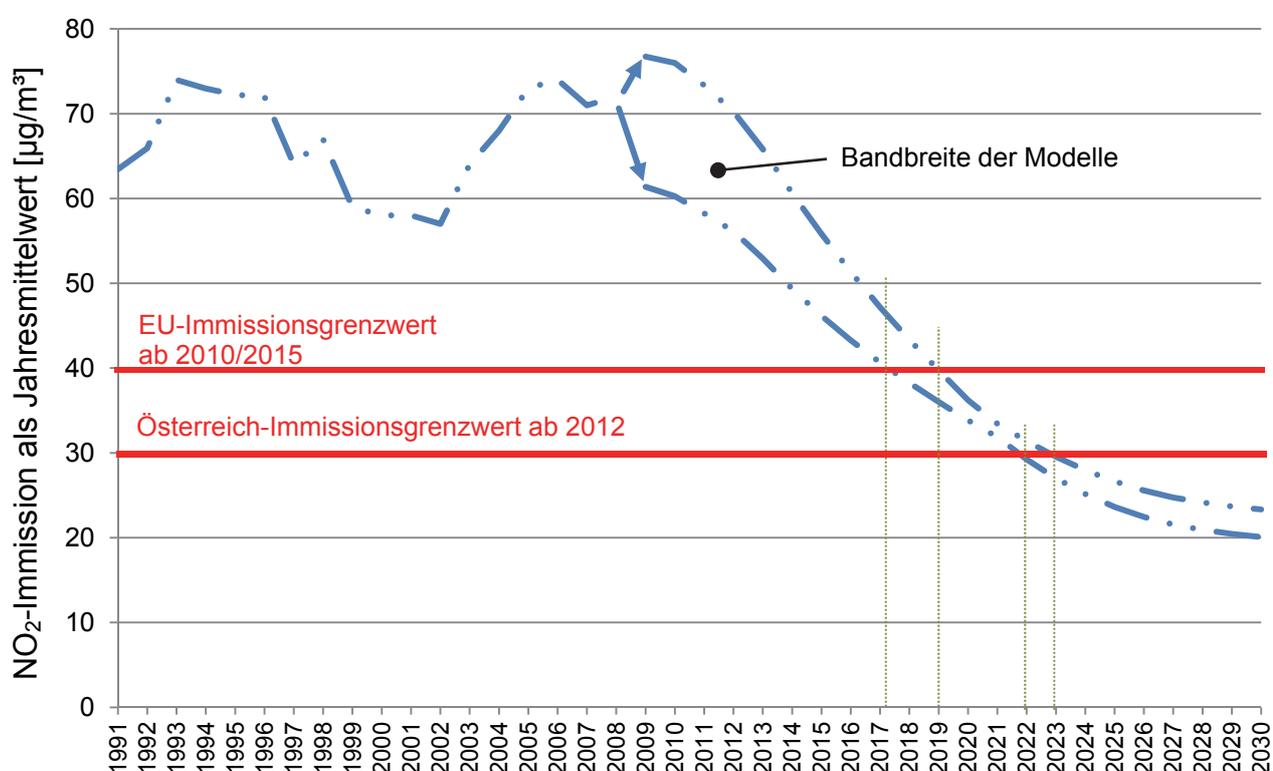


Abbildung 57: NO<sub>2</sub>-Immissionsprognose der Luftqualitätsmessstelle Wien – Hietzinger Kai vs. Grenzwerte

Die Betrachtung der Immissionsentwicklung an einer durchschnittlichen Luftqualitätsmessstelle erfolgt in **Abbildung 58**. Es ist festzustellen, dass der europäische Immissionsgrenzwert bereits 2014, also innerhalb der Fristverlängerung, eingehalten wird.

Die Einhaltung des österreichischen Immissionsgrenzwertes ist an einer durchschnittlichen Luftqualitätsmessstelle ab dem Jahr 2017 - 5 Jahre nach Einführung des Grenzwertes - zu erwarten.

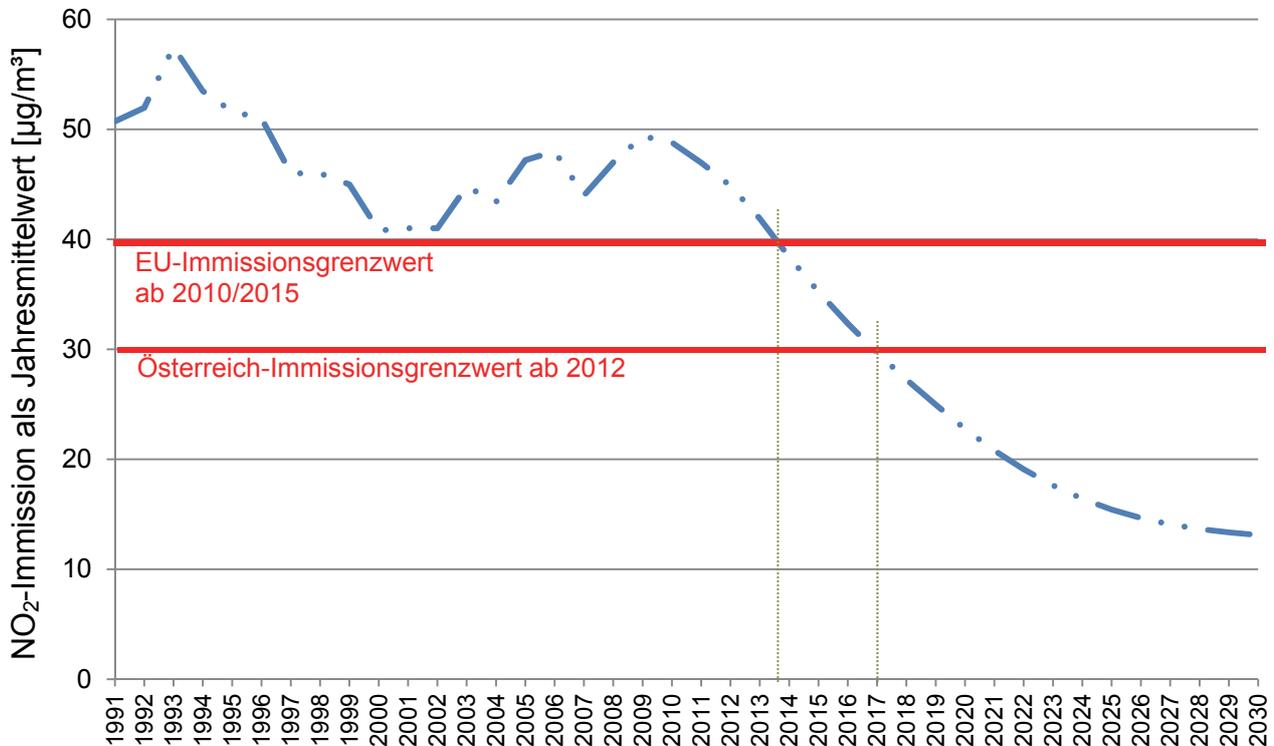


Abbildung 58: NO<sub>2</sub>-Immissionsprognose einer durchschnittlichen Luftqualitätsmessstelle vs. Grenzwerte (Prognosemodell dieser Arbeit)

### 6.1.5 Handlungsbedarf und Lösungsansätze

Eine ausnahmslose Einhaltung des europäischen bzw. österreichischen NO<sub>2</sub>-Immissionsgrenzwertes (Jahresmittelwert) ist durch die alleinige Reduktion der NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Straßenverkehrsemissionen nicht möglich. Der hohe Anteil der Hintergrundbelastung sowie die zusätzlichen primären (NO<sub>2</sub>) und sekundären (NO→NO<sub>2</sub>) Emissionen erfordern trotz der umfassenden, zu erwartenden Reduktionen im Straßenverkehr auch die NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion anderer Emittenten.

Ein über die Einführung der NO<sub>x</sub>-Abgasnachbehandlungstechnologien (zufolge Euro 6) hinausgehender Beitrag des Straßenverkehrs kann in effizienter Weise durch die beschleunigte Verjüngung des dieselbetriebenen PKW- und leichten

Nutzfahrzeugbestandes erfolgen. Insbesondere sind dieseltreibene Kraftfahrzeuge der Abgasstufen Euro 3 und Euro 4 durch Euro 6-Kraftfahrzeuge zu ersetzen. Aufgrund des geringeren Bestandes, der verringerten Jahresfahrleistungen und der „günstigeren“  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -Verhältnisse sind ältere Fahrzeuge (vor Euro 3) weniger  $\text{NO}_2$ -emissionsrelevant.

Zudem wirkt sich ein Wechsel von mit Diesel betriebenen Kraftfahrzeugen zu mit Ottokraftstoffen, Erdgas oder elektrisch betriebenen Kraftfahrzeugen auf die durch den Straßenverkehr initiierte  $\text{NO}_2$ -Immissionen unmittelbar positiv aus.

Einer Nachrüstung von  $\text{NO}_x$ -Reduktionssystemen für Fahrzeuge vor Euro 6 ist kritisch gegenüber zu stehen. Abgasnachbehandlungssysteme zur  $\text{NO}_x$ -Minderung sind auf den jeweiligen Motor abgestimmt und das System Motor/Abgasnachbehandlung unterliegt komplexen Wechselwirkungen. Im Zuge einer Nachrüstung<sup>43</sup> können diese Wechselwirkungen nicht in einfacher Weise geregelt werden. Höhere  $\text{CO}_2$ -Emissionen bei einer gleichzeitig marginalen Änderung der  $\text{NO}_x$ - bzw.  $\text{NO}_2$ -Emissionen können die Folge sein.

## 6.2 Kohlenstoffdioxid $\text{CO}_2$

Die Erhöhung des Bestandes und der Fahrleistungen sowie die mit den Gewichtszunahmen aufgrund von Sicherheits- und Komfortausstattungen einhergehenden Verbrauchszunahmen konnten nicht in ausreichendem Maße kompensiert werden (siehe Kapitel 5.6), sodass die den Zielen der Europäischen Union entgegenwirkende Entwicklung der  $\text{CO}_2$ -Emissionen des Verkehrssektors die Prüfung der mittel- bis langfristigen Einhaltung der definierten  $\text{CO}_2$ -Reduktionsziele erfordert.

Der Fokus der Betrachtung wird dabei auf den österreichischen Straßenverkehr gelegt und durch den PKW- und NFZ-Sektor abgebildet.

Die Bewertung der Einhaltung der  $\text{CO}_2$ -Reduktionsziele erfolgt auf Basis der erwarteten  $\text{CO}_2$ -Emissionen im Straßenverkehr. Im Folgenden wird das

---

<sup>43</sup> z.B.  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator

angewendete Modell (für den Betrachtungszeitraum 2031 bis 2050) erörtert und das Ergebnis diskutiert.

### 6.2.1 Modell und Berechnung

Die zwischen 2031 und 2050 berechneten Emissionsentwicklungen beruhen auf mathematischen Trendmodellen, welche aus den Entwicklungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Jahre 2020 bis 2030 (siehe Kapitel 4.6.1, Seite 70) abgeleitet wurden.

Diese Modelle sind im Sinne einer möglichen Unterschätzung als optimistisch einzustufen, da sie zwischen 2031 und 2050 vergleichbare CO<sub>2</sub>-Reduktionen unterstellen, wie sie zwischen 2020 und 2030 erzielt werden. Die Bestimmungsgleichungen werden in **Gleichung 16** ausgewiesen.

$$CO_{2,EM,PKW} = 10862 * e^{-0,035*x}$$

$$CO_{2,EM,NFZ} = 4384,5 * e^{-0,009*x}$$

Gleichung 16: CO<sub>2</sub>-Bestimmungsgleichungen

Um diesen Trend (2031 bis 2050) folgen zu können, muss die durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Emission von neu zugelassenen PKW bis 2050 auf 50 g/km für Otto-PKW und 30 g/km für Diesel-PKW sinken. Vergleiche hierzu die in der Prognose bis 2030 angesetzten durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen in Tabelle 14, Seite 36.

Die Umsetzung des Trendmodells in der Nutzfahrzeugkategorie erfordert ebenfalls eine CO<sub>2</sub>-Reduktion bei den neu zugelassenen leichten Nutzfahrzeugen von über 50% zwischen 2031 und 2050. Vergleiche hierzu Tabelle 15, Seite 37.

Das CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential beigemischter Biokraftstoffe wurde im Folgenden nicht berücksichtigt. Die real generierbaren CO<sub>2</sub>-Vorteile aktueller Biokraftstoffe werden sehr kontrovers diskutiert, sodass das mit Biokraftstoffen darstellbare CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential im weiteren Verlauf der Arbeit separat behandelt wird.

Die in Kapitel 2.3 zusammengefassten österreichischen und europäischen CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele werden in **Abbildung 59** der CO<sub>2</sub>-Emissionsentwicklung des

österreichischen Straßenverkehrs gegenübergestellt. Die darin bis 2030 ausgewiesenen CO<sub>2</sub>-Emissionen sind Kapitel 4.6.1 zu entnehmen.

Es ist an dieser Stelle nochmals darauf hinzuweisen, dass die angeführten europäischen CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele bzw. das österreichische CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel nicht explizit für den Sektor Straßenverkehr gelten, sondern von allen österreichischen Emittenten gemeinsam – als nationale Ziele – zu erfüllen sind (siehe hierzu Kapitel 2.3).

Bedingt durch die in Kapitel 2.1.2 erörterte CO<sub>2</sub>-Reglementierung von PKW und leichten Nutzfahrzeugen wird das Österreichziel (-16% CO<sub>2</sub> bis 2020 auf Basis des Jahres 2005) im Sektor Straßenverkehr um 2% unterschritten und somit erreicht. Das Ziel der Europäischen Union, die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2020 um 30% (auf Basis des Jahres 1990), zu senken wird durch den österreichischen Straßenverkehr verfehlt. Der Zielwert wird um 52% überschritten. Das europäische CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel bis 2050 (-60% bis -80% auf Basis des Jahres 1990) wird um 35% bis 171% überschritten.

An dieser Stelle ist zudem anzumerken, dass in diesem Modell der NFZ-Sektor, mangels CO<sub>2</sub>-Reglementierung der schweren Nutzfahrzeuge, ab dem Jahr 2042 mehr CO<sub>2</sub> emittieren wird als der PKW-Sektor.

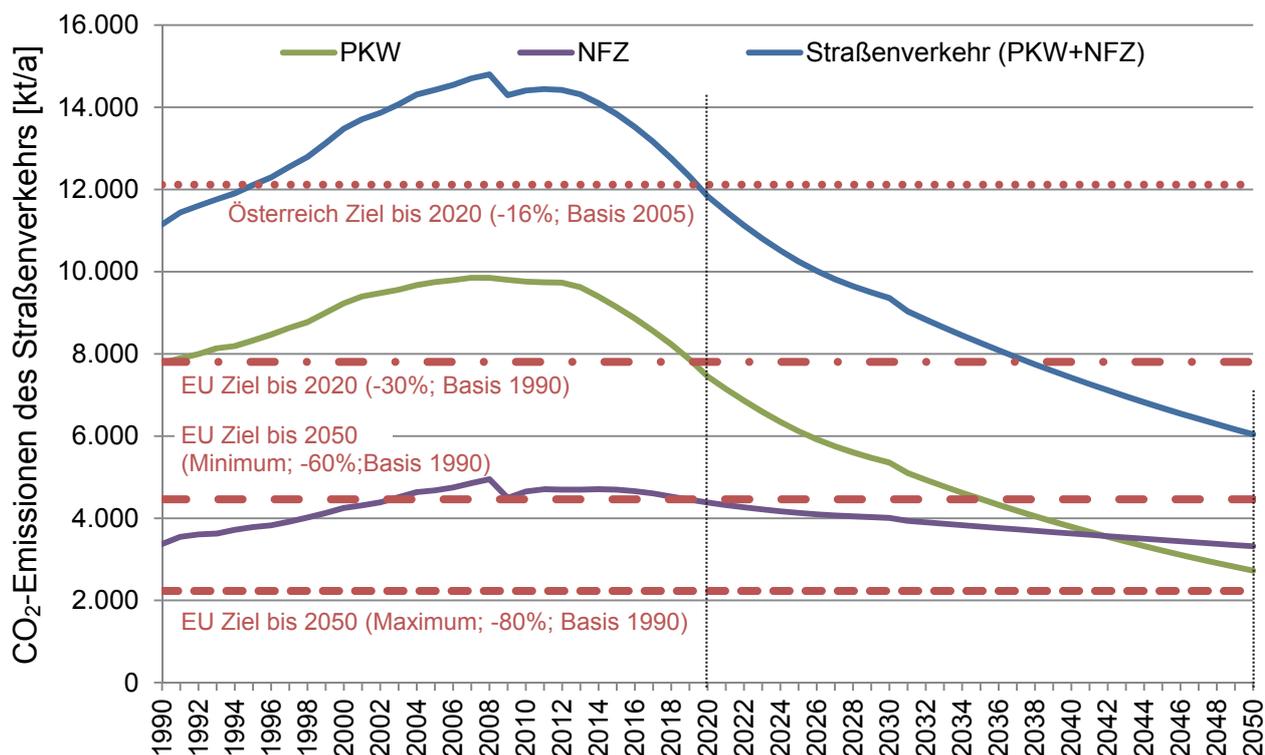


Abbildung 59: Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs in Österreich und der CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele der Europäischen Union und Österreichs bis 2050

## 6.2.2 Handlungsbedarf

Die Notwendigkeit weiterer CO<sub>2</sub>-Reduktionen im Straßenverkehr zur deutlichen Unterstützung der europäischen CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele ist im Obigen in direkter Weise dargelegt. Langfristig sind insbesondere bei schweren Nutzfahrzeugen Maßnahmen zur Senkung des Kraftstoffverbrauchs zu setzen.

Zahlreiche Verbesserungen in den Bereichen Motorentechnik, Leichtbau, alternative Antriebssysteme oder weiterer innovativer Technologien führen insbesondere bei Neufahrzeugen zu mehr Energieeffizienz und zu sinkenden CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Die für die Umsetzung der Prognose bis 2050 erforderlichen durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen von Neufahrzeugen mit 50 g CO<sub>2</sub>/km für Otto-PKW und 30 g CO<sub>2</sub>/km für Diesel-PKW stellen sehr niedrige Emissionen je Kilometer dar und sind selbst mit reinen Elektrofahrzeugen, bei Berücksichtigung der Stromerzeugung, trotz hohem regenerativen Energieanteil in Österreich aktuell nicht darstellbar (siehe Kapitel 6.2.3.1).

Das Erreichen der Prognosewerte stellt demnach eine große Herausforderung dar. Eine darüber hinausgehende CO<sub>2</sub>-Reduktion im Sektor Straßenverkehr ist lediglich durch eine Verbrauchsregulierung im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge zu erwarten.

Im Folgenden werden exemplarisch zwei Ansätze der CO<sub>2</sub>-Reduktion analysiert, welche der Erreichung der Prognosewerte dienen.

### **6.2.3 Lösungsansätze**

Die im Folgenden vorgestellten Lösungsansätze wurden aus unterschiedlichen Gesichtspunkten in die Betrachtung aufgenommen.

Die CO<sub>2</sub>-Reduktion durch Elektromobilität ist ein medial und politisch stark diskutierter Lösungsansatz und wird aus diesem Grund untenstehend untersucht.

Die Untersuchung der CO<sub>2</sub>-Reduktion durch alternative Kraftstoffe wurde als zweiter Lösungsansatz gewählt, da der Vorteil dieser Reduktionsmethode darin besteht, dass die gesamte mit Verbrennungsmotoren betriebene Fahrzeugflotte, unabhängig von Art und Alter des Fahrzeuges, gleichermaßen und ab Einführung sofort davon profitiert.

#### **6.2.3.1 CO<sub>2</sub>-Reduktion durch Elektromobilität**

Ein aussagekräftiger Vergleich unterschiedlicher Antriebsarten mit dem Fokus CO<sub>2</sub>-Reduktion erfordert die Erstellung einer Lebensweganalyse (auch Ökobilanz oder Life Cycle Assessment genannt).

Eine Ökobilanz beinhaltet die Analyse der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Zuge der Herstellung (inkl. der Rohstoffgewinnung), Instandsetzung, Nutzung und Entsorgung der Kraftfahrzeuge. Weiters sind die Phasen der Gewinnung bzw. Erzeugung des Energieträgers (Kraftstoff, Wasserstoff, Elektrizität,...), der Herstellung und Entsorgung der Produktionsanlagen, der Verteilung und der Betankungsinfrastruktur zu bewerten.

Wie **Abbildung 60** zu entnehmen ist, führt der höhere, nicht regenerative Energieaufwand im Zuge der Herstellung von batterieelektrischen Fahrzeugen im Vergleich zur Herstellung von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor zu etwa doppelt so hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen. [116]

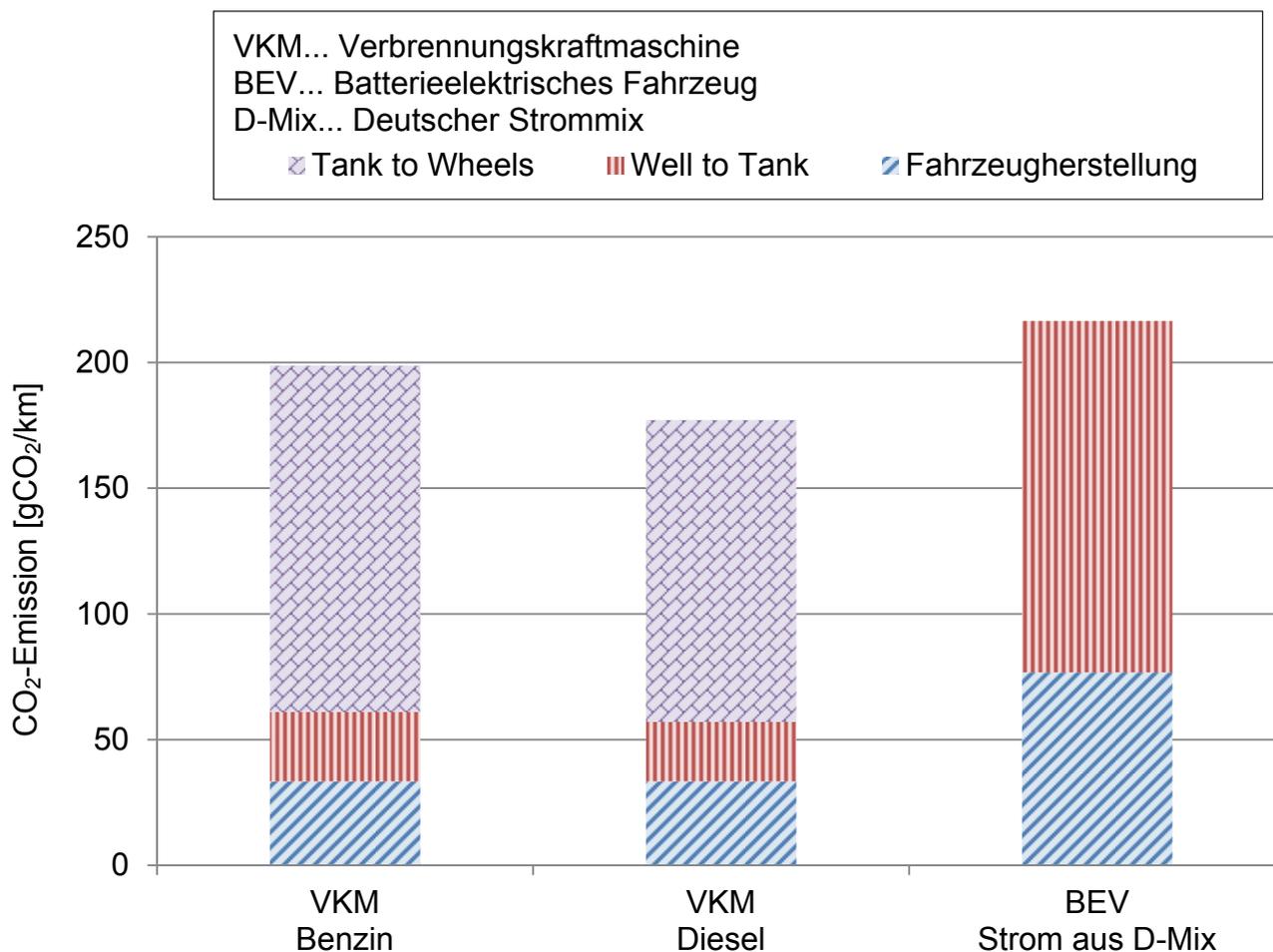
Die durch die Erzeugung von Elektrizität (Well to Tank) entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen sind, bedingt durch den deutschen Strommix<sup>44</sup>, 6 bis 7 mal höher als im Fall der Erzeugung von Benzin bzw. Diesel. [116]

In der Nutzungsphase (Tank to Wheel) fallen lediglich bei den fossilen Kraftstoffen CO<sub>2</sub>-Emissionen an. Elektrizität ist bei deren Nutzung CO<sub>2</sub>-frei.

Bei Betrachtung des gesamten Lebensweges ist festzustellen, dass - bedingt durch den deutschen Strommix - die CO<sub>2</sub>-Bilanz für das batterieelektrische Fahrzeug schlechter ausfällt als für einen vergleichbaren Benzin oder Diesel-PKW.

---

<sup>44</sup> Unter Strommix wird die Zusammensetzung der Energiequellen (Wasserkraft, Windkraft, Kohle, Kernkraft,...) eines Landes verstanden. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen je kWh Strom in Deutschland sanken von 774 gCO<sub>2</sub>/kWh (im Jahr 1990) auf noch immer 572 gCO<sub>2</sub>/kWh (im Jahr 2008). [139]

Abbildung 60: Lebensweganalyse der CO<sub>2</sub>-Emissionen eines Mittelklasse-PKW [116]

In **Abbildung 61** werden die CO<sub>2</sub>-Lebenswegemissionen von mit Biokraftstoffen betriebenen konventionellen Diesel-PKW mit jenen von batterieelektrischen PKW verglichen. Die Herstellung der PKW wird dabei (zugunsten des Elektrofahrzeuges) nicht berücksichtigt. Abhängig von der Zusammensetzung der Stromquellen (Anteil an regenerativen Quellen) stellen sich, je betrachtetem Land, deutlich unterschiedliche CO<sub>2</sub>-Lebenswegemissionen ein.

In Österreich sind, mit einem batterieelektrischen PKW aufgrund des mit 67% sehr hohen regenerativen Stromanteiles die niedrigsten CO<sub>2</sub>-Emissionen realisierbar. Nur BTL<sup>45</sup> unterbietet dies noch.

<sup>45</sup> BTL ist ein Kraftstoff der 2. Generation und zählt zur Gruppe der synthetischen Kraftstoffe.

An dieser Stelle gilt es anzumerken, dass bereits heute dieselbetriebene PKW mit einem CO<sub>2</sub>-Ausstoß von unter 100 g/km<sup>46</sup> (in der Tank to Wheels Phase) verfügbar sind. [117], [118]

Der hier dargestellten Berechnung liegt ein Diesel-PKW mit einer Tank-to-Wheels-Emission von 120 g CO<sub>2</sub>/km zu Grunde. Die Erfüllung der CO<sub>2</sub>-Flottenvorgabe (siehe Kapitel 2.1.2) lässt mittel- bis langfristig die in Tabelle 14 (Seite 36) angeführten Tank to Wheels-Emissionen erwarten, sodass im Jahr 2020 bzw. 2030 von einem CO<sub>2</sub>-Ausstoß von 85 bzw. 75 g CO<sub>2</sub>/km auszugehen ist. Dies bedeutet, dass die CO<sub>2</sub>-Lebenswegemissionen eines mit Diesel betriebenen PKW im Jahr 2020 bzw. 2030 bei 108 bzw. 98 gCO<sub>2</sub>/km liegen werden. Hierbei noch nicht berücksichtigt sind etwaige Biokraftstoffanteile, welche die CO<sub>2</sub>-Emissionen weiter senken.

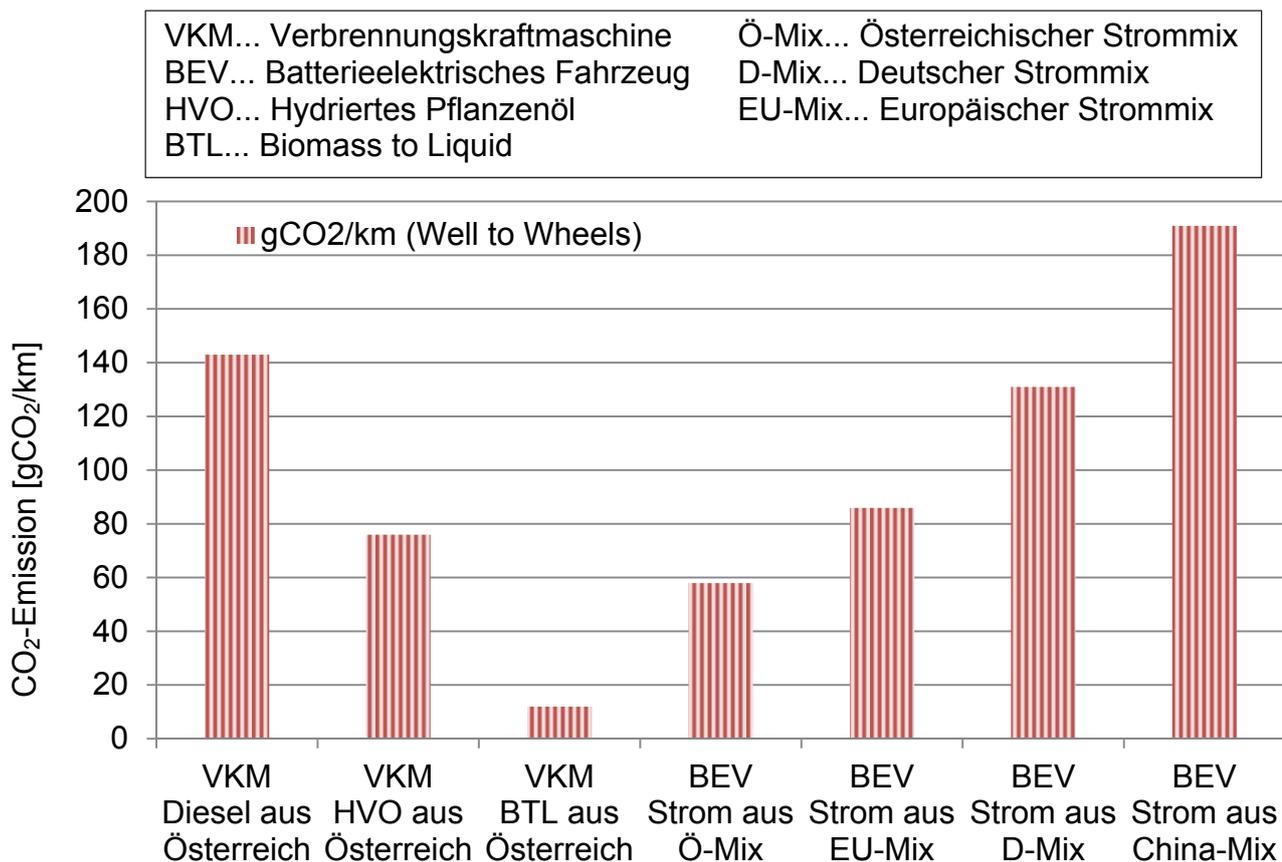


Abbildung 61: Lebensweganalyse der CO<sub>2</sub>-Emissionen eines Mittelklasse-PKW im europäischen Vergleich (Betrachtung ohne Fahrzeugherstellung) [119], [120], [eigene Berechnungen]

<sup>46</sup> CO<sub>2</sub>-Emission während des Neuen Europäischen Fahrzyklus (Tank to Wheels-Emissionen)

**Schlussfolgerung:**

Das Potential von Elektrofahrzeugen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen ist unmittelbar vom Strom-Mix (regenerativer Anteil) abhängig. In welchem Ausmaß deren Anteil in naher Zukunft gesteigert wird, bleibt abzuwarten. Die gesetzlich vorgeschriebenen, zukünftig sinkenden CO<sub>2</sub>-Flottenemissionen von PKW und leichten Nutzfahrzeugen reduzieren das darstellbare CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential von Elektrofahrzeugen zunehmend, sofern der Anteil an regenerativer Energie nicht steigt.

Für die Umsetzung der CO<sub>2</sub>-Emissionsprognose bis 2050 (siehe Abbildung 59) sind Elektrofahrzeuge mit einer 100% regenerativen Stromerzeugung erforderlich.

Eine Erreichung bzw. Unterschreitung der Prognose und somit eine Annäherung an das CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel der Europäischen Union für 2050 ist bei gleichbleibender Stromerzeugung durch Elektromobilität real jedoch nicht darstellbar (siehe Abbildung 59).

**6.2.3.2 CO<sub>2</sub>-Reduktion durch alternative Kraftstoffe**

Essentieller Vorteil dieser Maßnahme ist, dass der gesamte Straßenverkehr zur CO<sub>2</sub>-Reduktion beitragen kann, da das Potential nicht nur auf neu zum Verkehr zugelassene Fahrzeuge oder auf eine bestimmte Fahrzeugart beschränkt ist.

Die Bewertung des darstellbaren Reduktionspotentials erfolgt zweckmäßig mittels Ökobilanz. Die Erkenntnisse daraus werden anschließend exemplarisch in ein Emissionsszenario für den dieselbetriebenen Straßenverkehr (PKW und NFZ) in Österreich übergeführt.

Die im Besonderen geförderten Biokraftstoffe generieren deren CO<sub>2</sub>-Vorteil neben einer möglichst autarken und auf erneuerbaren Energieträgern aufbauenden Konzeption der Kraftstoffherstellung vorwiegend durch den CO<sub>2</sub>-Abbau während des Pflanzenwachstums. Biomasse im Allgemeinen kann nur so viel CO<sub>2</sub> bei der Verbrennung abgeben, wie sie im Zuge des Wachstums der Atmosphäre entnommen hat. Es wird in diesem Zusammenhang auch von einem geschlossenen CO<sub>2</sub>-Kreislauf gesprochen, welcher sich, bis auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Rahmen der

Herstellung zu Null bilanziert. Durch die Verwendung eines Reststoffes entstehen zudem keine CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Rohstoffanbau. [121]

Eine isolierte Betrachtung der CO<sub>2</sub>-Emissionen ist zur Bewertung alternativer Kraftstoffe nicht zweckmäßig. Darstellbare CO<sub>2</sub>-Reduktionspotentiale werden durch CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen teilweise kompensiert, sodass die singuläre Darstellung von CO<sub>2</sub>-Reduktionen zu einem verfälschten Erfolg im Sinne des Klimaschutzes führen würde.

Bei der Wahl der Methode der Wirkungsabschätzung wurde auf das Modell des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) zurückgegriffen. Dabei werden die Emissionen CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O der Wirkungskategorie „Klimaänderung“ zugewiesen. Das Treibhausgaspotential dieser chemischen Komponenten ist unterschiedlich und kann als CO<sub>2</sub>-Äquivalent (CO<sub>2</sub>e) ausgedrückt werden. [122]

In **Tabelle 18** werden die entsprechenden Treibhausgaspotentiale von Methan und Lachgas in Relation zu Kohlendioxid angeführt. Die Werte entstammen [28] und beziehen sich auf einen Zeithorizont von 100 Jahren.

Treibhausgas	Summenformel	CO <sub>2</sub> -Äquivalent
<b>Kohlendioxid</b>	CO <sub>2</sub>	1
<b>Methan</b>	CH <sub>4</sub>	25
<b>Distickstoffoxid (Lachgas)</b>	N <sub>2</sub> O	298

Tabelle 18: Treibhausgaspotenziale als CO<sub>2</sub>-Äquivalent [28]

Die durchgeführten Ökobilanzen berücksichtigen die Treibhausgasemissionen der untersuchten Kraftstoffe über deren Lebensweg. Die Fahrzeugherstellung und Landnutzungsänderungen wurden dabei nicht betrachtet. Aufgrund des Umfangs der Rechercheergebnisse, Annahmen und Berechnungen, welche für die Erstellung der Ökobilanzen erforderlich sind, ist im Detail auf [1] zu verweisen.

Betrachtet wurden die Kraftstoffe

- Dieselkraftstoff (fossilen Ursprungs)
- Raps-Methyl-Ester (RME)
- Hydriertes Pflanzenöl (Hydrotreated Vegetable Oil, HVO)
- Biomass to Liquid (BTL)
- Gas to Liquid (GTL)

Exemplarisch wird für den Kraftstoff Biomass to Liquid (BTL) die erstellte Sachbilanz auszugsweise vorgestellt.

Insbesondere der aktuell sehr kontrovers diskutierte Aspekt der Landnutzungsänderungen beeinflusst das Ergebnis der Ökobilanz und somit das CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential von Biokraftstoffen. In der hier durchgeführten Ökobilanz wird davon ausgegangen, dass der Rohstoffbedarf mit bereits landwirtschaftlich genutzten Flächen befriedigt werden kann.

Werden Brachflächen oder bewaldete Flächen für den Anbau von Biokraftstoff-Rohstoffen umgewidmet, sind die Auflösung des im Boden befindlichen CO<sub>2</sub>-Speichers (Wurzelwerk), die Waldrodung durch Abbrand, etc. zu beachten. Die Berücksichtigung der Landnutzungsänderung in der Studie von [123] führt dazu, dass der betrachtete Biokraftstoff Ethanol aus Mais höhere Treibhausgasemissionen aufweist als der fossile Vergleichskraftstoff Benzin. Ebenfalls kritisch setzt sich [124] und [125] mit dem Aspekt der Landnutzungsänderungen auseinander.

#### *6.2.3.2.1 Exemplarische Sachbilanz für den Kraftstoff Biomass to Liquid (BTL)*

Bei der Abbildung des Lebensweges von BTL wurde eine möglichst gute Annäherung an den Kraftstoff „Sundiesel“ des Herstellers Choren angestrebt.

Das in **Abbildung 62** dargestellte Lebenswegmodell baut auf Literaturrecherchen und persönlichen Informationen von Choren auf. Die Herstellungswege der Rohstoffe wurden zu zwei grundsätzlich unterschiedlichen Pfaden zusammengefasst. Die Zwischenprodukte nach der Verarbeitung der einzelnen Rohstoffe sind in jedem Fall Hackschnitzel, welche durch Vergasung und Fischer-Tropsch-Synthese zu BTL weiterverarbeitet und der Nutzung zugeführt werden.

Es wird davon ausgegangen, dass der Hackprozess am Ort der Holzgewinnung erfolgt und somit kein Zwischentransport zum Hacker anfällt.

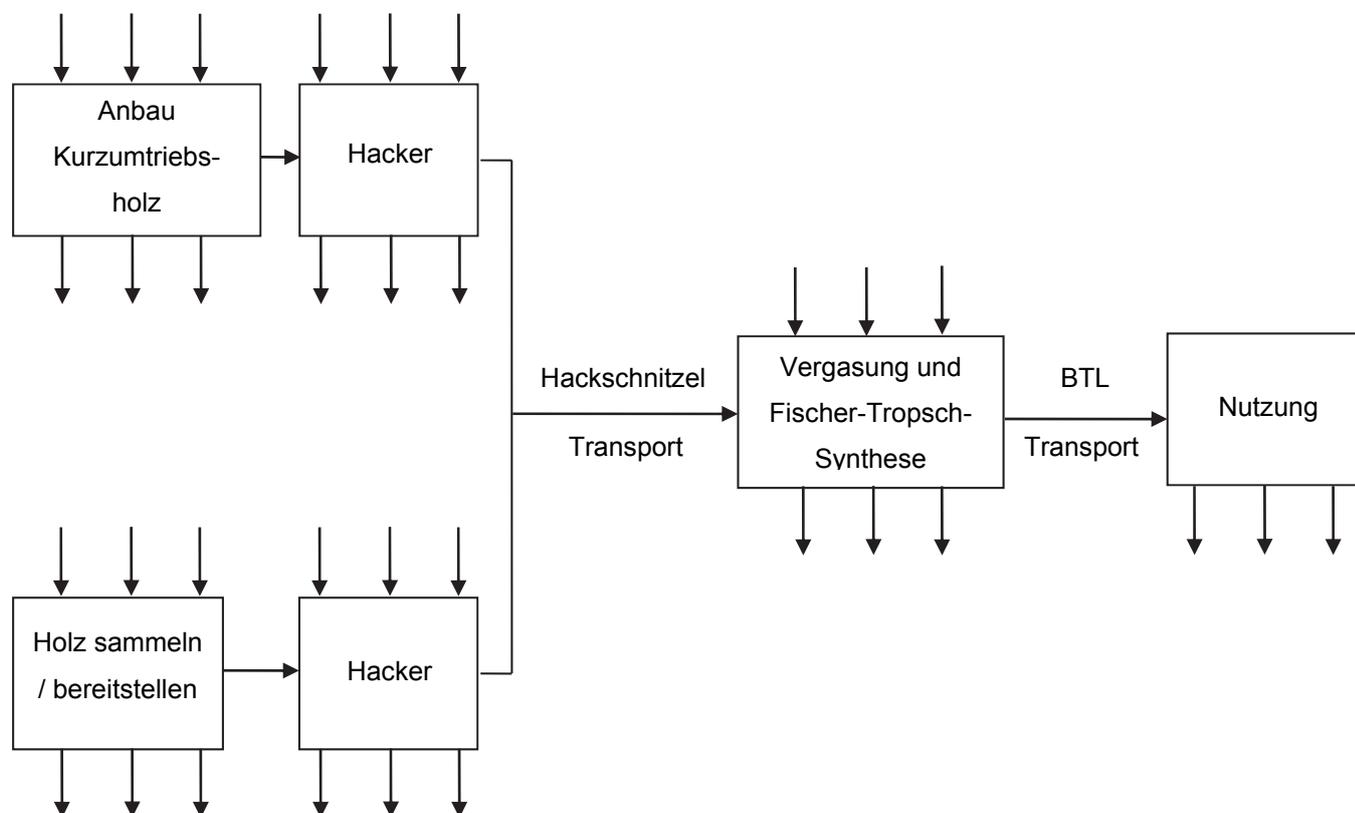


Abbildung 62: Lebenswegmodell - BTL [126], [127], [128]

Zur realitätsgetreuen Abbildung des Rohstoffmix wurde auf die in **Tabelle 19** wiedergegebene geplante Rohstoffzusammensetzung nach Choren zurückgegriffen. [126]

	2009	2013	2020
<b>Kurzumtriebsholz</b>	1%	5%	50%
<b>Waldrestholz</b>	14%	10%	5%
<b>Industrieholz</b>	35%	0%	0%
<b>Altholz</b>	15%	15%	15%
<b>Altholz (Import)</b>	35%	50%	20%
<b>Hackschnitzel (Import)</b>	0%	20%	10%

Tabelle 19: Rohstoffmix - BTL [126]

**Abbildung 63** beschreibt den landwirtschaftlichen Anbau von Kurzumtriebsholz. Neben der Einbringung von Setzlingen ist die Zuführung von Pflanzenschutzmittel und Düngemittel erforderlich. Die Herstellung der Setzlinge wird innerhalb des Prozesses berücksichtigt. Es wird dazu ein Teil der bestellten Anbaufläche für die Produktion der Setzlinge genutzt, wodurch die Ausbeute der Gesamtfläche entsprechend reduziert wird. Die Maschinen zur Bestellung und Pflege der Produktion werden über den Input der Mechanischen Energie (abgebildet als Dieseläquivalent) dargestellt. Outputseitig sind neben dem Kurzumtriebsholz die treibhausgasrelevanten Emissionen  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$  anzuführen.

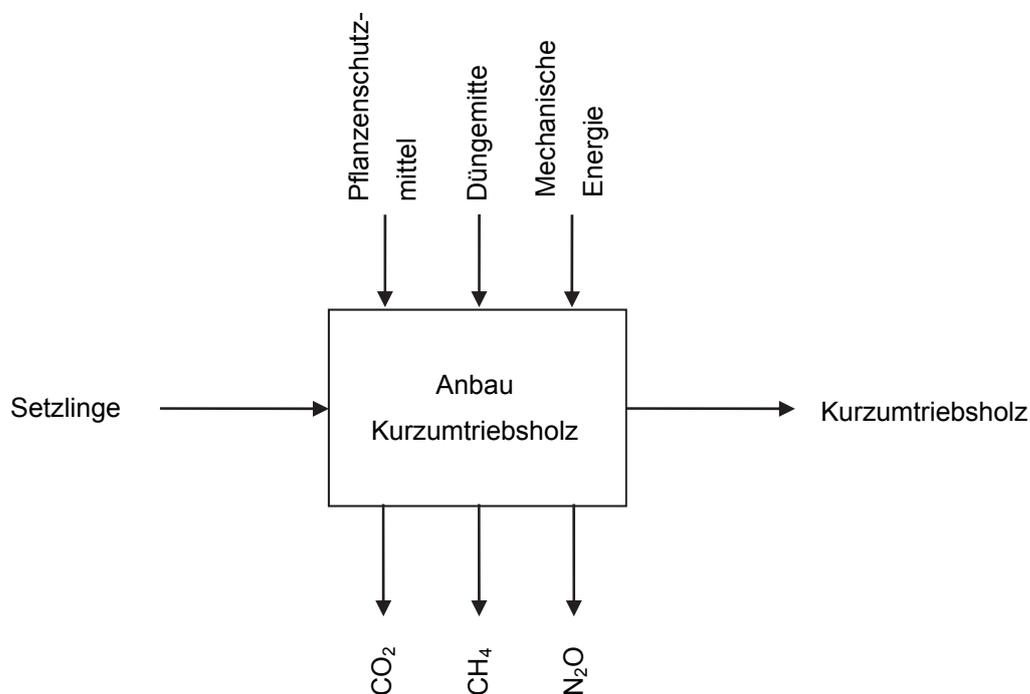


Abbildung 63: Rohstoff-Bereitstellung-Anbau - Prozessschaubild – Kurzumtriebsholz [128], [129], [130]

Die entsprechenden, den Prozess beschreibenden Datensätze sind in **Tabelle 20** zusammengefasst. Die  $\text{CO}_2$ -Emissionen werden über die Kohlenstoffbilanz direkt durch das Ökobilanzmodell berechnet.

Anbau Kurzumtriebsholz	[128]	[129]	[130]	Diese Arbeit	1 MJ Holz-Output
<b>Inputs</b>					
N - Dünger (N)	0,00020095	0,00031167	0,0003866	0,00029974	kg/MJ
P - Dünger (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,00015406	0,00005968	0,00029306	0,00016893	kg/MJ
K - Dünger (K <sub>2</sub> O)	0,00032152	0,00025199	0,00043316	0,00033555	kg/MJ
Kalkdünger	0,00046888	0,00030504	0,00033566	0,00036986	kg/MJ
Pflanzenschutz	0,00000072		0,00000295	0,00000183	kg/MJ
Mech. Energie	0,00022117		0,00043753	0,00032935	MJ/MJ
<b>Outputs</b>					
CH <sub>4</sub>	0,00000003			0,00000003	kg/MJ
N <sub>2</sub> O	0,00000402		0,00000884	0,00000643	kg/MJ

Tabelle 20: Rohstoff-Bereitstellung-Anbau - Datensätze - Kurzumtriebsholz

Die Bereitstellung der Rohstoffe Waldrestholz, Industrieholz und Altholz wird in dieser Arbeit pauschal als Restholz betrachtet. Gemäß **Abbildung 64** ist für das Sammeln bzw. Bereitstellen des Restholzes mechanische Energie aufzuwenden. Der Einsatz von fossilem Diesel zur Generierung der mechanischen Energie verursacht entsprechende, durch die Kohlenstoffbilanz berechnete CO<sub>2</sub>-Emissionen.

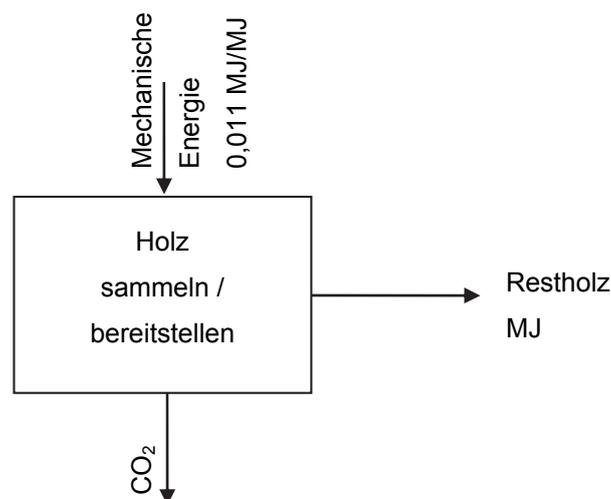


Abbildung 64: Rohstoff-Bereitstellung-Sammeln - Prozessschaubild - Restholz [128]

Zur Erlangung der für den Vergasungsprozess erforderlichen Stückgröße ist das Kurzumtriebsholz bzw. das Restholz mittels Hacker zu Hackschnitzel zu verarbeiten. Neben Holz ist, wie in **Abbildung 65** dargestellt, mechanische Energie (Hacker) für diesen Hackprozess erforderlich. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden über die Kohlenstoffbilanz direkt durch das Ökobilanzmodell berechnet.

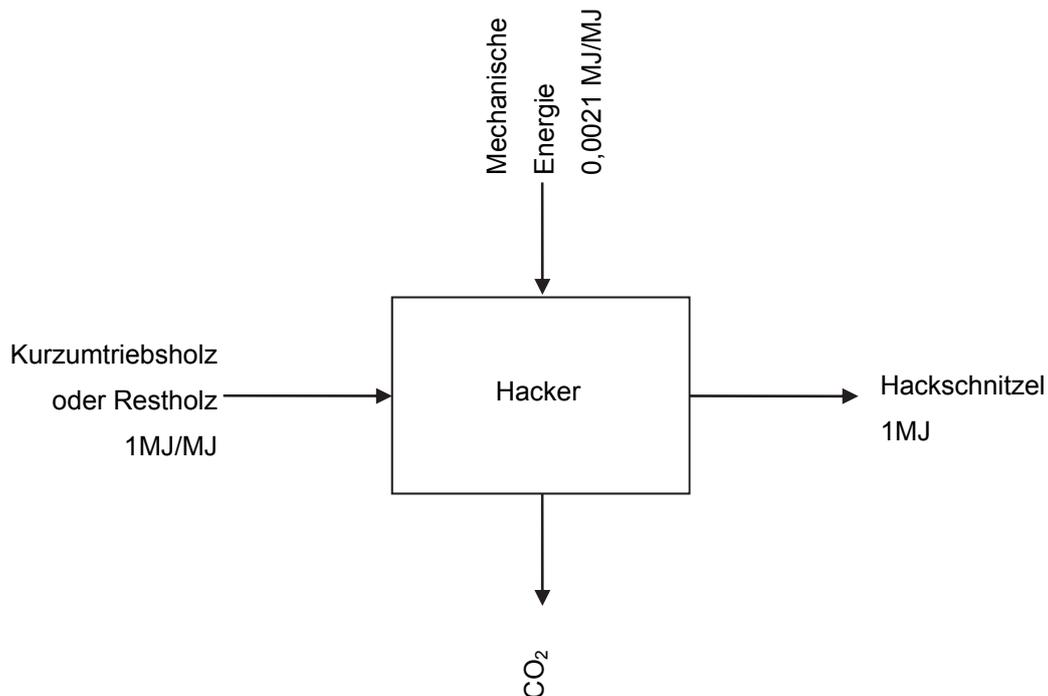


Abbildung 65: Rohstoff-Bereitstellung-Hacken - Prozessschaubild – Hackschnitzel [128]

Bei der Abschätzung der Transportwege ist nach Hackschnitzel, die lokal erzeugt werden, und Hackschnitzel, die importiert werden, zu unterscheiden. Aufgrund derzeit noch nicht vorhandener Kurzumtriebsholz-Plantagen und Anlagen zur BTL-Herstellung werden die lokalen Transportwege mit 100 km lokal und 500 km Import abgeschätzt.

Der in **Abbildung 66** dargestellte Prozess und die entsprechenden in **Tabelle 21** angeführten Zahlenwerte wurden drei Quellen entnommen, welche sich intensiv mit der Beschreibung des Prozesses nach Choren auseinandergesetzt haben. Die in dieser Studie beschriebene Anlage wird energieautark konzipiert, sodass die Biomasse (Hackschnitzel) den einzigen energetischen Input darstellt.

Die angeführten Inputs Aktivkohle (Aktivkohlefilter als Polzeifilter<sup>47</sup>) und Waschadditive (Natronlauge, Methanol, Amin) dienen der Rohgasreinigung, der CO<sub>2</sub>-Reinigung und der Feinreinigung zur Aushaltung von Chlor und Schwefel.

Die gelisteten Katalysatoren (Nickel, Eisen und Kobalt) werden für die Wassergasshift-Reaktion, die Fischer-Tropsch-Synthese und das Hydrocracken benötigt. Das Katalysatormaterial zählt zu den wichtigsten Betriebsgeheimnissen der Kraftstoffproduzenten. Aus diesem Grund wurde Annahmen analog zu [131] getroffen.

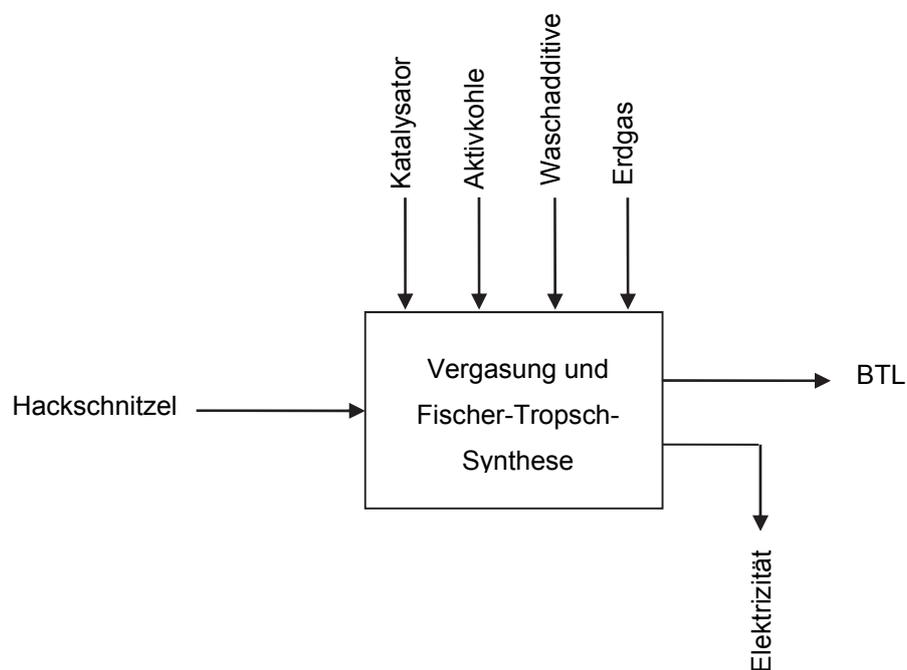


Abbildung 66: Rohstoff-Konversion - Prozessschaubild – BTL [132], [133], [134]

<sup>47</sup> Polzeifilter... Nachgeschalteter Filter, der bei Ausfall des Hauptsystems die Reinigungsfunktion übernimmt. [140]

Konversion	[132]	[133]	[134]	Diese Arbeit	1 MJ BTL-Output
<b>Inputs</b>					
Hackschnitzel	1,85897	1,83668	1,48786	1,7278367	MJ/MJ
Katalysator	0,0000154			0,0000154	kg/MJ
Aktivkohle			0,00000954	0,0000095	kg/MJ
Natronlauge	0,0004359			0,0004359	kg/MJ
Methanol	0,0000009			0,0000009	kg/MJ
Amin	0,0000009			0,0000009	kg/MJ
<b>Outputs</b>					
Elektrizität	0,0221538	0,13488	0,06955	0,0755280	MJ/MJ

Tabelle 21: Rohstoff-Konversion (Vergasung und Fischer-Tropsch-Synthese) - Datensätze – BTL

Bis dato ist keine BTL-Produktionsstätte in Österreich geplant. In dieser Arbeit wird jedoch davon ausgegangen, dass ein Standort im Osten Österreichs aufgebaut wird. Der durchschnittliche Transportweg innerhalb Österreichs wird demnach mit 300 km abgeschätzt.

Die für den Betrieb der Tankstellen erforderlichen Inputs werden mit 0,0001 MJ/MJ Elektrizität berücksichtigt. Betankungsverluste werden nicht berücksichtigt.

Die im Rahmen der Ökobilanz verarbeiteten CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionswerte der Nutzungsphase (siehe **Abbildung 67**) basieren auf einem durchschnittlichen Personenkraftwagen des Betrachtungszeitraumes. Der Verbrauch wird mit 1,62 MJ/km so festgelegt, dass sich bei Verwendung von fossilem Dieselkraftstoff rechnerisch eine CO<sub>2</sub>-Emission von 120 g/km einstellt. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden dabei direkt durch das Ökobilanzmodell berechnet.

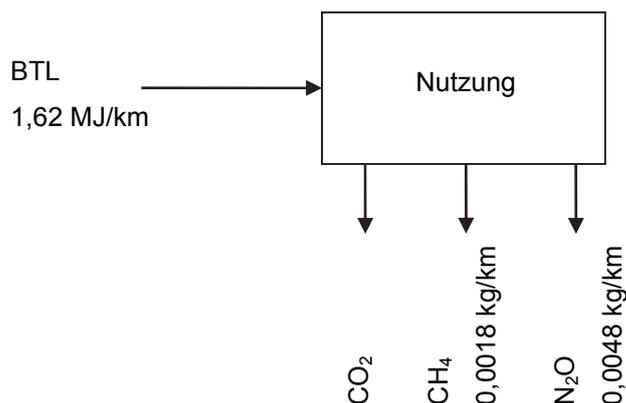


Abbildung 67: Kraftstoff-Nutzung - Prozessschaubild - BTL [84]

Abhängig von der Rohstoffzusammensetzung variieren die Lebenszyklusemissionen. Die im Folgenden wiedergegebenen Daten beruhen auf der erwarteten Rohstoffzusammensetzung im Jahr 2020. In dem im Anschluss durchgeführten Straßenverkehr-Emissionsszenario wird von einer zwischen 2020 und 2030 unveränderten Rohstoffzusammensetzung ausgegangen.

#### 6.2.3.2.2 Diskussion der Ökobilanzergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Ökobilanz diskutiert und die wesentlichen Einflussfaktoren bzw. Erkenntnisse angesprochen. Dies stellt die Grundlage für das im Anschluss erstellte Emissionsszenario dar. Die Fahrzeugherstellung wurde dabei nicht betrachtet.

#### **Dieselmotorkraftstoff (fossilen Ursprungs)**

Die Verwendung von fossilem Diesel stellt die Referenz in diesen Betrachtungen dar. Wie **Tabelle 22** zu entnehmen ist, erzeugt ein durchschnittlicher PKW der Dekade 2010-2020 beim Einsatz von fossilem Diesel Lebenswegemissionen im Ausmaß von 143g/km CO<sub>2</sub>e.

Dabei entstammen 21 g/km bzw. 15% der Well to Tank Phase (also der Rohstoffgewinnung, Konversion und Bereitstellung an der Tankstelle). Der mit 85% bzw. 122 g/km überwiegende Anteil der CO<sub>2</sub>e-Emissionen resultiert aus der Verbrennung des fossilen Kohlenstoffs im Kraftfahrzeug.

Weiters kann gezeigt werden, dass 98% der Treibhausgasemissionen (ausgedrückt in CO<sub>2</sub>e) durch CO<sub>2</sub> und nur 2% durch CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O verursacht werden.

		Diesel			
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub> e
<b>Well to Tank</b>	g/km	19,9	0,047	0,000	<b>21</b>
<b>Tank to Wheels</b>	g/km	120,1	0,002	0,005	<b>122</b>
<b>Well to Wheels</b>	g/km	140,0	0,049	0,005	<b>143</b>

Tabelle 22: Auswertung der Ökobilanz für fossilen Dieselmotorkraftstoff

### Raps-Methyl-Ester (RME)

Bei der Auswertung der Ökobilanz für RME kann, wie in **Tabelle 23** dargestellt, festgestellt werden, dass im Lebenswegabschnitt Well to Tank gegenüber fossilem Dieselmotorkraftstoff 228% höhere CO<sub>2</sub>e-Treibhausgasemissionen entstehen. Diese ergeben sich vorwiegend aus der Anbauphase. Die Bestellung und Düngung der Felder führt zu deutlich höheren CO<sub>2</sub>- und vor allem N<sub>2</sub>O-Emissionen.

Aufgrund unterschiedlicher Heizwerte bzw. des abweichenden C/H-Verhältnisses der Kraftstoffe RME und fossiler Diesel ergeben sich Emissionsvor- bzw. -nachteile. Bei RME führt die abweichende chemische Zusammensetzung zu einer Erhöhung der motorischen CO<sub>2</sub>-Emissionen um 2%.

Für die Betrachtung des gesamten Lebensweges wird zudem die Annahme getroffen, dass biogen gewonnener Kohlenstoff keine CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht, da das im Zuge der Verbrennung emittierte CO<sub>2</sub> zuvor bei Pflanzenwachstum der Atmosphäre entnommen wurde. Es ist demnach zulässig, den im Kraftfahrzeug verbrannten biogenen Kraftstoff als CO<sub>2</sub>-neutral (d.h. keine CO<sub>2</sub>-Emissionen) zu werten, was in untenstehender Tabelle durch eine CO<sub>2</sub>-Gutschrift berücksichtigt wird.

Die Lebenswegemissionen (Well to Wheels) liegen aufgrund dieser CO<sub>2</sub>-Gutschrift um 50% niedriger als bei fossilem Diesel.

		RME				
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub> e	±% Diesel
<b>Well to Tank</b>	g/km	35,9	0,083	0,105	<b>69</b>	<b>228%</b>
<b>Tank to Wheels</b>	g/km	122,0	0,002	0,005	<b>123</b>	<b>2%</b>
<i>Well to Wheels</i>	<i>g/km</i>	<i>157,9</i>	<i>0,085</i>	<i>0,110</i>	<i>193</i>	<i>35%</i>
<b>CO<sub>2</sub>-Gutschrift</b>	g/km	-122,0			<b>-122</b>	
<b>Well to Wheels</b>	g/km	35,9	0,085	0,110	<b>71</b>	<b>-50%</b>

Tabelle 23: Auswertung der Ökobilanz für RME

### Hydriertes Pflanzenöl (Hydrotreated Vegetable Oil, HVO)

Die in **Tabelle 24** abgebildeten Ergebnisse für den Kraftstoff HVO berücksichtigen eine für das Jahr 2020 prognostizierte Rohstoffzusammensetzung von 45% Palmöl, 30% Rapsöl aus Europa, 5% Rapsöl aus Übersee und 20% Tierfette.

Die im Vergleich zu fossilem Diesel um 251% höheren CO<sub>2</sub>e-Emissionen der Well to Tank Phase resultieren vorrangig aus der Herstellung von Palmöl und Rapsöl. Der Anbau von Ölpalmen und Raps verursacht CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Bestellung und N<sub>2</sub>O-Emissionen durch die Düngung. Die Extraktion von Palmöl führt zudem zu erhöhten CH<sub>4</sub>-Emissionen.

Zufolge der günstigeren chemischen Eigenschaften von HVO können in der Tank to Wheels Phase 5% der CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber fossilem Diesel eingespart werden.

Über den gesamten Lebensweg ergibt sich bei Verwendung von HVO, nach Berücksichtigung der CO<sub>2</sub>-Gutschrift, ein Reduktionspotential von 47% an CO<sub>2</sub>e-Emissionen.

Im Falle einer Verwertung der im Zuge der Palmölextraktion anfallenden CH<sub>4</sub>-Emissionen zur Energiegewinnung könnten wesentlich bessere Emissionswerte erzielt werden.

		HVO				
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub> e	±% Diesel
<b>Well to Tank</b>	g/km	36,9	0,747	0,063	<b>74</b>	<b>251%</b>
<b>Tank to Wheels</b>	g/km	114,5	0,002	0,005	<b>116</b>	<b>-5%</b>
<i>Well to Wheels</i>	<i>g/km</i>	<i>151,4</i>	<i>0,749</i>	<i>0,068</i>	<i>190</i>	<i>33%</i>
<b>CO<sub>2</sub>-Gutschrift</b>	g/km	114,5			<b>114</b>	
<b>Well to Wheels</b>	g/km	36,9	0,749	0,068	<b>76</b>	<b>-47%</b>

Tabelle 24: Auswertung der Ökobilanz für HVO

### Biomass to Liquid (BTL)

Der nachstehenden **Tabelle 25** sind die Ergebnisse der Ökobilanz des Kraftstoffes BTL zu entnehmen. Dabei wird eine Rohstoffzusammensetzung des Jahres 2020 mit 50% Kurzumtriebsholz (Anbauholz) und 50% Restholz (Waldrestholz, Altholz und Hackschnitzel) berücksichtigt.

Emissionsvorteile sowohl in der Rohstoffgewinnung als auch in der Rohstoffkonversion (Raffinerie) führen gegenüber fossilem Diesel zu 49% niedrigeren Well to Tank CO<sub>2</sub>e-Emissionen. Bei der Rohstoffgewinnung sorgt vor allem die Verwertung von Restholz für das positive Ergebnis. Im Fall von Restholz erfolgt kein emissionsintensiver Anbau. Die Holzreste werden lediglich gesammelt und direkt der Verwertung zugeführt. Zudem werden die neu zu errichtenden Konversionsanlagen energieeffizient und emissionsarm konzipiert.

Zufolge der günstigeren chemischen Eigenschaften von BTL können in der Tank to Wheels Phase 4% der CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber fossilem Diesel eingespart werden.

Insgesamt ergibt sich eine Reduktion der CO<sub>2</sub>e-Lebenswegemissionen von 91%.

		BTL				
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub> e	±% Diesel
<b>Well to Tank</b>	g/km	6,8	0,014	0,012	<b>11</b>	<b>-49%</b>
<b>Tank to Wheels</b>	g/km	114,7	0,002	0,005	<b>116</b>	<b>-4%</b>
<i>Well to Wheels</i>	<i>g/km</i>	<i>121,5</i>	<i>0,016</i>	<i>0,017</i>	<i>127</i>	<i>-11%</i>
<b>CO<sub>2</sub>-Gutschrift</b>	g/km	114,7			<b>115</b>	
<b>Well to Wheels</b>	g/km	6,8	0,016	0,017	<b>12</b>	<b>-91%</b>

Tabelle 25: Auswertung der Ökobilanz für BTL

### Gas to Liquid (GTL)

GTL als Vertreter der alternativen, aber fossilen Kraftstoffe weist, wie in **Tabelle 26** abgebildet, im Lebensabschnitt Well to Tank 120% höhere CO<sub>2</sub>e-Emissionen auf. Die höheren CO<sub>2</sub>e-Emissionen resultieren dabei aus höheren CH<sub>4</sub>-Emissionen der Erdgasbereitstellung und höheren CO<sub>2</sub>-Emissionen der Konversionsphase.

Das Reduktionspotential von 4% in der Tank to Wheels Phase zufolge der besseren chemischen Eigenschaften kompensiert diesen Nachteil nicht, sodass sich insgesamt eine Verschlechterung der Treibhausgasemissionen von 14% ergibt.

Eine CO<sub>2</sub>-Gutschrift kann aufgrund des fossilen Ursprungs des Kraftstoffes nicht berücksichtigt werden.

		GTL				
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub> e	±% Diesel
<b>Well to Tank</b>	g/km	34,4	0,472	0,002	<b>47</b>	<b>121%</b>
<b>Tank to Wheels</b>	g/km	114,7	0,002	0,005	<b>116</b>	<b>-4%</b>
<i>Well to Wheels</i>	<i>g/km</i>	<i>149,2</i>	<i>0,474</i>	<i>0,007</i>	<i>163</i>	<i>14%</i>
<b>CO<sub>2</sub>-Gutschrift</b>	g/km	0			<b>0</b>	
<b>Well to Wheels</b>	g/km	149,2	0,474	0,007	<b>163</b>	<b>14%</b>

Tabelle 26: Auswertung der Ökobilanz für GTL

### 6.2.3.2.3 Emissionsszenario des dieselbetriebenen Straßenverkehrs in Österreich

Basierend auf den in Kapitel 4.6.1 ermittelten CO<sub>2</sub>-Emissionen und den in Kapitel 6.2.3.2 bestimmten Treibhausgasreduktionspotentialen alternativer Kraftstoffe erfolgt die Berechnung eines CO<sub>2</sub>- bzw. CO<sub>2</sub>e-Emissionsszenarios des dieselbetriebenen Straßenverkehrs (PKW und NFZ) in Österreich.

Der dem Szenario zugrundeliegende Dieselkraftstoffmix wurde auf Basis der gesetzlichen Rahmenbedingungen und der Verfügbarkeit bzw. technischen Anwendbarkeit (Verträglichkeit) alternativer Kraftstoffe (auf die bestehende Kraftfahrzeugflotte) und unter Berücksichtigung des Energiebedarfs erarbeitet.

Die Bewertung der lieferbaren Mengen von HVO, BTL und GTL basiert auf erarbeiteten Verfügbarkeitseinschätzungen. Insbesondere die Integrierbarkeit der HVO-Herstellung in den Raffinationsprozess von fossilem Diesel lässt mittelfristig signifikante Produktionsmengen dieses Kraftstoffes erwarten. [135]

Die getroffene energetische Anteilsverteilung auf die jeweiligen Kraftstoffe wurde in **Tabelle 27** zusammengefasst.

Energetischer Anteil in % am Dieselkraftstoffbedarf des Straßenverkehrs in Österreich	2005 [136]	2007 [137]	2008 [138]	2010	2015	2020	2030
<b>Diesel</b>	98,71%	94,81%	94,11%	93%	88%	83%	72%
<b>GTL</b>	-	-	-	-	3%	5%	8%
<b>RME</b>	1,29%	5,19%	5,89%	7%	7%	7%	7%
<b>HVO</b>	-	-	-	-	2%	4%	8%
<b>BTL</b>	-	-	-	-	-	1%	5%

Tabelle 27: Entwicklung des Dieselkraftstoffmixes des Verkehrssektors in Österreich nach Kraftstoffen

Die in Kapitel 4.6.1 wiedergegebenen Berechnungen stellen das Basisszenario ohne alternative Kraftstoffe als Referenz zur Beurteilung der erzielbaren Emissionsvorteile dar.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen des dieselbetriebenen Straßenverkehrs (PKW und NFZ) in Österreich errechnen sich, wie in **Abbildung 68** dargestellt. Das Basisszenario, hier dargestellt als schwarz gepunktete Linie, gibt die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei ausschließlicher Verwendung von fossilem Dieselkraftstoff wieder.

Die farbigen Flächen beschreiben die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Biokraftstoff-Szenarios. Wie der Abbildung entnommen werden kann, werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen von der Nutzungsphase (Tank to Wheels, TTW) dominiert. Im betrachteten Zeitraum sind durchschnittlich 84% der jährlich anfallenden CO<sub>2</sub>-Emissionen dieser Phase zuzuordnen. Die verbleibenden 16% werden durch die Herstellungsphase (Well to Tank, WTT) produziert.

Das gegenüber dem Basisszenario darstellbare CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential kann im Zeitraum 2005 bis 2030 mit 10,4% angegeben werden. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Anbau- und Herstellungsphase (WTT) von Biokraftstoffen, insbesondere von RME und HVO, verglichen mit fossilem Dieselkraftstoff, zu höheren CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen führt. In **Abbildung 69** wurde diesem Umstand Rechnung getragen und die erhöhten Emissionen als CO<sub>2</sub>-Äquivalente berücksichtigt, sodass ein erzielbares CO<sub>2</sub>e-Reduktionspotential im Zeitraum 2005 bis 2030 von 7,9% zu nennen ist.

Im Jahr 2020 bzw. 2030 können die CO<sub>2</sub>e-Emissionen des dieselbetriebenen Straßenverkehrs (PKW und NFZ) in Österreich durch die in diesem Szenario definierten Beimischungsquoten um 9,8% bzw. 17,5% reduziert werden.

### **Schlussfolgerung**

Trotz optimistischer Biokraftstoffanteile ist die CO<sub>2</sub>-Reduktion nicht ausreichend um das für das Jahr 2020 definierte europäische CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel zu erreichen. Es ist jedoch festzuhalten, dass die Beimischung von Biokraftstoffen einen wesentlichen Beitrag zur Zielerreichung leistet.

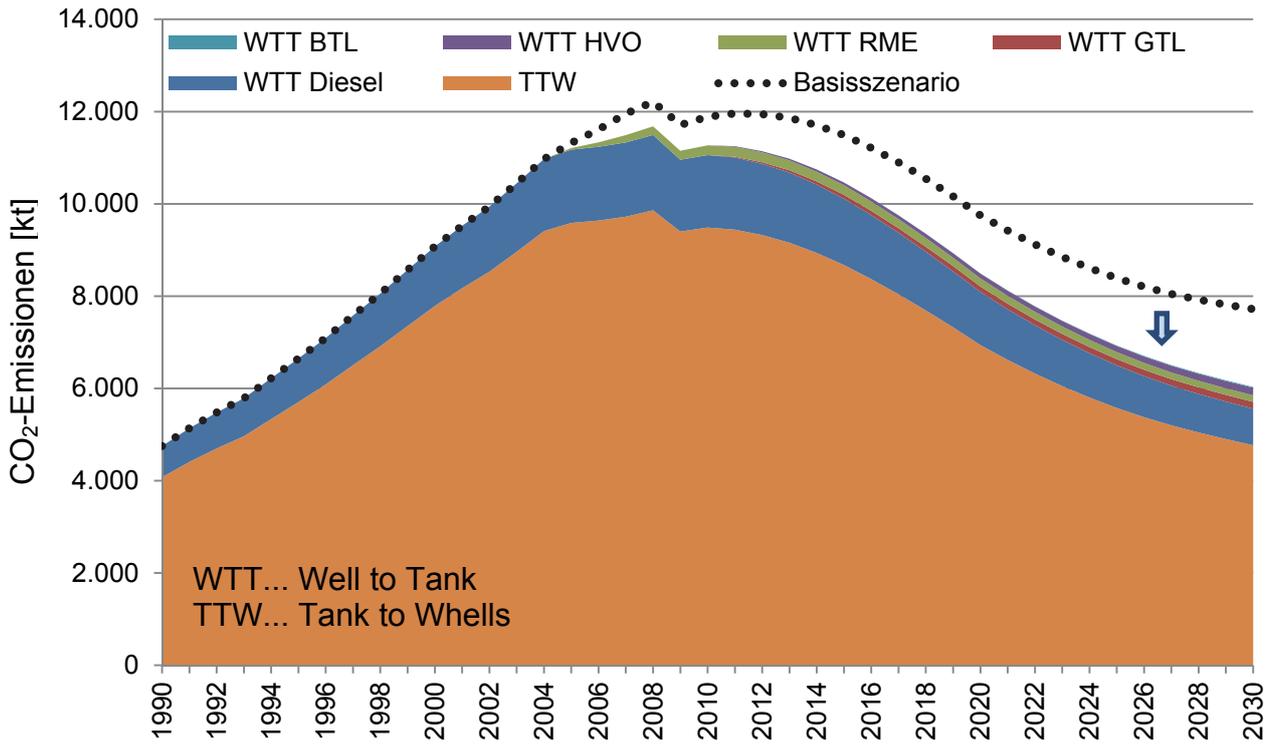


Abbildung 68: CO<sub>2</sub>-Emissionen des dieselbetriebenen Straßenverkehrs (PKW und NFZ) in Österreich

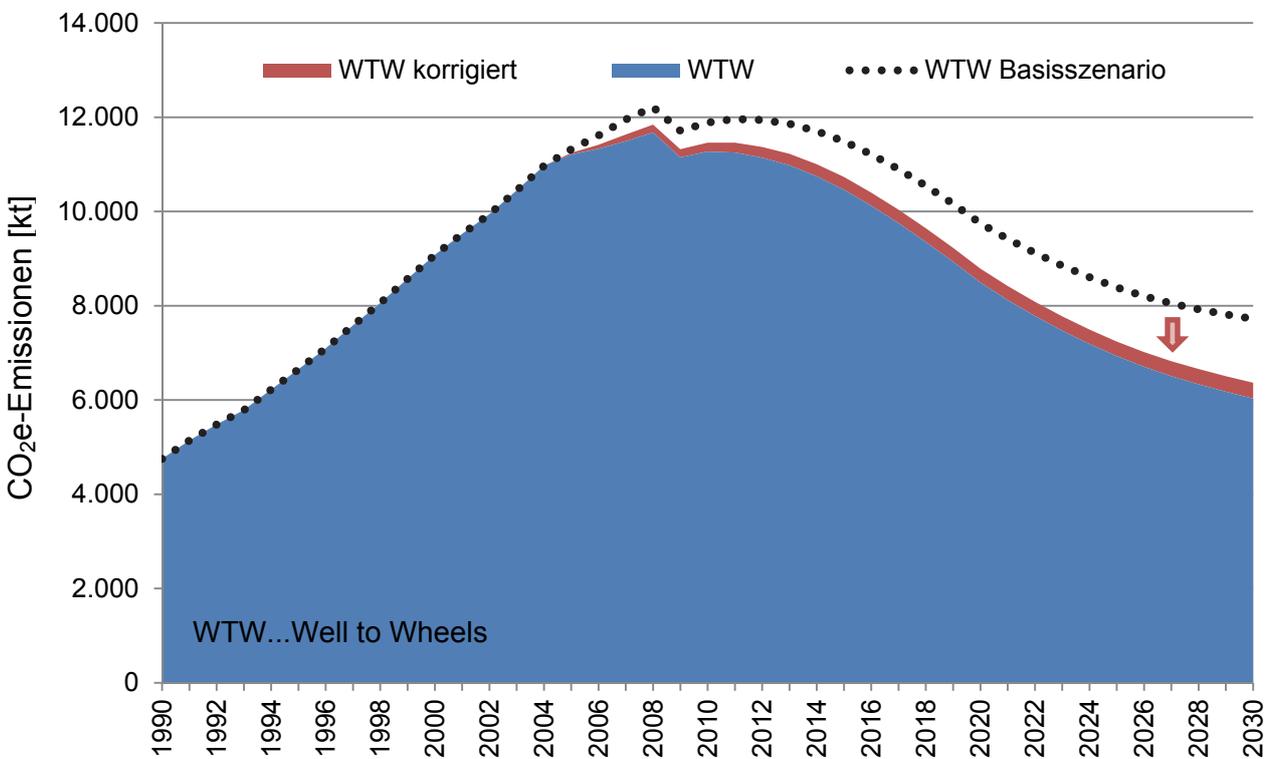


Abbildung 69: Korrigierte CO<sub>2</sub>e-Emissionen des dieselbetriebenen Straßenverkehrs (PKW und NFZ) in Österreich

## 7 Zusammenfassung

Als direkte und indirekte umwelt- und klimarelevante rechtliche Rahmenbedingungen des motorisierten Straßenverkehrs wurden in dieser Arbeit die Emissions- und Immissionsgesetzgebung sowie energiepolitische Maßnahmen bzw. Regulierungen identifiziert und analysiert.

Die Schadstoffe

- Kohlenmonoxid CO,
- Stickstoffoxide NO<sub>x</sub>,
- Partikel PM,
- Schwefeldioxid SO<sub>2</sub>,

und das Treibhausgas

- Kohlendioxid CO<sub>2</sub>

wurden dabei durch mehrere Maßnahmen bzw. Regulierungen adressiert.

Aufgrund der erwarteten Relevanz wurde zudem die chemische Komponente

- Stickstoffdioxid NO<sub>2</sub>

untersucht.

Die zur Beurteilung des weiteren Handlungsbedarfs erstellten Emissionsberechnungen bzw. -prognosen und der Vergleich mit der Immissionsentwicklung zeigte auf, dass bei den chemischen Komponenten

- Kohlenmonoxid CO,
- Stickstoffoxide NO<sub>x</sub>,
- Partikel PM,
- Schwefeldioxid SO<sub>2</sub>,

kein weiterer über die derzeitigen bereits geltenden Regulatorien hinausgehender Handlungsbedarf besteht.

Die Emissions- bzw. Immissionsentwicklungen der chemischen Komponenten

- Stickstoffdioxid NO<sub>2</sub>
- Kohlendioxid CO<sub>2</sub>

sind hingegen als **kritisch** einzustufen.

**NO<sub>2</sub>:**

Aus dem Vergleich der NO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs mit den NO<sub>2</sub>-Immissionen (als Jahresmittelwerte) verkehrsnaher Luftqualitätsmessstellen und Messstellen im städtischen Hintergrund ist ein direkter Verkehrseinfluss abzuleiten, denn die Erhöhung der Straßenverkehrsemissionen zwischen 1991 und 2008 um 29% (aus Emissionsprognose) führte zu einem Anstieg des Verhältnisses der Immissionskonzentrationen „städtischer Hintergrund“ zu „verkehrsnah“ von 1,5 im Jahr 1991 auf 2,4 im Jahr 2008.

Wird berücksichtigt, dass in Österreich (zwischen 1991 und 2008) im Jahr 1996 die niedrigsten NO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs generiert wurden und es trotzdem zu einer theoretischen (damals noch nicht gültigen) EU- bzw. Österreich-Grenzwertüberschreitung von 35% bzw. 80% kam, ist die Klassifizierung als kritisch erforderlich.

Eine mit vier Modellen erstellte, auf den berechneten Emissionsdaten basierende Immissionsprognose bestätigt, dass der europäische bzw. österreichische Immissionsgrenzwert (als Jahresmittelwert) in den Jahren 2010/2015 bzw. 2012 nicht eingehalten wird.

**Von einer Einhaltung des ab 2010/2015 geltenden europäischen Immissionsgrenzwertes ist an verkehrsnahen Messstellen (hier Wien - Hietzinger Kai) erst ab den Jahren 2017 bis 2019 auszugehen. Die Einhaltung des strengeren österreichischen Immissionsgrenzwertes ist erst ab 2022 bis 2023 - somit 10 bis 11 Jahre nach Einführung - zu erwarten.**

**Eine ausnahmslose Einhaltung des europäischen bzw. österreichischen NO<sub>2</sub>-Immissionsgrenzwertes (Jahresmittelwert) ist durch die alleinige Reduktion der NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Straßenverkehrsemissionen nicht möglich. Der hohe Anteil der Hintergrundbelastung sowie die zusätzlichen primären (NO<sub>2</sub>) und sekundären (NO→NO<sub>2</sub>) Emissionen erfordern trotz der hohen zu erwartenden Reduktionen im Straßenverkehr auch die NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion anderer Emittenten (wie Industrie und Haushalte).**

Ein über die Einführung der NO<sub>x</sub>-Abgasnachbehandlungstechnologien (zufolge Euro 6) hinausgehender Beitrag des Straßenverkehrs kann in effizienter Weise durch die beschleunigte Verjüngung des dieselbetriebenen PKW- und leichten Nutzfahrzeugbestandes erfolgen. Insbesondere sind dieselbetriebene Kraftfahrzeuge der Abgasstufen Euro 3 und Euro 4 durch Euro 6-Kraftfahrzeuge zu ersetzen. Aufgrund des geringeren Bestandes, der verringerten Jahresfahrleistungen und der „günstigeren“ NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnisse sind ältere Fahrzeuge (vor Euro 3) weniger NO<sub>2</sub>-emissionsrelevant.

Zudem wirkt sich ein Wechsel von mit Diesel betriebenen Kraftfahrzeugen zu mit Ottokraftstoffen, Erdgas oder elektrisch betriebenen Kraftfahrzeugen auf die durch den Straßenverkehr initiierte NO<sub>2</sub>-Immissionen unmittelbar positiv aus.

Einer Nachrüstung von NO<sub>x</sub>-Reduktionssystemen für Fahrzeuge vor Euro 6 ist kritisch gegenüber zu stehen. Abgasnachbehandlungssysteme zur NO<sub>x</sub>-Minderung sind auf den jeweiligen Motor abgestimmt und das System Motor/Abgasnachbehandlung unterliegt komplexen Wechselwirkungen. Im Zuge einer Nachrüstung können diese Wechselwirkungen nicht in einfacher Weise geregelt werden. Höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen bei einer gleichzeitig marginalen Änderung der NO<sub>x</sub>- bzw. NO<sub>2</sub>-Emissionen können die Folge sein.

### **CO<sub>2</sub>:**

Die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs zeigt einen zwischen 1991 und 2008 steigenden Trend. Erst eine langfristige Betrachtung bis 2030 führt, aufgrund der CO<sub>2</sub>-Flottenregulierung für PKW und leichte Nutzfahrzeuge, zu moderaten Reduktionen von 25% gegenüber dem Jahr 1990.

Selbst wenn die CO<sub>2</sub>-Flottenvorgaben für PKW und leichte Nutzfahrzeuge eingehalten werden, werden die europäischen CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele, umgelegt auf den Straßenverkehr, nicht erreicht.

Bedingt durch die CO<sub>2</sub>-Reglementierung von PKW und leichten Nutzfahrzeugen wird das Österreichziel (-16% CO<sub>2</sub> bis 2020 auf Basis des Jahre 2005) im Sektor

Straßenverkehr um 2% unterschritten und somit erreicht. Das Ziel der Europäischen Union, die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2020 um 30% (auf Basis des Jahres 1990) zu senken, wird durch den österreichischen Straßenverkehr aber verfehlt. Der Zielwert wird um 52% überschritten.

Zur Beurteilung des Langfristzieles der Europäischen Union für das Jahr 2050 wird ab dem Jahr 2031 die berechnete Emissionsentwicklung des Zeitraumes 2020 bis 2030 als mathematisches Trendmodell fortgeschrieben. Das europäische CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel bis 2050 (-60% bis -80% auf Basis des Jahres 1990) wird um 35% bis 171% überschritten. Die Notwendigkeit weiterer CO<sub>2</sub>-Reduktionen im Straßenverkehr, zur deutlichen Unterstützung der europäischen CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele, ist in direkter Weise dargelegt.

Die für die Umsetzung der Prognose bis 2050 erforderlichen durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen von Neufahrzeugen mit 50 g CO<sub>2</sub>/km für Otto-PKW und 30 g CO<sub>2</sub>/km für Diesel-PKW stellen sehr niedrige Emissionen je Kilometer dar und sind selbst mit reinen Elektrofahrzeugen, bei Berücksichtigung der Stromerzeugung, trotz hohem regenerativen Energieanteil in Österreich **aktuell nicht darstellbar**.

Das Potential von Elektrofahrzeugen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen ist unmittelbar vom Strom-Mix (regenerativer Anteil) abhängig. In welchem Ausmaß deren Anteil in naher Zukunft gesteigert wird, bleibt abzuwarten. Die gesetzlich vorgeschriebenen, zukünftig sinkenden CO<sub>2</sub>-Flottenemissionen von PKW und leichten Nutzfahrzeugen reduzieren das darstellbare CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential von Elektrofahrzeugen zunehmend, sofern der Anteil an regenerativer Energie nicht steigt.

**Für die Umsetzung der CO<sub>2</sub>-Emissionsprognose bis 2050 sind Elektrofahrzeuge mit einer 100% regenerativen Stromerzeugung erforderlich.**

Eine Alternative zum Elektrofahrzeug ist die Verwendung von biogenen bzw. alternativen Kraftstoffen. Essentieller Vorteil dieser Maßnahme ist, dass der gesamte Straßenverkehr zur CO<sub>2</sub>-Reduktion beitragen kann, da das Potential weder auf neu

zum Verkehr zugelassene Fahrzeuge noch auf eine bestimmte Fahrzeugart beschränkt ist.

Das in dieser Arbeit erstellte Emissionsszenario des dieselbetriebenen Straßenverkehrs (PKW und NFZ) in Österreich führt zu dem Ergebnis, dass im Jahr 2020 bzw. 2030 die CO<sub>2</sub>e-Emissionen um 9,8% bzw. 17,5% reduziert werden können.

Voraussetzung für die Umsetzung der CO<sub>2</sub>-Reduktionspotentiale biogener Kraftstoffe ist deren nachhaltige Produktion. Insbesondere Landnutzungsänderungen, welche sehr kontrovers diskutiert werden, können zu deutlich abweichenden CO<sub>2</sub>-Emissionen von Biokraftstoffen führen.

**Das CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential ist nicht ausreichend um das für das Jahr 2020 definierte europäische CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel zu erreichen. Es ist jedoch festzuhalten, dass die Beimischung von Biokraftstoffen einen wesentlichen Beitrag zur Zielerreichung leistet.**

#### **Schlussfolgerung:**

**Die geplanten technischen Maßnahmen zur Reduktion der NO<sub>2</sub>-Immissionen sind zielführend, wenngleich die Einhaltung der Grenzwerte zeitversetzt eintritt.**

**Die Umsetzung der europäischen CO<sub>2</sub>-Ziele erfordert im Bereich des Straßenverkehrs jedenfalls ein hohes Maß an Elektrifizierung und die regenerative Erzeugung des dafür benötigten Stromes. Zudem ist ein möglichst hoher Anteil an biogenen Kraftstoffen zu fördern. Die nachhaltige Produktion dieser ist dabei zwingende Voraussetzung. Als Maßnahme zur weiteren Steigerung der Energieeffizienz im Straßenverkehr ist der Kraftstoffverbrauch von schweren Nutzfahrzeugen zeitnah zu reglementieren. Nur die Kombination dieser Handlungsempfehlungen lässt das CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel in greifbare Nähe rücken.**

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] **Tober, W.:** Abschlussbericht "Einsatz und Potenzial von biogenen Designerkraftstoffen – BTL (Biomass to Liquid) im Motoreneinsatz" Teilbericht zum Arbeitspaket 9 - Erstellen einer Ökobilanz (Life Cycle Assessment - LCA) für BTL. Wien: TU Wien, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau, 2009. B09012.
- [2] **Tober, W.:** Energiepolitik Europas – Im Fokus: Der Verkehrssektor Stand Juni 2009. Wien: TU Wien, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau, 2009. Veröffentlicht durch: ÖVK - Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugbau. B09026.
- [3] **Tober, W.:** Entwicklung der Luftqualität ausgewählter europäischer Städte. Wien: TU Wien, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau, 2009. Veröffentlicht durch: ÖVK - Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugbau. B09040.
- [4] **Tober, W. und Rosenitsch, R.:** Prognose der gesetzlich limitierten Straßenverkehrsemissionen in Österreich und Deutschland bis 2030. Wien: TU Wien, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau, 2009. Veröffentlicht durch: ÖVK - Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugbau. B09038.
- [5] **Tober, W.:** Ökologische Lebenswegpotenziale neuer alternativer Dieselmotoren im österreichischen Straßenverkehr. Wien: TU Wien, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau, 2009. Veröffentlicht durch: ÖVK - Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugtechnik. B09020.
- [6] **Tober, W.:** Zukünftige Mobilität - Elektromobilität als Lösung? Wien: TU Wien, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau, 2010. B10032.
- [7] **Isermann, R.:** Elektronisches Management motorischer Fahrzeugantriebe: Elektronik, Modellbildung, Regelung und Diagnose für Verbrennungsmotoren, Getriebe und Elektroantriebe. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2009. ISBN 3834808555.
- [8] **Europäisches Parlament:** Verordnung (EG) Nr. 443/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen im Rahmen des Gesamtkonzepts der Gemeinschaft zur Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen. In: Amtsblatt der Europäischen Union. 5. Juni 2009, L140, S. 1-15.

[9] **Europäisches Parlament:** Verordnung (EU) Nr. 510/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue leichte Nutzfahrzeuge im Rahmen des Gesamtkonzepts der Union zur Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen. In: Amtsblatt der Europäischen Union. 31. 05 2011, L145, S. 1-18.

[10] **Europäisches Parlament:** Richtlinie 70/220/EWG des Rates vom 20. März 1970 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen gegen die Verunreinigung der Luft durch Abgase von Kraftfahrzeugmotoren mit Fremdzündung. In: Amtsblatt der Europäischen Union. 11. 4 1970, L81, S. 15. Berichtigung in ABl. L81 vom 11.4.1970, S. 15.

[11] **Europäisches Parlament:** Richtlinie 91/441/EWG des Rates vom 26. Juni 1991 zur Änderung der Richtlinie 70/220/EWG zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen gegen die Verunreinigung der Luft durch Emissionen von Kraftfahrzeugen. In: Amtsblatt der Europäischen Union. 30. 8 1991, L242, S. 1-106.

[12] **Europäisches Parlament:** Richtlinie 93/59/EWG des Rates vom 28. Juni 1993 zur Änderung der Richtlinie 70/220/EWG zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen gegen die Verunreinigung der Luft durch Emissionen von Kraftfahrzeugen. In: Amtsblatt der Europäischen Union. 28. 7 1993, L186, S. 21-27.

[13] **Europäisches Parlament:** Richtlinie 94/12/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. März 1994 über Maßnahmen gegen die Verunreinigungen der Luft durch Emissionen von Kraftfahrzeugen und zur Änderung der Richtlinie 70/220/EWG. In: Amtsblatt der Europäischen Union. 19. 4 1994, L100, S. 42-52.

[14] **Europäisches Parlament:** Richtlinie 96/69/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Oktober 1996 zur Änderung der Richtlinie 70/220/EWG zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen gegen die Verunreinigung der Luft durch Emissionen von KFZ. In: Amtsblatt der Europäischen Union. 1. 11 1996, L282, S. 64-67. Berichtigung in ABl. L83 vom 25.3.1997, S. 23.

[15] **Europäisches Parlament:** Richtlinie 98/69/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 1998 über Maßnahmen gegen die Verunreinigung der Luft durch Emissionen von Kraftfahrzeugen und zur Änderung der Richtlinie 70/220/EWG des Rates. In: Amtsblatt der Europäischen Union. 28. 12 1998, L350, S. 1-57. Berichtigung in ABl. L104 vom 21.4.1999, S. 31.

[16] **Europäisches Parlament:** Richtlinie 2002/80/EG der Kommission vom 3. Oktober 2002 zur Anpassung der Richtlinie 70/220/EWG des Rates über Maßnahmen gegen die Verunreinigung der Luft durch Emissionen von Kraftfahrzeugen an den technischen Fortschritt. In: Amtsblatt der Europäischen Union. 28. 10 2002, L291, S. 20-56.

[17] **Europäisches Parlament:** Verordnung (EG) Nr. 715/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2007 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) und über den Zugang zu Reparatur- und Wartungsinformationen für Fahrzeuge. In: Amtsblatt der Europäischen Union. 29. 6 2007, L171, S. 1-16.

[18] **Europäische Kommission:** Verordnung (EG) Nr. 692/2008 der Kommission vom 18. Juli 2008 zur Durchführung und Änderung der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) und über den Zugang zu Reparatur- und Wartungsinformationen für Fahrzeuge. In: Amtsblatt der Europäischen Union. 28. 07 2008, L199, S. 1-136.

[19] **Europäisches Parlament:** Richtlinie 88/77/EWG des Rates vom 3. Dezember 1987 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen gegen die Emission gasförmiger Schadstoffe aus Dieselmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen. In: Amtsblatt der Europäischen Union. 9. 2 1988, L36, S. 33-61.

[20] **Europäisches Parlament:** Richtlinie 91/542/EWG des Rates vom 1. Oktober 1991 zur Änderung der Richtlinie 88/77/EWG zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen gegen die Emission gasförmiger Schadstoffe aus Dieselmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen. In: Amtsblatt der Europäischen Union. 25. 10 1991, L295, S. 1-19.

[21] **Europäisches Parlament:** Richtlinie 96/1/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Januar 1996 zur Änderung der Richtlinie 88/77/EWG zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen gegen die Emission gasförmiger Schadstoffe und luftverunreinigender Partikel aus Dieselmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen. In: Amtsblatt der Europäischen Union. 17. 2 1996, L40, S. 1-9. Berichtigung in ABI. L155 vom 28.6.1996, S.63-64.

[22] **Europäisches Parlament:** Richtlinie 1999/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Dezember 1999 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen gegen die Emission gasförmiger Schadstoffe und luftverunreinigender Partikel aus Selbstzündungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen und die Emission gasförmiger Schadstoffe aus mit Erdgas oder Flüssiggas betriebenen Fremdzündungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen und zur Änderung der Richtlinie 88/77/EWG des Rates. In: Amtsblatt der Europäischen Union. 16. 2 2000, L44, S. 1-155.

[23] **Europäisches Parlament:** Richtlinie 2001/27/EG der Kommission vom 10. April 2001 zur Anpassung der Richtlinie 88/77/EWG des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen gegen die Emission gasförmiger Schadstoffe und luftverunreinigender Partikel aus Dieselmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen und die Emission gasförmiger Schadstoffe aus mit Erdgas oder Flüssiggas betriebenen Fremdzündungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen an den technischen Fortschritt. In: Amtsblatt der Europäischen Union. 18. 4 2001, L107, S. 10-23. Berichtigung in ABl. L266 vom 6.10.2001, S. 15.

[24] **Europäisches Parlament:** Richtlinie 2005/55/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 28. September 2005 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen gegen die Emission gasförmiger Schadstoffe und luftverunreinigender Partikel aus Selbstzündungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen und die Emission gasförmiger Schadstoffe aus mit Flüssiggas oder Erdgas betriebenen Fremdzündungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen In: Amtsblatt der Europäischen Union. 20. 10 2005, L275, S. 1-163.

[25] **Europäisches Parlament:** Verordnung (EG) Nr. 595/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Juni 2009 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Motoren hinsichtlich der Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen (Euro VI) und über den Zugang zu Fahrzeugreparatur- und -wartungsinformationen, zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 und der Richtlinie 2007/46/EG sowie zur Aufhebung der Richtlinien 80/1269/EWG, 2005/55/EG und 2005/78/EG In: Amtsblatt der Europäischen Union. 18. 7 2009, L188, S. 1-13.

[26] **Senatsverwaltung für Stadtentwicklung:** Digitaler Umweltatlas Berlin. Berlin.de - Senatsverwaltung für Stadtentwicklung. [Online] 2008. [Zitat vom: 14. 11 2008.] [http://stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh\\_03.htm](http://stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh_03.htm).

- [27] **Geringer, B.:** Skriptum zur Vorlesung 315.018 - Verbrennungskraftmaschinen Grundzüge. Wien: Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau der TU Wien, 2006. B06006.
- [28] **IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change):** Climate Change 2007 - The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. New York: Cambridge University Press, 2008. ISBN 978 0521 88009-1.
- [29] **Kippel, P., et al.:** Reduzierung hoher Luftschadstoffbelastung an Straßen. Tagungsband zum 465. FGU-Seminar "Verkehrsbedingte Belastungen durch Benzol, Dieselruß und Stickoxide in städtischen Straßenräumen". Berlin, 1997.
- [30] **Kalker, U.:** Gesundheitliche Bewertung der verkehrsbedingten Schadstoffe Stickoxide, Benzol und Dieselruß-Partikel. In: Forum Städte-Hygiene 44. Frankfurt: Stadtgesundheitsamt Frankfurt - Abteilung Umweltmedizin und Hygiene, 1993.
- [31] **Spangl, W., et al.:** Jahresbericht der Luftgütemessungen in Österreich 2006. Wien: Umweltbundesamt GmbH, 2007. ISBN 3-85457-902-0, REP-0104.
- [32] **Kühling, W.:** Planungsrichtwerte für die Luftqualität. Schriftenreihe Landes- und Stadtentwicklungsforschung des Landes Nordrhein-Westfalen. Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung des Landes Nordrhein-Westfalen. 1986, Bd. 4045.
- [33] **Nowak, D., et al.:** Luftverschmutzung - Asthma - Atemswegsallergien. Zwischenergebnisse deutsch-deutscher epidemiologischer Studien. In: Deutsches Ärzteblatt 91. 1994, Heft 1/2.
- [34] **Schneider, J., et al.:** Schwebstaub in Österreich. Wien: Umweltbundesamt GmbH, 2006. ISBN 3-85457-787-7, BE-277.
- [35] **Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit:** Auswirkungen der Luftverunreinigungen auf die menschliche Gesundheit. In: Bericht für die Umweltministerkonferenz. Bonn: Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 1987.
- [36] **Europäische Kommission.:** Mitteilung der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament - Eine Strategie der Gemeinschaft zur Minderung der CO<sub>2</sub> Emissionen von Personenkraftwagen und zur Senkung des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs. Brüssel. In: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften, 1995. KOM(1995) 0689 endg. vom 20.12.1995.

- [37] **Hendrik, C., et al.:** EC-Case - Carbon Dioxide Sequestration. Utrecht: TNO, Niederländische Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung, 2003.
- [38] **Gale, J., et al.:** Transmission of CO<sub>2</sub> – Safety and Economic Considerations. Kyoto: Proceedings of the 6th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologie, 2002. S. 517-522.
- [39] **Europäische Kommission:** Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue leichte Nutzfahrzeuge im Rahmen der Gesamtstrategie der Gemeinschaft zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von leichten Nutzfahrzeugen und PKW. Brüssel. In: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften, 2009. KOM(2009) 0593.
- [40] **Nationalrat der Republik Österreich:** Emissionshöchstmengengesetz-Luft, EG-L, sowie Änderung des Ozongesetzes und des Immissionsschutzgesetzes-Luft. Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich. 2003, BGBl. I Nr. 34/2003.
- [41] **Nationalrat der Republik Österreich:** Bundesgesetz über Maßnahmen zur Abwehr der Ozonbelastung und die Information der Bevölkerung über hohe Ozonbelastungen, mit dem das Smogalarmgesetz, BGBl. Nr. 38/1989, geändert wird. Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich. 2003, BGBl. Nr. 210/1992 zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 34/2003.
- [42] **Umweltbundesamt:** Neunter Umweltkontrollbericht - Umweltsituation in Österreich. Wien: Umweltbundesamt, 2010. ISBN 978-3-99004-087-4, REP-0286.
- [43] **Europäisches Parlament:** Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. In: Amtsblatt der Europäischen Union. 21. 05 2008, L152, S. 1-44.
- [44] **Europäisches Parlament:** Richtlinie 2004/107/RG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Dezember 2004 über Arsen, Kadmium, Quecksilber, Nickel und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe in der Luft. In: Amtsblatt der Europäischen Union. 2005. 01 2004, L23, S. 3-16.
- [45] **Nationalrat der Republik Österreich:** Bundesgesetz zum Schutz vor Immissionen durch Luftschadstoffe, mit dem die Gewerbeordnung 1994, das Luftreinhaltegesetz für Kesselanlagen, das Berggesetz 1975, das Abfallwirtschaftsgesetz und das Ozongesetz geändert werden (IG-L). Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich. 2010, BGBl. I Nr. 115/1997 zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 77/2010.

[46] **Europäische Kommission:** Grünbuch - Eine europäische Strategie für nachhaltige, wettbewerbsfähige und sichere Energie. Brüssel. In: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften, 2006. KOM(2006) 105 endg. vom 8.3.2006.

[47] **Europäisches Parlament:** Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG. In: Amtsblatt der Europäischen Union. 5. Juni 2009, L140, S. 16-62.

[48] **Europäisches Parlament:** Entscheidung Nr. 406/2009/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 über die Anstrengungen der Mitgliedstaaten zur Reduktion ihrer Treibhausgasemissionen mit Blick auf die Erfüllung der Verpflichtungen der Gemeinschaft zur Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2020. In: Amtsblatt der Europäischen Union. 5. Juni 2009, L140, S. 136-148.

[49] **Europäische Kommission:** Mitteilung der Kommission - Aktionsplan für Energieeffizienz: Das Potenzial ausschöpfen. Brüssel. In: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften, 2006. KOM(2006)545 endg. vom 19.10.2006.

[50] **Cozzarini, C.:** Berechnung limitierter und nichtlimitierter PKW- und NFZ-Emissionen in Deutschland - Szenarien und Prognosen. Wien: TU Wien, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau, 1998. Dissertation.

[51] **Statistik Austria:** Statistik der Kraftfahrzeuge, Neuzulassungen xxxx (Jahresheft). Wien: Statistik Austria, Bundesanstalt Statistik Österreich, bis 2008. erscheint jährlich.

[52] **Kraftfahrt-Bundesamt:** Fahrzeugzulassungen (FZ) - Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern. Flensburg: Kraftfahrt-Bundesamt, bis 2008. erscheint jährlich.

[53] **Statistik Austria:** Statistik der Kraftfahrzeuge, Bestand am 31.12.xxxx. Wien: Statistik Austria, Bundesanstalt Statistik Österreich, bis 2008. erscheint jährlich.

[54] **Kraftfahrt-Bundesamt:** Bestand am 1. Jänner xxxx. Flensburg: Kraftfahrt-Bundesamt, bis 2008. erscheint jährlich.

[55] **Maas, H.:** Langfristige CO<sub>2</sub>-Emissionsszenarien für den Pkw-Sektor in Europa. Innovative Kraft- und Schmierstoffe. Stuttgart: ATZ / MTZ-Konferenz, 2008.

- [56] **Nationalrat der Republik Österreich:** Bundesgesetz, mit dem eine Ökoprämie für Fahrzeugtausch eingeführt wird (Ökoprämiengesetz). Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich. 31. 03 2009, BGBl. I Nr. 28/2009.
- [57] **Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend:** Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend. Ökoprämie. [Online] 08. 07 2009. [Zitat vom: 24. 08 2009.] <http://www.bmwfj.gv.at/BMWA/Schwerpunkte/Unternehmen/oekopraemie.htm>.
- [58] **Statistik Austria:** Statistik der Kraftfahrzeuge, Neuzulassungen Juli 2009. Wien : Statistik Austria, Bundesanstalt Statistik Österreich, 2009. Online-Ausgabe.
- [59] **APA:** Asfinag spürt Krise: Vignette wird teurer. Die Presse. 2009, 22.05.2009.
- [60] **Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie:** Richtlinie zur Förderung des Absatzes von Personenkraftwagen vom 20. Februar 2009 mit Änderungen der Richtlinie vom 17. März 2009 und vom 26. Juni 2009. Berlin, 2009.
- [61] **Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle:** Abschlussbericht - Umweltprämie. Eschborn, 2010.
- [62] **dpa-AFX Wirtschaftsnachrichten:** Mercedes-Manager erwartet Rückgang des Lkw-Markts. Zürich: Finanznachrichten, 2009. ISIN DE0007100000 DE0005937007 SE0000115446.
- [63] **Kraftfahrt-Bundesamt:** Pressemitteilung Nr. 16/2009 - Fahrzeugzulassungen im Juni 2009. Flensburg: Kraftfahrt-Bundesamt, 2009.
- [64] **Kraftfahrt-Bundesamt:** Verkehr mit deutschen Lastkraftfahrzeugen im Januar 2009. Flensburg: Kraftfahrt-Bundesamt, 2009. Statistische Mitteilungen des Kraftfahrt-Bundesamtes VD 5.
- [65] **Bittermann, W.:** Questionnaire Energy Efficiency Indicators. Wien: Statistik Austria, Bundesanstalt Statistik Österreich , 2007.
- [66] **Statistik Austria:** Energiestatistik: Mikrozensus Energieeinsatz der Haushalte 1999/2000. Wien: Statistik Austria, Bundesanstalt Statistik Österreich, 2007.
- [67] **Statistik Austria:** Energiestatistik: Mikrozensus Energieeinsatz der Haushalte 2004. Wien: Statistik Austria, Bundesanstalt Statistik Österreich, 2007.
- [68] **Schodl, B.:** Persönliche Auskunft per Email. Wien: Umweltbundesamt GmbH, 21. 05 2008.
- [69] **Baud, S.:** Standard-Dokumentation Metainformationen zur Integrierten NAMEA. Wien: Statistik Austria, Bundesanstalt Statistik Österreich, 2006. Bearbeitungsstand: 14.12.2006.

- [70] **Risser, A.:** Fahrleistungen - Untersuchungen über Kfz-Fahrleistungen in Österreich, Deutschland und der Schweiz im Überblick. Wien: Kuratorium für Verkehrssicherheit, 1996. Verkehr in Österreich Heft 21. ISSN 1026-3969.
- [71] **Čapek, C.:** Jahresbericht 2007. Wien: Fachverband der Mineralölindustrie Österreichs (FVMI), 2007.
- [72] **Kurzweil, A. et al.:** Einsatz von Biokraftstoffen und deren Einfluss auf die Treibhausgasemissionen in Österreich. Wien: Umweltbundesamt GmbH, 2003. BE-144. ISBN 3-85457-488-6.
- [73] **Posch, A. et al.:** Visionen und Konzepte für die urbane Mobilität. Graz: Koordinationsbüro für Umweltsystemwissenschaften, Karl-Franzens-Universität Graz, 2008.
- [74] **Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie:** Countdown für den Klimaschutz, Wohin steuert der Verkehr? Wuppertal : Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie, 1999.
- [75] **IFEU:** Fortschreibung Daten- und Rechenmodell. Heidelberg: Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg GmbH, 1999.
- [76] **Deutsche Shell AG:** Mehr Autos-weniger Emissionen, Shell PKW-Szenarien, Szenarien des PKW-Bestandes und der Neuzulassungen in Deutschland bis zum Jahr 2020. Hamburg: Deutsche Shell AG, 1999.
- [77] **ESSO Deutschland GmbH:** Zukunft sichern-Energie sparen, ESSO Energieprognose 2000. Hamburg: ESSO Deutschland GmbH, 2000.
- [78] **Samaras, Z., et al.:** ACEA Runs for the Auto Oil II Programme – Final Report. Thessaloniki: European Automobile Manufacturers Association, 1999. LAT Report No: 9912.
- [79] **Klemp, C. et al.:** Weniger Verkehr in 2009: Die Straßen in NRW sind leerer. Münstersche Zeitung. 13. 07 2009.
- [80] **Walter, K.:** Güter- und Personenverkehr in der Wirtschaftskrise. STATmagazin. 07. 07 2009.
- [81] **VCÖ:** Zahlen zur Krise. VCÖ-Magazin - Mobilität mit Zukunft. 2009, 2009-03.
- [82] **OÖ Nachrichten:** Autobahn spürt mit den Frächtern die Krise: Mauterlöse brechen ein. OÖ Nachrichten. 2009, 17.7.2009.
- [83] **Wirtschaftsblatt:** Krise verringert Güterverkehr und Energiekonsum. Wirtschaftsblatt. 2009, Onlineausgabe am 18.6.2009.

- [84] **INFRAS**: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs 3.1. Zürich: UBA Berlin, BUWAL Bern, UBA Wien, 2010.
- [85] **Dünnebeil, F. et al.**: Entwicklung der NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Emissionen im Innerortsverkehr in Baden-Württemberg und Deutschland bis zum Jahr 2015. Heidelberg: ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, 2007.
- [86] **Hausberger, S.**: Aktuelle Informationen zu technologischen Entwicklungstendenzen bei KFZ. Graz: Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, 2006.
- [87] **Hausberger, S.**: Entwicklung der NO<sub>2</sub> Belastung durch den Straßenverkehr. Graz: Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, TU Graz, 2007. Erstellt im Auftrag der Umweltbundesamt GmbH. Report Nr. I-24/2007. Haus-Em 11/07/679.
- [88] **Walz, C.**: NO<sub>x</sub>-Minderung nach dem SCR-Verfahren: Untersuchungen zum Einfluss des NO<sub>2</sub>-Anteils (Dissertation). Karlsruhe: Universität Karlsruhe - Fakultät für Chemie, 2000.
- [89] **Breitbach, H, et al.**: Potenziale und Grenzen der Abgasnachbehandlung durch NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysatoren. Tagungsband zum 14. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik. Aachen: Lehrstuhl für Verbrennungskraftmaschinen Aachen, Institut für Kraftfahrzeugwesen, 2005, S. 1023-1044.
- [90] **Rohr, F. et al.**: Untersuchungen zur Dauerhaltbarkeit von NO<sub>x</sub>-Nachbehandlungssystemen für Dieselmotoren. Tagungsband zum 16. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik. Aachen: Lehrstuhl für Verbrennungskraftmaschinen Aachen, Institut für Kraftfahrzeugwesen, 2007, S. 265-278.
- [91] **Weissel, W.**: Entwicklung von neuen Ansätzen zur On Board Diagnose von Diesel- Abgasnachbehandlungssystemen. Wien: Institut für Fahrzeugantriebe und Automobiltechnik der TU-Wien, 2010. Dissertation.
- [92] **Möltner, L.**: Vergleichende Untersuchungen von zeolithischen Katalysatoren und Katalysatoren mit Mischoxiden für die selektive katalytische Reduktion von Stickoxiden unter besonderer Berücksichtigung der Distickstoffmonoxidemissionen. Wien: Institut für Fahrzeugantriebe und Automobiltechnik der TU-Wien, 2011. Dissertation.

- [93] **Anderl, A. et al.:** Emissionstrends 1990-2007 - Überblick über die österreichischen Verursacher von Luftschadstoffen (Datenstand 2009). Wien: Umweltbundesamt GmbH, 2009. Report REP-0234, ISBN 978-3-99004-033-1.
- [94] **Umweltbundesamt:** Emissionsentwicklung 1990 - 2007, Treibhausgase, inkl. erweiterte Auswertung und Äquivalentemissionen der Treibhausgase. Dessau: Umweltbundesamt, 2009.
- [95] **Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz:** Luftgütemessdaten. Berlin: Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz, 1991-2008 (jährlich).
- [96] **Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie:** Jahresbericht zur Immissionssituation. Dresden: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, 1991-2008 (jährlich).
- [97] **Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW:** EU-Jahreskenngößen. Düsseldorf: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, 1991-2008.
- [98] **Institut für Hygiene und Umwelt - Bereich Umweltuntersuchungen / Luft:** Hamburger Luftmessnetz. Hamburg: Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Soziales, Familie, Gesundheit und Verbraucherschutz, 1991-2008.
- [99] **Amt der Tiroler Landesregierung, Abt. Waldschutz:** Luftgüte in Tirol. Innsbruck: Amt der Tiroler Landesregierung, 1991-2008.
- [100] **Umwelt Prüf- und Überwachungsstelle des Landes Oberösterreich:** Jahresbericht der Luftgüteüberwachung in Oberösterreich. Linz: Umwelt Prüf- und Überwachungsstelle des Landes Oberösterreich, 1991-2008.
- [101] **LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg:** Kenngrößen der Luftqualität. Karlsruhe: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 1991-2008.
- [102] **Amt der Wiener Landesregierung MA 22-Umweltschutz:** Jahresbericht - Luftgütemessungen der Umweltschutzabteilung der Stadt Wien. Wien: Amt der Wiener Landesregierung MA 22-Umweltschutz, 1991-2008.
- [103] **Bayerisches Landesamt für Umwelt:** Auswertung der an den LÜB Stationen gemessenen Konzentrationen nach der 22. und 33. BImSchV. München: Bayerisches Landesamt für Umwelt, 1991-2008.
- [104] **Müller, W., et al.:** Abgasnachbehandlungssysteme für Nutzfahrzeuge in On- und NonRoad-Anwendungen. Tagungsband zum 30. Internationales Wiener

Motorensymposium. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH, 2009, S. 256-277. VDI Fortschritt-Berichte Band 697.

[105] **Puxbaum, H., et al.:** AUPHEP und AQUELLA, Staubquellenanalysen-Ergebnisse aus Österreichischen Städten. Wien: Institut für Chemische Technologien und Analytik, TU Wien, 2006.

[106] **Fernandez, R. et al.:** Annual European Community greenhouse gas inventory 1990–2007 and inventory report 2009 (Version 27 May 2009). Kopenhagen: European Environment Agency, 2009. Technical report No 04/2009.

[107] **Moosmann, L. et al.:** Auswirkungen der NO<sub>2</sub>-Emissionen bei Diesel-KFZ auf die Immissionsbelastung. Wien: Umweltbundesamt, 2008. Rep-0135.

[108] **Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit:** Luftbelastung durch Stickstoffoxide in Deutschland - Hintergrundpapier des BMU. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Referat IG I 3 - Gebietsbezogene Luftreinhaltung, 2006.

[109] **Lahl, U. et al.:** Hohe NO<sub>2</sub>-Belastungen: Für Dieselabgase weiterhin Handlungsbedarf. 10. Technischer Kongress des VDA. Ludwigsburg: Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA), 2008.

[110] **Spangl, W., et al.:** Jahresbericht der Luftgütemessungen in Österreich 2009. Wien: Umweltbundesamt GmbH, 2010. ISBN 978-3-99004-062-1, REP-0261.

[111] **Dünnebeil, F. et al.:** Ursachen und zukünftige Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Belastung - Ergebnisse aktueller Analysen für Baden-Württemberg. Simultane Feinstaub- und NO<sub>2</sub>-Minderung - ein Zielkonflikt? Dresden: Workshop des Förderkreises Abgasnachbehandlungstechnologien für Dieselmotoren (FAD) e. V., 2010.

[112] **Romberg, E. et al.:** NO-NO<sub>2</sub>-Umwandlung für die Anwendung bei Immissionsprognosen für Kfz-Abgase. Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH, 1996, S. 215-218.

[113] **Bächlin, W. et al.:** Überprüfung des NO-NO<sub>2</sub>-Umwandlungsmodells für die Anwendung bei Immissionsprognosen für bodennahe Stickoxidfreisetzung. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH, 2006, S. 154-157.

[114] **Bächlin, W. et al.:** Untersuchungen zu Stickstoffdioxid-Konzentrationen, Los 1 Überprüfung der Rombergformel. Recklinghausen: Landesamt für Natur Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein–Westfalen, 2008. Projekt 60976-04-01.

- [115] **Düring, I. et al.:** A new simplified NO/NO<sub>2</sub> conversion model under consideration of direct NO<sub>2</sub>-emissions. Meteorologische Zeitschrift. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 2011, S. 67-73.
- [116] **Wagner, U., et al.:** Ganzheitliche Bewertung alternativer Kraftstoffe und innovativer Fahrzeugantriebe. [Buchverf.] D. Naunin. Hybrid-, Batterie- und Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge. Renningen: Expert Verlag, 2007. ISBN-10: 3-8169-2625-8.
- [117] **Hüttenrauch, J.:** Die zweite Generation des VW Polo BlueMotion. ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift Ausgabe Nr.: 2010-02. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2010.
- [118] **Schruf, W.:** Weniger ist schwer. Auto Motor und Sport - Heft 7 - 11. März 2010. Stuttgart: Motor Presse Stuttgart GmbH & Co. KG, 2010.
- [119] **Helms, H, et al.:** Electric vehicle and plug-in hybrid energy efficiency and life cycle emissions. 18th International Symposium Transport and Air Pollution. Dübendorf: EMPA, 2010.
- [120] **Demel, H.:** Energiebedarf im gesamten Lebenszyklus für verschiedene Fahrzeugkonzepte. Tagungsband zum 30. Internationalen Wiener Motorensymposium. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH, 2009. VDI Fortschritt-Berichte Band 697.
- [121] **Buschmann, G., et al.:** Welchen Beitrag können alternative Kraftstoffe und die Hybridtechnik zur CO<sub>2</sub>-Absenkung leisten? Leipzig: 8. Symposium Entwicklungstendenzen bei Ottomotoren, 2006.
- [122] **IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change):** 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Japan : IGES, 2006. ISBN 4-88788-032-4.
- [123] **Searchinger, T. et al.:** Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change. Science. Washington D.C.: American Association for the Advancement of Science, 2008, S. 1238-1240.
- [124] **Tilman, D. et al.:** Beneficial Biofuels - The Food, Energy, and Environment Trilemma. Science. Washington D.C.: American Association for the Advancement of Science, 2009, S. 270-271.
- [125] **Gnansounou, E. et al.:** Life cycle assessment of biofuels: Energy and greenhouse gas balances. Bioresource Technology. Oxford: Elsevier, 2009, S. 4919-4930.

- [126] **Bilas, I.:** Persönliche Auskunft per Email. Freiberg: Choren Industries GmbH, 13. 6 2008.
- [127] **Bilas, I., et al.:** Biomass to Liquids - Die Herstellung von synthetischem Biokraftstoff unter Einsatz des Carvo-V Verfahrens. 7. Sächsischer Kreislaufwirtschaftstag 2008. Freiberg: Sächsisches Informations- und Demonstrationszentrum "Abfallbehandlungstechnologien" Freiberg, 2008.
- [128] **Öko-Institut:** Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS). Freiburg: Öko-Institut, 2007. GEMIS-Datenbasis Version 4.42.
- [129] **Schwarze, H. et al.:** 1. Fachtagung "Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen". Untersuchungen zum Pappel- und Weidenanbau im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlichen Flächen. Tharandt: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2006.
- [130] **Jungbluth, N. et al.:** Life Cycle Assessment of BTL-fuel production: Inventory Analysis. Del-5.2.7-inventory-final.doc, 30.07.2007 08:11. Uster: ESU-services Ltd., 2007. SES6-CT-2003-502705.
- [131] **Falabella, E.:** BTL a solution to increase energy efficiency in the Brazilian alcohol business. World Energy Congress. Rom: World Energy Council , 2007.
- [132] **Reinhardt, G. et al.:** Ökobilanzen zu BTL: Eine ökologische Einschätzung. Heidelberg: IFEU – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, 2006. Projektträger: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Förderkennzeichen 2207104.
- [133] **Peintner, C.:** Persönliche Auskunft per Email. Steyr: Profactor GmbH, 8. 7 2008.
- [134] **Eichhorn, Ch.:** Persönliche Auskunft per Email. Freiberg: Choren Technologies GmbH, 26. 10 2008.
- [135] **Keppeler, S.:** Nächste Generation Biokraftstoffe auf dem Weg zu höheren Biokraftstoffanteilen. Kraft- und Schmierstoffe. Hamburg: MTZ/ATZ Fachkonferenz, 2007.
- [136] **Winter, R.:** Biokraftstoffe im Verkehrssektor 2006 - Zusammenfassung der Daten der Republik Österreich gemäß Art. 4, Abs. 1 der Richtlinie 2003/30/EG für das Berichtsjahr 2005. Wien: Umweltbundesamt GmbH, 2006. REP-0068.
- [137] **Winter, R.:** Biokraftstoffe im Verkehrssektor 2008 - Zusammenfassung der Daten der Republik Österreich gemäß Art. 4, Abs. 1 der Richtlinie 2003/30/EG für das Berichtsjahr 2007. Wien: Umweltbundesamt GmbH, 2008. REP-0169.

[138] **Winter, R.:** Biokraftstoffe im Verkehrssektor 2009 - Zusammenfassung der Daten der Republik Österreich gemäß Art. 4, Abs. 1 der Richtlinie 2003/30/EG für das Berichtsjahr 2008. Wien: Umweltbundesamt GmbH, 2009.

[139] **Umweltbundesamt Deutschland:** Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2008. Berlin: Umweltbundesamt Deutschland, 2010.

[140] **Dachs, G. et al.:** Biogasaufbereitungssysteme zur Einspeisung in das Erdgasnetz – ein Praxisvergleich. München: Solarenergieförderverein Bayern e. V., 2008.

# Lebenslauf

## Persönliche Daten

Name           Werner Karl Tober  
Geboren am   3. April 1975 in Melk an der Donau, Österreich  
Eltern         Karl und Leopoldine Tober

## Schul- und Hochschulbildung

1994           Abschluss der berufsorientierten Ausbildung an der Höheren Technischen Lehranstalt (HTL) Mödling, Fachrichtung Maschinenbau-Kraftfahrzeugbau  
2004           Abschluss des individuellen Diplomstudiums „Betriebstechnik und Projektmanagement“ an der Technischen Universität Wien, Fakultät Maschinenbau  
2012           Abschluss des Doktoratsstudiums der technischen Wissenschaften an der Technischen Universität Wien

## Beruflicher Werdegang

1996 - 2005   Assistent der Geschäftsführung in einem Mehrmarken-Autohaus - Tätigkeitsbereiche: Marketing, Verkauf, Controlling und Personalmanagement  
2006 - dato   Assistent am Institut für Fahrzeugantriebe & Automobiltechnik der Technischen Universität Wien - Tätigkeitsbereiche: Verkehr und Umwelt, Trendanalysen, Emissionsmessung Gesamtfahrzeug, Elektromobilität  
2007           Zulassung als Allgemein beeideter und gerichtlich zertifizierter Sachverständiger für die Fachgebiete: Verkehrsunfallrekonstruktion, KFZ-Wesen und Handel mit KFZ  
2008 - dato   Gründung und Führung des Sachverständigenbüros SV-Büro TOBER zur Erstellung von Privat- und Gerichtsgutachten

## Veröffentlichungen und wissenschaftliche Berichte

Geringer B., Tober W., Rosenitsch R.: "Entwicklung der NO<sub>x</sub>- und Feinstaub-Abgasemissionen stationärer und mobiler Quellen in Deutschland", in "Abgas- und Verbrauchsverringerung Auswirkungen auf die Luftqualität und den Treibhauseffekt", Expert Verlag, Renningen, 2006  
Tober W.: "Studie zur HU-Fristverlängerung und Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit", in "Mensch, Fahrzeug, Umwelt: Wege zu einer sicheren und nachhaltigen Mobilität", VdTÜV-Verlag, Berlin, 2010  
Tober W.: "Vermessung des i-MiEV hinsichtlich Energieeinsatz und Reichweite", Berichts-Nr. B11012, Institut für Fahrzeugantriebe & Automobiltechnik, Wien, 2011  
Tober W.: "Studie zur Untersuchung batterieelektrisch betriebener Gabelstapler", Berichts-Nr. B11027, Institut für Fahrzeugantriebe & Automobiltechnik, Wien, 2011  
Tober W.: "Effiziente Stapelei", dispo, WEKA-Verlag, 42. Jahrgang, Ausgabe 9, Wien, 2011  
Sihn W., Palm D., Gommel H., Tober W., Bauer C.: "Methodik zur Ermittlung und Quantifizierung von Veränderungen in nationalen Wertschöpfungsketten durch Elektromobilität", WGP-Jahreskongress, Berlin, 2011  
Geringer B., Bauer C., Tober W., Sihn W., Gommel H., Palm D.: "Gutes Geschäft mit Elektromobilität", Umweltschutz der Wirtschaft - Energieschub für Europa, Wien, 2011  
Tober W.: „CO<sub>2</sub>-Minderung im Straßenverkehr“, Highlights der Bioenergieforschung - Biokraftstoffe in Österreich und der EU, Wieselburg, 2011