

# Schwerpunktthema:

## Klimaschutz im Straßenverkehr – Globale Herausforderungen und Instrumente



Der Weltenergieericht dankt den Autoren des Schwerpunktkapitels,  
Dr. Thilo Schaefer und Thomas Puls vom Institut der deutschen Wirtschaft Köln,  
ausdrücklich für die vorliegende Analyse und Bewertung.

## Executive Summary

Der Verkehrssektor ist für rund ein Viertel der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich. Die wirtschafts- und gesellschaftspolitische Agenda nach 1990 bedingte eine Zunahme des Verkehrs, was dazu führte, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs zwischen 1990 bis 2015 **global um etwa 75 % anstiegen**.

In der EU war vor allem die **Implementierung des Binnenmarktes Treiber der Mobilität** und hauptverantwortlich für den Emissionsanstieg. Zusätzlich fand nach dem Mauerfall 1990 in Osteuropa ein signifikantes Aufholen der Teilhabe an Verkehrsleistungen statt. Im Jahr 2015 hatten Pkw in der EU-28 einen Anteil von gut 61 % an den Emissionen des Straßenverkehrs.

### Herausforderung für die Zukunft: Sektorenkopplung

Das Pariser Klimaabkommen hat das Ziel, den Anstieg der weltweiten Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2 °C zu begrenzen. Dies ist nur erreichbar durch eine globale Reduktion der Treibhausgasemissionen, bei der alle Länder und alle Sektoren ihren Beitrag leisten. Ein Dekarbonisierungsziel von 80 % oder sogar 95 % bis zum Jahr 2050 würde bedeuten, dass außer der Landwirtschaft praktisch alle anderen Sektoren zu 100 % frei von CO<sub>2</sub>-Emissionen werden müssten.

Vor diesem Hintergrund steht der Verkehrssektor vor einem **Paradigmenwechsel**, um die Verbrennung fossiler Kraft- und Brennstoffe langfristig durch eine weitgehend CO<sub>2</sub>-freie Energieversorgung abzulösen. Dies kann nur bei einem **Zusammenspiel der verschiedenen Sektoren** gelingen, der sogenannten **Sektorenkopplung**.

Voraussetzungen für eine erfolgreiche Sektorenkopplung und die Umstellung auf den **Primärenergieträger Strom** sind:

- die frühzeitige Entwicklung der nötigen **Versorgungsinfrastruktur für den Verkehr** und die **Schnittstelleninfrastruktur hin zum Stromsektor**,
- ein technologieoffener **Regulierungsrahmen mit übergreifenden Instrumenten**,
- ein übergeordneter **Koordinationsmechanismus** für die Begrenzung der CO<sub>2</sub>-Emissionen – Konsistente CO<sub>2</sub>-Preissignale in allen Sektoren sind anzustreben.

Durch die Sektorenkopplung wird die Nachfrage nach regenerativem Strom gemäß aller Prognosen stark ansteigen. Je größer der Anteil von **strombasierten Kraftstoffen** ist, desto größer wird der Strombedarf sein, da deren Herstellung aufgrund der zahlreichen Umwandlungsprozesse weniger energieeffizient ist. Sie stellen dennoch einen unverzichtbaren Bestandteil der künftigen Energieversorgung des Verkehrs dar, zumal die **bestehende Versorgungsinfrastruktur** weiter genutzt werden kann.

Bislang ist die Regelung für den Einsatz von Strom im Verkehrssektor sehr einfach: Alle **CO<sub>2</sub>-Emissionen werden dem Stromsektor zugeschlagen**. Für den Verkehr gilt ein strombetriebenes Fahrzeug als **Null-Emissions-Fahrzeug**. Die Verwendung von CO<sub>2</sub>-freien E-Fuels wird vom Regulierungssystem des Verkehrs dagegen nicht als Beitrag zum Klimaschutz honoriert.

### Regulierung lässt wichtige Faktoren bisher außer Acht

Das regulatorische Hauptinstrument setzt an den Emissionen von Neuwagen in einem genormten Testumfeld an, also bei einem theoretisch bemessenen Emissionspotenzial eines kleinen Teils der Fahrzeugflotte. Faktoren wie der **Infrastrukturbestand**, **Staus** oder die **zurückgelegten Fahrstrecken** wurden bislang weitgehend außer Acht gelassen. Auch die **Sektorenkopplung** fehlt derzeit. Um eine bessere Regulierung im Straßenverkehr zu erreichen, ist es notwendig, den Fokus zu erweitern und einen **integrierten Ansatz** zu verfolgen, der versucht, möglichst alle emissionsrelevanten Faktoren in ein stimmiges Gesamtkonzept einzubetten.

Der Aspekt der **Planbarkeit** sollte bei allen Maßnahmen im Vordergrund stehen, um langfristige **Investitionsentscheidungen zu steuern**. Mobilität ist für die Bürger unverzichtbar, um die verschiedenen Aspekte ihres Lebens zu vernetzen. Der Verkehr ist daher stets eine aus diversen individuellen Entscheidungen abgeleitete Größe. Verhaltensänderungen lassen sich daher oft nur mittel- bis langfristig herbeiführen.

### Hohe Kraftstoffsteuern in der EU verfehlen bisher Steuerungswirkung

Ein weltweit gängiges klimapolitisches Instrument stellt die Erhebung von Steuern auf Kraftstoffe dar, sogenannter **„Mineralölsteuern“**. Die Verbrennung von einem Liter Diesel verursacht 2,64 kg CO<sub>2</sub>, bei Benzin entstehen 2,33 kg CO<sub>2</sub> pro Liter. Legt man die gewichtete europä-

ische Besteuerung von Kraftstoffen an, die sich laut EU-Kommission im März 2018 auf **71,8 Cent je Liter Diesel** und **85,6 Cent je Liter Benzin** belief, so errechnet sich **in der EU-28** eine implizite CO<sub>2</sub>- Besteuerung von etwa 368 Euro pro Tonne bei Benzin beziehungsweise 272 Euro bei Diesel.

Die EU-28 übt in Form von Grenzwerten und Steuersätzen deutlich mehr Druck auf den Straßenverkehr aus als China, die USA oder der Rest der Welt. So liegen die Mineralölsteuern in China seit Januar 2015 bei etwa **19 Cent pro Liter**. Damit bewegen sie sich auf dem US-Niveau, welches seit 1993 unverändert geblieben ist. Der implizite CO<sub>2</sub>-Preis der Mineralölbesteuerung liegt **in den USA und China** bei etwas mehr als 80 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub>. Bislang konnten die teilweise hohen Mineralölsteuern keine signifikante Steuerungswirkung entfalten.

### Herstellergrenzwerte als zentrales Instrument der EU

Das zentrale Klimaschutzinstrument der EU im Straßenverkehr sieht vor, den durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoß aller neu zugelassenen Pkw in der EU **ab dem Jahr 2021 auf 95 g CO<sub>2</sub>/km zu begrenzen**. Für das Jahr 2015 war ein Wert von 130 g CO<sub>2</sub>/km vorgegeben und dieser wurde mit einem Durchschnittswert von 119,5 g CO<sub>2</sub>/km deutlich unterschritten. Für die Zeit nach 2021 ist derzeit vorgesehen, die Emissionen der neuzugelassenen Pkw **bis 2025 um weitere 15 %** beziehungsweise **bis 2030 um 30 %** zu reduzieren. Die Grenzwerte der EU-28 für die nächste Dekade liegen damit deutlich unter den Vergleichswerten aus den USA, China oder Japan.

Die Hersteller stoßen bei der **Effizienzsteigerung der Verbrennungsmotoren** langsam an physikalische Grenzen und sind daher schon jetzt gezwungen, alternative Antriebskonzepte zu entwickeln und marktfähig zu machen. Neben den verschiedenen Formen der Elektrifizierung des Antriebsstranges, wie **Plug-In-Hybriden** oder vollständig **batteriebetriebenen Fahrzeugen**, sind hier **erdgasbetriebene Antriebe** und die **Brennstoffzelle** zu nennen. Zulieferer rechnen damit, dass die Elektrifizierung etwa 70 % der Einsparungen bis 2030 liefern muss.

### Weitere Effizienzsteigerungen sind zwingend erforderlich

In den letzten Jahren sind insbesondere die Emissionen des Straßenverkehrs **in China stark angestiegen**, wohingegen sie **in der EU und in den USA eher stagnieren**. Dabei

gibt es nach wie vor zwei gegenläufige Trends zu beobachten. Einerseits nimmt durch **technischen Fortschritt die Effizienz der Fahrzeuge zu**, andererseits ist die **Tendenz zu höheren Verkehrsleistungen** ungebrochen. Im Pkw- Bereich heben die Autokäufer mit dem Trend zu großen Fahrzeugen wie SUV die Effizienzgewinne wieder auf. Daher überträgt sich der **technische Fortschritt nur zögerlich auf die globale Emissionsentwicklung**.

Bemerkenswert: Obwohl der **Onlinehandel** in den letzten Jahren stark zugenommen hat, sind die Emissionen der leichten Nutzfahrzeuge nach 2013 weiter gesunken. Dass der zunehmende kleinteilige Lieferverkehr mit sinkenden Emissionen zusammenfällt, lässt auf **Effizienzsteigerungen im Bereich der leichten Nutzfahrzeuge** schließen, die die Auswirkungen der Verkehrszunahme kompensieren.

Der regulatorische Fokus liegt heute überwiegend auf weiteren Effizienzsteigerungen. Der tatsächliche Treibhausgasausstoß eines Fahrzeugs hängt zwar mit dem in der Regulierung betrachteten Emissionspotenzial zusammen, bestimmt sich allerdings auch durch die **Fahrleistungen und durch das Verhalten des Fahrzeugführers**.

### Die Zukunft der Mobilität ist elektrisch: China führend dank hoher Fördermaßnahmen

Strom wird künftig eine zunehmende Rolle bei der Energieversorgung des Straßenverkehrs spielen und zumindest teilweise Benzin und Diesel ersetzen. Viele Regierungen versuchen diesen **Transformationsprozess** durch Fördermaßnahmen zu beschleunigen, wobei sich global gesehen die Förderungen in Norwegen und China als besonders hoch erweisen.

In Summe hat sich China dank der starken industriepolitischen Förderung zum größten Absatzmarkt für Elektrofahrzeuge entwickelt, gefolgt von der EU-28 sowie, mit Abstand, den USA. Es ist zu erwarten, dass Elektroautos im nächsten Jahrzehnt **auch ohne Förderung marktfähig** werden. Gemessen am Gesamtfahrzeugbestand werden sie ihren Anteil aufgrund der langen Lebensdauer von Pkw jedoch nur sukzessive steigern.

### E-Fuels als alternative Speichertechnik

Eine alternative Speichertechnik zur Batterie stellen die sogenannten E-Fuels dar, also gasförmige oder flüssige Kraftstoffe, welche **unter Nutzung von Strom hergestellt** werden. Jede stoffliche Umwandlung erfordert allerdings

den Einsatz von Energie und geht mit **Umwandlungsverlusten** einher.

Durch die **Nutzung von synthetischen Kraftstoffen** steigt der **Strombedarf** des Transportsektors deutlich an. Sie werden dennoch eine wichtige Rolle für **die Energieversorgung des Verkehrs** spielen, da der heutige Stand der Technik nicht absehen lässt, ob Batterien die volumen- und gewichtsspezifischen Energiedichten erreichen, die gerade im Gütertransport oder im Luftverkehr notwendig sind.

### **Sinkender Absatz von Dieselfahrzeugen führt zu mehr Emissionen**

In Deutschland wird die Debatte um die Klimabilanz des Straßenverkehrs derzeit von der Frage der Stickstoffdioxidbelastung bestimmt. Hintergrund sind sowohl der Skandal über **manipulierte Abgasmessungen** bei der Zulassung von Dieselfahrzeugen, als auch mögliche **Fahrverbote** für Dieselfahrzeuge in deutschen Städten. Die Debatte um die Stickoxide wirkt sich massiv auf die **Absatzzahlen** von Dieselfahrzeugen aus. In Deutschland betrug der Dieselanteil an den Neuzulassungen im Dezember 2014 noch 47 % und **sank auf 33 % im Dezember 2017**.

Dieselfahrzeuge stoßen aufgrund effizienterer Verbrennungstechnologie bei vergleichbarer Motorisierung **etwa 15 % weniger CO<sub>2</sub> pro Kilometer aus als Benzinfahrzeuge**. Darüber hinaus werden Diesel-Pkw typischerweise von Verkehrsteilnehmer mit einer hohen jährlichen Fahrleistung genutzt. Der fallende Marktanteil von Dieselfahrzeugen führt also dazu, dass sich die **Energieeffizienz der Neufahrzeuge tendenziell verschlechtert**.


Damit nimmt die Stickoxiddiskussion einen direkten Einfluss auf die Klimabilanz des Straßenverkehrs in Europa und das mit einer langanhaltenden Wirkung. Die **emissionsstärkeren Neuwagen**, die jetzt zugelassen werden, haben eine **Lebenserwartung von etwa 17 Jahren in der EU-28**. Sie werden somit über einen langen Zeitraum die Klimabilanz beeinflussen.

## 1.1 Globale Emissionslage

**Die Entwicklungen im Straßenverkehr stellen die globale und europäische Klimapolitik vor Herausforderungen. Gemessen am Basisjahr 1990 sind die Emissionen der Kraftfahrzeuge gewachsen, und sowohl Verkehrsprognosen als auch Emissions-trends am aktuellen Rand legen nahe, dass die Emissionen erst einmal weiter steigen werden. Das gilt insbesondere für China. In der EU-28 werden die Emissionen des Straßenverkehrs mittelfristig fallen, aber aus heutiger Sicht erscheint es dennoch kaum möglich, die für 2030 gesetzten Klimaziele zu erreichen. Die Herausforderung und die Chance für die künftige Klimapolitik liegt darin, den Straßenverkehr konsistent in eine Gesamtstrategie einzubetten.**

Die globalen Emissionen aus der Verbrennung von nicht erneuerbaren Primärenergieträgern sind seit dem Basisjahr 1990 stark gewachsen. Die Emissionsstatistik der Internationalen Energieagentur (IEA, 2018) weist für den Betrachtungszeitraum 1990 bis 2015 einen Emissionsanstieg von 20,5 Gigatonnen CO<sub>2</sub>-Äq auf 32,3 Gigatonnen aus. Dieser Anstieg entspricht einem Plus von etwa 58 %.

Die Emissionsmengen sind global zwischen den Ländern ungleichmäßig verteilt. Gut zwei Drittel der Emissionsmenge entfallen auf lediglich zehn Staaten. Der mit Abstand größte Emittent ist China mit mehr als neun Gigatonnen beziehungsweise 28,1 %, gefolgt von den USA mit fast fünf Gigatonnen (15,5 %). Die dritthöchsten Emissionen hat Indien mit knapp über zwei Gigatonnen (6,4 %). Diese drei Länder stehen also bereits für die Hälfte der von der IEA erfassten Emissionen. Die EU-28, die eine gemeinsame Klimapolitik verfolgt, kommt auf einen Anteil von 9,9 %. Zusammen machen diese vier Schwergewichte also bereits 60 % der erfassten Emissionen aus. Deutschland folgt in dieser Statistik auf Rang 6 mit 730 Megatonnen.

 **Eine effiziente Klimapolitik ist nur möglich, wenn die EU, China und die USA an einem Strang ziehen.**

Aus klimatologischer Sicht ist der Emissionsort von CO<sub>2</sub> irrelevant. Nur die globalen Gesamtemissionen zählen. Aus klimapolitischer Sicht führt die hohe regionale Konzentration der Emissionen aber zu dem Schluss, dass eine sinnvolle Klimapolitik darauf ausgelegt sein sollte, die wenigen Emissionsschwergewichte zu einem abgestimmten Handeln zu bewegen.

Schlüsselt man die globalen Emissionen nicht nach Emissionsorten sondern nach Sektoren auf (Abbildung 1.1), so zeigt sich, dass bestimmten Sektoren besondere Beachtung zukommen muss. Dabei sind sowohl die absoluten Emissionsmengen, als auch Emissionstrends zu beachten. Einige Sektoren haben über den gesamten Betrachtungszeitraum stark zugelegt. Sie sind als Hauptansatzpunkte für die Klimapolitik zu betrachten.

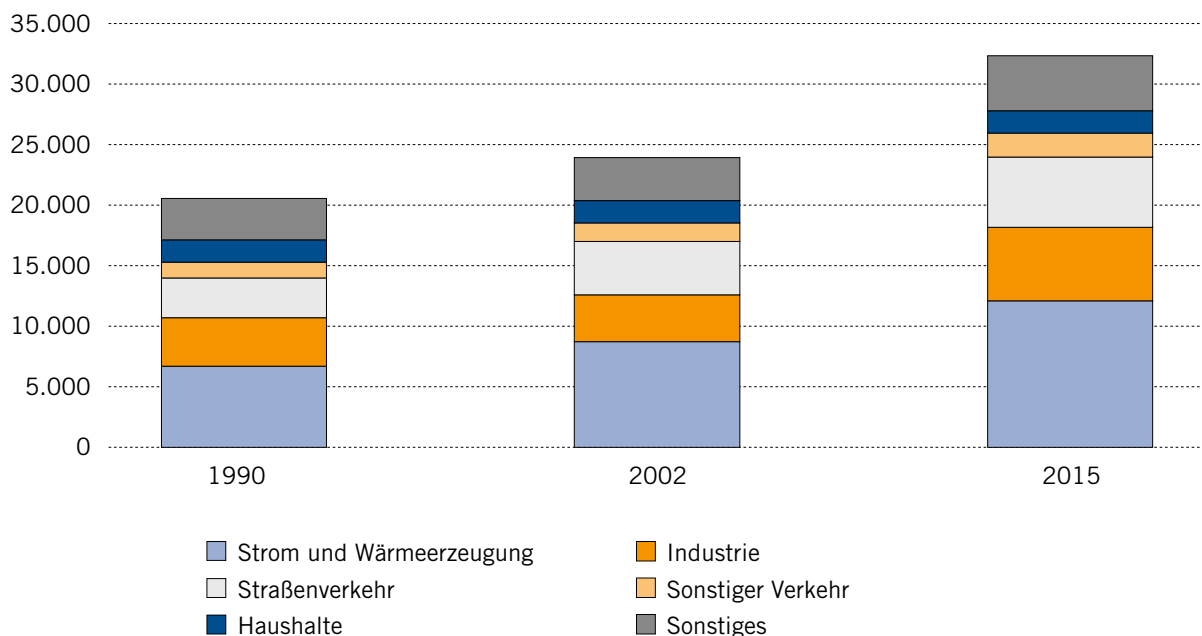
Die globalen CO<sub>2</sub>-Äq-Emissionen der Strom- und Wärmeerzeugung beliefen sich laut aktueller Zahlen der IEA im Jahr 2015 auf gut zwölf Gigatonnen und lagen damit etwa 80 % über dem Vergleichswert des Basisjahres. Im Zeitraum ab 2002 hat sich der Emissionsanstieg in diesem Sektor beschleunigt. Dieser globale Trend wird vor allem durch wirtschaftliche Aufholprozesse im asiatischen Raum gestützt. Wachsender Wohlstand geht mit einer erhöhten Energienachfrage einher und wurde in China und Indien in der Vergangenheit überwiegend mit Hilfe von Kohlekraftwerken befriedigt. Die vergleichsweise hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen pro erzeugter Kilowattstunde Strom spiegeln dies wider.

Nach Emissionsgesichtspunkten ist der Industriesektor mit etwas über sechs Gigatonnen ebenfalls ein Schwergewicht. Betrachtet man diesen Sektor, so fällt auf, dass die globalen Emissionen nach IEA-Statistik in der ersten Hälfte des Betrachtungszeitraums sogar leicht gefallen sind, um dann schneller zuzulegen als jede andere Kategorie. Diese Beobachtung erklärt sich vor allem durch den industriellen Kollaps der ehemaligen Zentralverwaltungswirtschaften in den frühen 90er Jahren und die schnelle Zunahme der Industrieproduktion in Asien nach der Jahrtausendwende.

Der dritte relevante Sektor ist der Straßenverkehr, der im Fokus der kommenden Ausführungen stehen soll. Der Straßenverkehr verantwortet die Masse der Emissionen des Transportsektors, die insgesamt mit 7,7 Gigatonnen veranschlagt werden. Die schnell wachsenden Emissionen der internationalen Luft- und Seefahrt werden in diesen Wert nicht eingerechnet, sondern lediglich nachrichtlich erwähnt. Der Grund für ihren Ausschluss liegt darin, dass diese Emissionen gemäß den seit dem Abschluss des Kyoto-Protokolls üblichen Konventionen keinem Land zugeordnet werden können und daher auch vom Pariser Klimaabkommen ignoriert werden. Zusammen kommen internationale Luft- und Seefahrt im Jahr 2015 auf Emissionen von etwas unter 1,2 Gigatonnen. Gemessen am Jahr 1990 weisen sie die höchsten Wachstumsraten aller Sektoren auf, was in der zunehmenden globalen Vernetzung begründet liegt.

Das Rückgrat der Mobilität ist der Straßenverkehr und dementsprechend bedeutend ist er für die Klimadebatte.

Abbildung 1.1: Weltweite Emissionsentwicklung nach Sektoren, Angaben in Millionen Tonnen



Quelle: IEA, 2017, CO<sub>2</sub>-Emissions from Fuel Combustion

Weltweit rechnet die IEA Emissionen im Umfang von 5,8 Gigatonnen dem Straßenverkehr zu. Damit werden im Jahr 2015 etwa 18 % der Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger dem Straßenverkehr zugewiesen. Im Betrachtungszeitraum von 1990 bis 2015 sind die Emissionen des Straßenverkehrs um etwa 75 % gestiegen, was aus globaler Sicht einem kontinuierlichen Anstieg entspricht.

➔ **Ohne deutliche Veränderungen in China können die globalen Emissionen des Straßenverkehrs nicht sinken.**

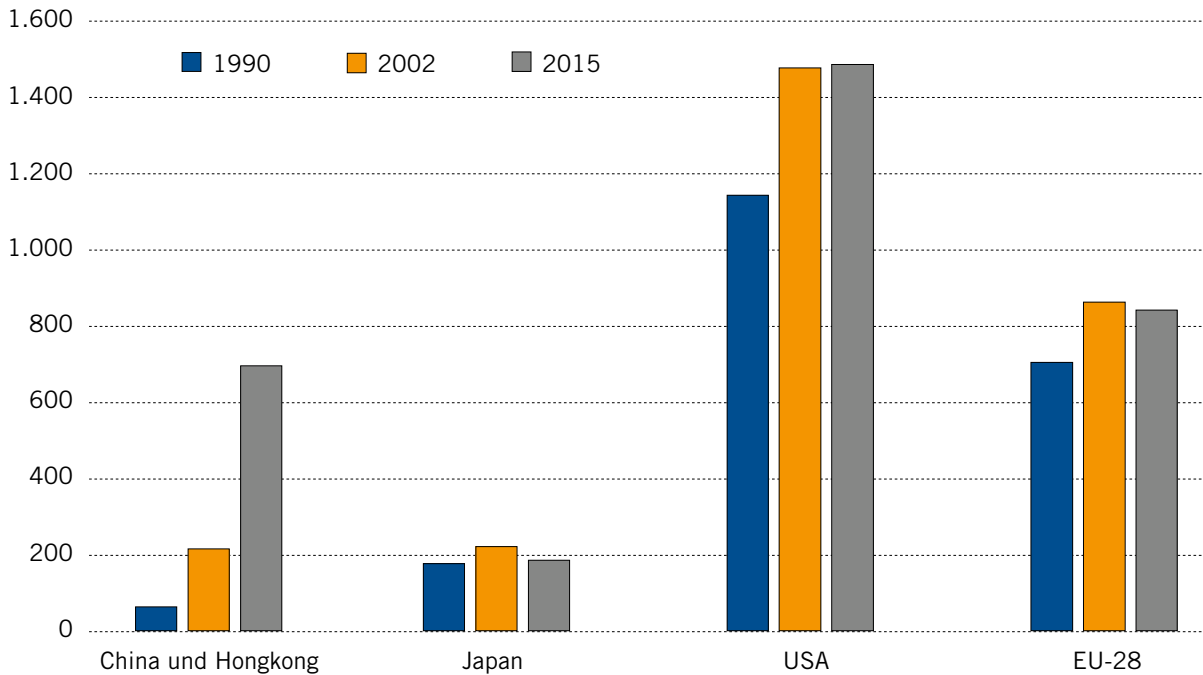
Eine regional differenzierte Betrachtung zeigt, dass die Emissionstrends in den emissionsstärksten Regionen sehr unterschiedlich verlaufen (Abbildung 1.2). Die mit Abstand größten Emissionen im Straßenverkehr weisen die USA auf. Sie werden zuletzt auf etwa 1,5 Gigatonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr veranschlagt. Damit bewegen sich die Emissionen in etwa auf dem Niveau des Jahres 2002, aber deutlich über dem von 1990. Während die USA zuletzt auf stagnierende Emissionen des Straßenverkehrs verweisen können, verzeichneten die EU-28 und Japan sogar Rückgänge gegenüber dem Jahr 2002. Zudem war der Emissionszuwachs in den 90er Jahren schwächer als

in den USA. Allerdings ist für die EU anzumerken, dass der Rückgang der Emissionsmenge mit dem Beginn der ökonomischen Krise im Jahr 2008 zusammenhängt und die Emissionen zuletzt wieder stiegen.

➔ **Verkehrsströme sind die Folge von privaten und geschäftlichen Standortentscheidungen.**

Während die Länder der klassischen Triade – bestehend aus den Wirtschaftsräumen der NAFTA, der EU-28 und Japans – überwiegend Emissionsrückgänge seit dem Jahr 2002 verzeichneten, kam es in China oder im ASEAN Raum zu einem rasanten Anstieg. Im Jahr 2015 emittierten die chinesischen Kraftfahrzeuge gut 700 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> und das Emissionswachstum ist ungebremst. So legten die Emissionen im Jahr 2015 um 9,3 % zu. Das entspricht einem absoluten Zuwachs um fast 60 Millionen Tonnen beziehungsweise etwa 40 % der Gesamtemissionen des deutschen Straßenverkehrs.

Die Nachfrage nach Mobilitätsleistungen des Straßenverkehrs ist stets eine aus der wirtschaftlichen Entwicklung abgeleitete Größe. Die Fortbewegung ist nicht der eigentli-

Abbildung 1.2: CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs in wichtigen Ländern, Angaben in Millionen Tonnen

Quelle: IEA, 2018

che Zweck, sondern die Folge von individuellen, geschäftlichen und politischen Entscheidungen. Das betrifft insbesondere die Siedlungs- und Wirtschaftsstruktur, das Wirtschaftswachstum und weitere Faktoren. Diese Entscheidungen legen den Mobilitätsbedarf langfristig fest und es ist für den Einzelnen in der Regel schwierig, diese Entscheidungen kurzfristig anzupassen. Die Bereitschaft, den Wohn- oder Arbeitsort aufgrund von Veränderungen der Rahmenbedingungen, wie beispielsweise höhere Mineralölsteuern, zu wechseln, ist äußerst gering. Andere Faktoren, wie die soziale Verankerung am Wohnort oder auch der Arbeitsort des Partners sind bei diesen zentralen Festlegungen für den Lebenswandel entscheidender. Mobilität ist für die Menschen vor allem die Möglichkeit, die verschiedenen Aspekte ihres Lebens miteinander zu vernetzen. Sie ist wichtig für die Menschen, aber sie ist kein Selbstzweck und eine abhängige Größe. Folgerichtig genießt Mobilität eine hohe Wertschätzung in der Bevölkerung als Befähiger für den eigenen Lebenswandel, weshalb politische Eingriffe zu Einschränkungen des Verkehrs für die Masse der Bevölkerung schwer zu akzeptieren sind.

Das Gleiche gilt beim Güterverkehr – Transportleistungen sind als Vorleistung zu verstehen. Es gibt Branchen, die ihre Standorte anhand der Verkehrsanbindung aus-

chen, Stahlwerke etwa. Für die meisten Unternehmen sind Transportfragen jedoch ein Standortfaktor unter vielen. Auch sie werden wegen Veränderungen an Mobilitätsangeboten nicht kurzfristig ihren Standort oder ihr komplettes Logistiksystem verändern.

Mit der Implementierung des EU-Binnenmarktes war die europäische Politik in den letzten 25 Jahren Treiber für höhere Mobilität. Die EU wurde mehrfach erweitert, der Binnenmarkt geschaffen und transnationale Produktionsnetzwerke gefördert. Diese Entscheidungen waren nicht verkehrspolitisch begründet, aber sie haben einen Rahmen geschaffen, in dem die Verkehrsmengen anstiegen. Zusätzlich fand nach dem Mauerfall 1990 in Osteuropa ein signifikantes Aufholen der Teilhabe an Mobilität statt. Große Bevölkerungsgruppen hatten nun erstmals die Möglichkeit, einen PKW zu erwerben.

Vor diesem Hintergrund ist die gesonderte und isolierte Diskussion verkehrspolitischer Fragestellungen nicht zielführend. Einflüsse außerhalb des Verkehrssektors bestimmen maßgeblich, wo und wieviel Verkehr entsteht, und somit auch dessen Emissionen.

## 1.2 Die Emissionslage in der EU-28

**Die Emissionstrends in Europa weichen an verschiedenen Stellen von der Weltlage ab, dies gilt unter anderem für die Emissionen des Straßenverkehrs. Bei der europäischen Betrachtung kann auf einen detaillierteren Datensatz zurückgegriffen werden, welcher von der EU als Meldung an das UNFCCC (EEA, 2017) übermittelt wird. Dieser Datensatz erlaubt es, die Emissionen des europäischen Straßenverkehrs weiter zu differenzieren und beispielsweise gesonderte Betrachtungen über die Emissionsentwicklung von Güter- und Personenverkehr anzustellen.**

In der EU-28 sind die absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen seit dem Jahr 1990 um etwa 1,4 Gigatonnen zurückgegangen. Die größten Minderungen bei den Emissionen konnten im Industriesektor und bei der öffentlichen Energieerzeugung erzielt werden, wobei dies stark auf den Wegfall entsprechender Anlagen in Osteuropa zurückzuführen ist. Ebenso verringerten Haushalte und Landwirtschaft ihre Emissionsmenge zwischen 1990 und 2015.

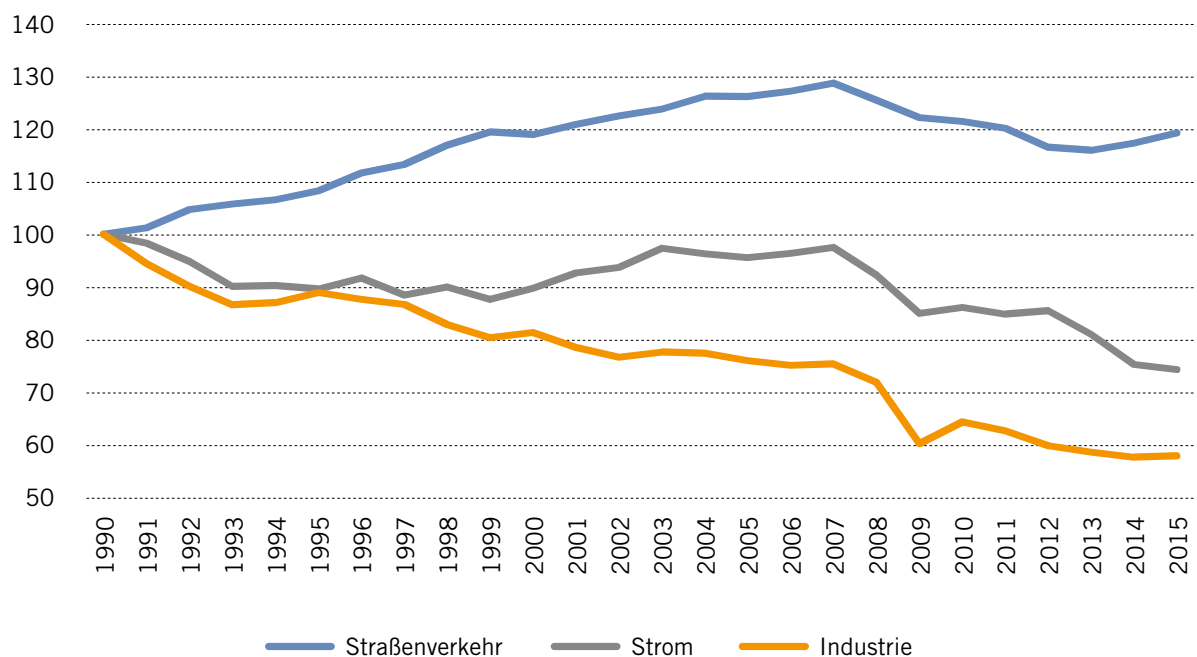
**➔ In der EU-28 sind die absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen seit dem Jahr 1990 um etwa 1,4 Gigatonnen zurückgegangen.**

Vergleicht man die zeitliche Emissionsentwicklung im Straßenverkehr mit der in den Bereichen der öffentlichen Strom- und Wärmeproduktion sowie der Industrie (Abbil-

dung 1.3), dann treten deutliche Unterschiede zutage, die Hinweise darauf liefern, warum die Emissionsentwicklung im Straßenverkehr vergleichsweise ungünstig verlaufen ist.

Die Emissionsmenge anderer Sektoren konnte in den frühen 90er Jahren vom Zusammenbruch der Zentralverwaltungswirtschaften profitieren, der Straßenverkehr aber nicht. In Osteuropa begannen große Bevölkerungsschichten an privater Mobilität teilzuhaben und sich an die im Westen etablierten Verkehrsstrukturen anzupassen. Das bedeutete eine sichtbare Verkehrsverlagerung von der Schiene auf die Straße und eine deutliche Zunahme von Pkw in Privathand. Zudem wurde die Verflechtung der europäischen Wirtschaft vorangetrieben. Der Binnenmarkt wurde 1993 eingerichtet und im Jahr 2004 kam es zur ersten EU-Osterweiterung. Die voranschreitende Vernetzung der europäischen Wirtschaft ging mit einer Zunahme des Güterverkehrs einher. Durch stei-

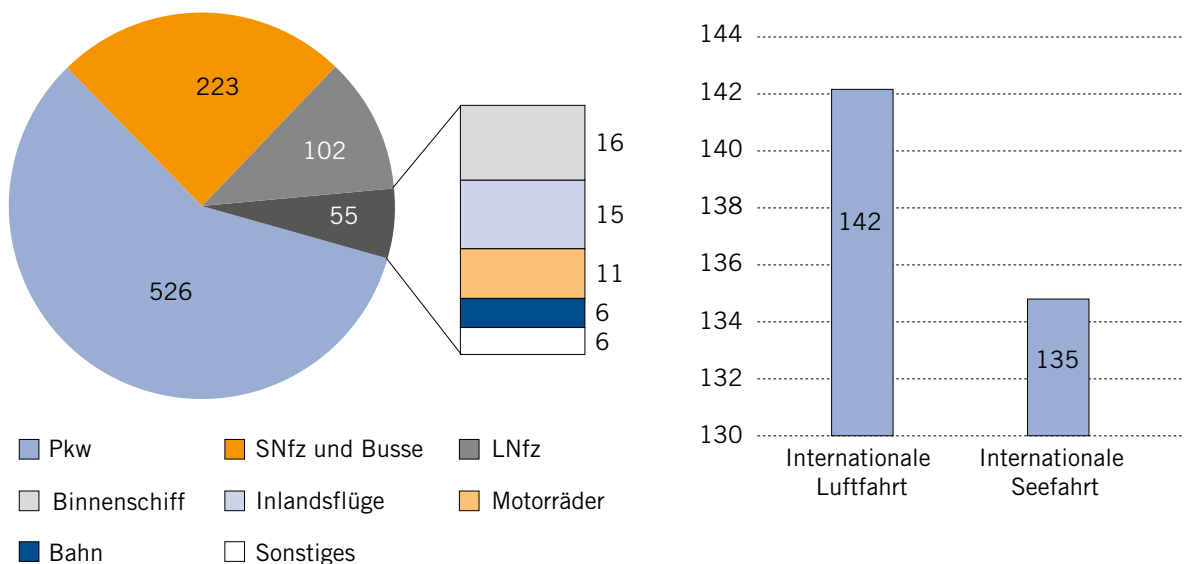
**Abbildung 1.3: Sektorale Emissionsentwicklung in der EU-28, 1990 = 100**



Quelle: EEA, 2017



**Abbildung 1.4: Emissionen des Verkehrssektors in der EU-28, Angaben in Millionen Tonnen**



Quelle: EEA, 2017

gende Einkommen in großen Teilen der EU-28 nahm der Motorisierungsgrad ebenfalls zu. Die wirtschafts- und gesellschaftspolitische Agenda nach 1990 bedingte eine Zunahme des Verkehrs. Die Nachfrage nach Verkehrsleistungen wurde deutlich gesteigert, und dieser Volumeneffekt hat die technologiegetriebenen Effizienzfortschritte im Straßenverkehr bei weitem überkompensiert.

Der Verkehrssektor – ohne internationale Luft- und Seefahrt – hat seine Emissionen daher spürbar ausgeweitet. Das ist vor allem auf die Emissionen des Straßenverkehrs zurückzuführen, welcher mehr als 95 % der Verkehrs-

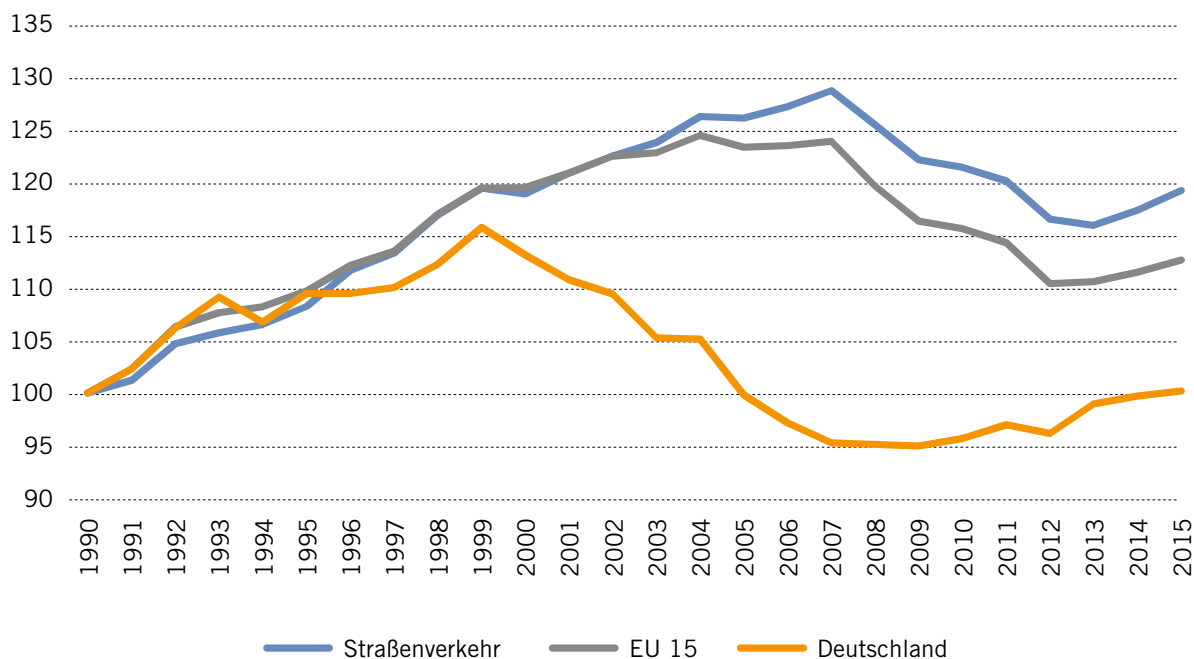
emissionen in der EU-28 ausmacht. Der Bahnverkehr hat im gleichen Zeitraum seine Emissionen mehr als halbiert. Die zunehmende Elektrifizierung des Bahnverkehrs spielte hier eine bedeutende Rolle, da elektrische Bahnen als Null-Emissionsfahrzeuge behandelt und die tatsächlich anfallenden Emissionen dem Stromsektor zugerechnet werden. In der Folge ist der innereuropäische Luftverkehr inzwischen der zweitgrößte Emittent im Verkehrssektor – mit etwa 14 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äq im Jahr 2015. Aufgrund der in Abbildung 1.4 dargestellten dominanten Stellung des Straßenverkehrs in Bezug auf die Emissionen des Verkehrssektors in der EU-28, bezie-

**Tabelle 1.1: Ist-Werte für 1990 und 2014, Mindestziele für 2030 laut Klimaschutzplan des Bundes**

Handlungsfeld	Emissionen (in Mio. t CO <sub>2</sub> Äquivalent)			Reduktion pro Jahr durchschnittlich		Erforderliche Beschleunigung um Faktor
	1990	2014	Ziel 2030	Bislang (1990–2014)	Zukünftig (2014–2030)	
Energiewirtschaft	466	358	175	-1,1 %	-4,1 %	3
Gebäude	209	119	70	-2,3 %	-3,1 %	1
Verkehr	163	160	95	-0,1 %	-3,0 %	39
Industrie	283	181	140	-1,8 %	-1,5 %	0
Landwirtschaft	88	72	58	-0,8 %	-1,0 %	1
Sonstige	39	12	5	-4,8 %	-4,1 %	1
<b>Gesamtsumme</b>	<b>1.248</b>	<b>902</b>	<b>543</b>	<b>-1,3 %</b>	<b>-2,9 %</b>	<b>2</b>

Quelle: Bundesregierung, eigene Berechnungen

Abbildung 1.5: Emissionsentwicklung in der EU-28, 1990 = 100



Quelle: EEA, 2017

hen sich die folgenden Ausführungen jedoch ausschließlich hierauf.

Im Jahr 1990 wurden ihm Emissionen im Umfang von 723 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> zugerechnet. Den bisherigen Emissionspeak verzeichnete die EU-28 im Jahr 2007 mit 931 Millionen Tonnen. Im Zuge der Weltwirtschaftskrise sank die Wirtschaftsleistung in großen Teilen Europas spürbar, wodurch die Emissionen zurückgingen. Im Jahr 2013 waren die Emissionen des Straßenverkehrs auf 838 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> gesunken. Die erneute Trendwende in 2015 ließ die jährlichen Emissionen wieder ansteigen auf 862 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>. Es ist davon auszugehen, dass sie auch im Jahr 2016 weiter gestiegen sind.

**➔ Der Straßenverkehr steht für 95 % der Emissionen des EU-28 Transportsektors und seine Emissionen steigen derzeit wieder.**

Besonders erwähnenswert ist der Emissionswert des Jahres 2005, der bei 912 Millionen Tonnen lag. Bei ihrer klimapolitischen Zielsetzung für den Straßenverkehr be-

zieht sich die EU-28 auf dieses Jahr als Basis bezieht. Bis zum Jahr 2030 sollen die Emissionen des Straßenverkehrs in der EU-28 laut der Lastenverteilungsverordnung um 30 % gegenüber 2005 sinken. Im Jahr 2015 betrug der erreichte Rückgang knapp 5,5 %, Tendenz derzeit fallend. Das ursprünglich gesetzte Zwischenziel von minus 10 % bis 2020 dürfte unerreichbar sein und die Zahlen legen eine deutliche klimapolitische Zielverfehlung im Straßenverkehr nahe. Deutschland hat sich im Klimaschutzplan 2050 ein noch ambitionierteres Ziel gesetzt. Die Bundesregierung will die Emissionen des Verkehrssektors zwischen 2005 und 2030 sogar um mehr als 40 % senken, wie in Tabelle 1 dargestellt.

Die anderen Non-ETS-Sektoren haben in diesem Rahmen ebenfalls Klimaziele zugewiesen bekommen, welche über die EU-Vorgaben hinausgehen. Aber die Reduktionsverpflichtung des Verkehrs sticht heraus, da kein anderer Sektor sein Reduktionstempo derartig beschleunigen müsste, um die nationalen Ziele zu erreichen. Im Falle des Verkehrs wäre eine jährliche Minderungsrate von gut 3 % nötig, was eine Beschleunigung des Reduktionstempos um den Faktor 39 erfordern würde.

Auch auf der Ebene der EU-28 steht der Verkehr vor großen Herausforderungen. Der bisherige Regulierungs-

rahmen auf Basis der selbst gesetzten Sektorziele führt nicht zu den gewünschten Resultaten. Sollte bis zum Jahr 2050 ein Zielwert von minus 95 % Emissionen für die gesamte Volkswirtschaft angestrebt werden, müssten die Emissionen des kompletten Verkehrssektors auf Null gesenkt werden.

Eine regional differenzierte Betrachtung der Emissionsentwicklung in der EU-28 fördert wesentliche Unterschiede zutage. Betrachtet man die Entwicklung im Straßenverkehr als Zeitreihe (Abbildung 1.5), so zeigt sich, dass sie in der EU-28 zwar einen kontinuierlichen Anstieg zwischen 1990 und 2007 aufweist, es aber regionale Unterschiede gibt. So gingen die Emissionen des Straßenverkehrs in den Ländern der EU-15 (ohne Deutschland) bereits ab etwa 2004 in eine Stagnationsphase über, um dann nach 2007 stark zurückzugehen. Nach 2004 fand das Emissionswachstum nur noch in den osteuropäischen Beitrittsländern statt.

Eine Ausnahme stellt die Emissionsentwicklung in Deutschland dar. Hierzulande peakeden die Emissionen bereits im Jahr 1999 und gingen dann bis 2007 deutlich zurück. Diese Sonderentwicklung ist stark auf Veränderungen im Straßengüterverkehr zurückzuführen. Die Emissionen des Güterverkehrs stiegen in den 90er Jahren in Deutschland um 55 % bei schweren Nutzfahrzeugen (SNfz) und 92 % bei leichten Nutzfahrzeugen (LNfz) an, während der Pkw-Verkehr seine Emissionen nur um 2 % steigerte. Nach der Jahrtausendwende gingen die Emissionen der SNfz stark zurück, während die LNfz langsam weiter zulegten. Im Jahr 2005 standen die SNfz nur noch bei einem Plus von 15 % gegenüber 1990. Aber auch der Pkw-Verkehr begann ab 1999 Emissionsrückgänge auszuweisen und erreichte im Jahr 2005 einen Wert von 90 % der Emissionen von 1990 (EEA, 2017).

Für den drastischen Rückgang im Güterverkehr sind verschiedene Gründe denkbar. Eine mögliche Erklärung liegt in einer relativen Kraftstoffpreisveränderung zum Ausland, denn die Trendumkehr fällt mit der Einführung der Ökosteuer in Deutschland zusammen. Es ist möglich, dass Lkw im Seehafenhinterlandverkehr bis zur Jahrtausendwende in Deutschland tankten und anschließend dann erst hinter der Grenze in Belgien oder den Niederlanden. Ebenso ist es denkbar, dass die zurückgehenden Verbräuche der Lkw sich in höheren Reichweiten niederschlugen, was ebenfalls zu einer Verlagerung getankter Mengen ins Ausland führen kann. Nicht zu vergessen ist der deutliche Einbruch der Baukonjunktur in Deutschland zur Jahrtausendwende. Da die Bauindustrie gemessen an der transportierten Tonnage der größte Kunde des

Straßengüterverkehrs ist, wird auch dies deutliche Spuren hinterlassen haben. All diese Aspekte mögen dabei eine Rolle gespielt haben, dass der deutsche Straßenverkehr einen Emissionsrückgang zu der Zeit ausweisen konnte, in der es zu einem wirtschaftlichen Erholungsprozess kam, um dann ab 2009 wieder sichtbar anzusteigen.

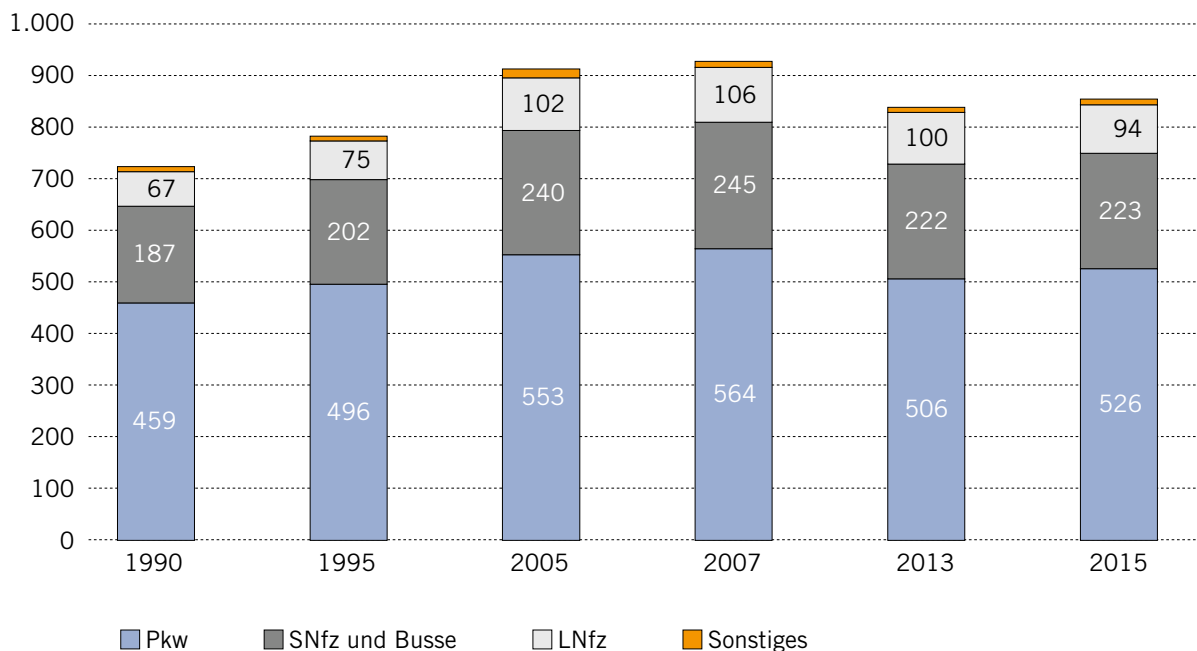
## Der Pkw-Verkehr sorgt heute mit 61 % für den Großteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs.

Die Masse der Emissionen in der EU-28 ist nach wie vor dem Pkw-Verkehr zuzurechnen (Abbildung 1.6). Im Jahr 2015 hatte der Pkw-Verkehr einen Anteil von gut 61 % an den Emissionen des Straßenverkehrs. Das ist ein Rückgang von etwa 2,5 Prozentpunkten gegenüber dem Jahr 1990. Die Emissionen des Güterverkehrs legten also stärker zu als die des Pkw-Verkehrs.

Besonders stark ist das Emissionswachstum bei den leichten Nutzfahrzeugen (LNfz) mit weniger als 3,5 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht ausgefallen. Diese Fahrzeugkategorie steigerte ihre Emissionen zwischen 1990 und 2007 um annähernd 66 %. Mit Beginn der wirtschaftlichen Probleme in der EU-28 in 2008 kam es dann zu einem Rückgang der Emissionen. Beachtenswert ist, dass die Emissionen der LNfz nach 2013 weiter gesunken sind, und dies in Anbetracht des zunehmenden Onlinehandels und des damit verbundenen kleinteiligen Lieferverkehrs. Hier wäre von einer Steigerung der Emissionen auszugehen gewesen. Der zunehmende Verkehr fällt mit sinkenden Emissionen zusammen, was auf Effizienzsteigerungen im Bereich der LNfz schließen lässt.

In der Gruppe der schweren Nutzfahrzeuge und Busse (SNfz) ist ein vergleichsweise hohes Emissionswachstum in der EU-28 zu verzeichnen. Zwischen 1990 und 2007 legten die Emissionen um über 30 % zu. Anschließend führte die sich verschlechternde wirtschaftliche Lage in vielen EU-Staaten zu einem deutlichen Rückgang der Emissionen und seit 2013 ist eine Seitwärtsbewegung in diesem Bereich zu beobachten. Hier ist ebenso von Effizienzverbesserungen bei den SNfz auszugehen.

Die Emissionen des Pkw-Verkehrs legten zwischen 1990 und 2007 um fast 23 % zu, also deutlich weniger als im Güterverkehr bei den LNfz mit 66 % und den SNfz mit 30 %. Die Pkw-Emissionen brachen mit Beginn der wirtschaftlichen Turbulenzen ein und reduzierten sich um

**Abbildung 1.6: Emissionsentwicklung in der EU-28 nach Fahrzeugklassen – in Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>**


Quelle: EEA, 2017

mehr als 10 % bis 2013. Beachtenswert ist, dass der Emissionsanstieg im europäischen Straßenverkehr nach 2013 ausschließlich auf den Pkw-Verkehr zurückzuführen ist.

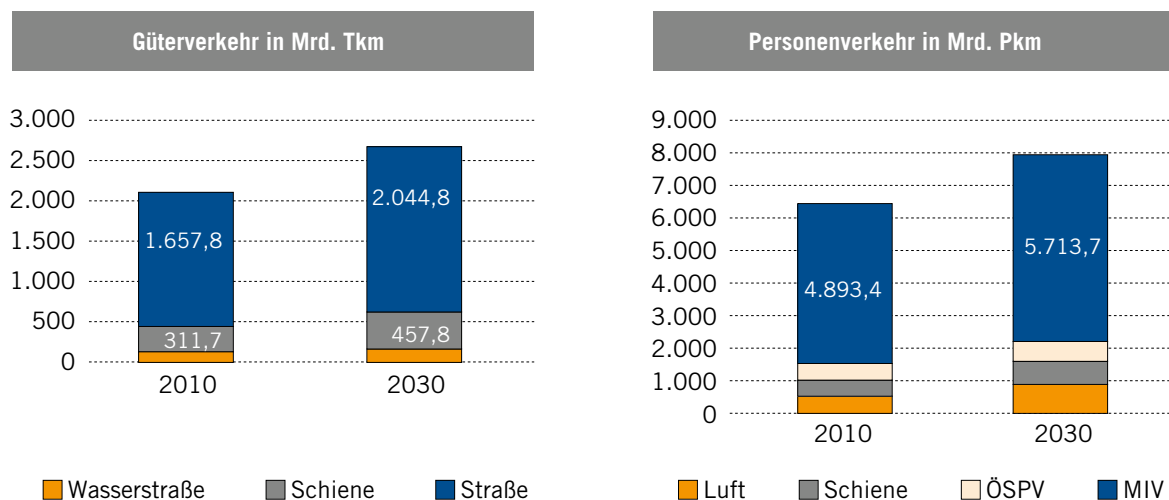
➔ **Ab 2007 hat sich die Effizienz des Pkw-Verkehrs verbessert – bei 2,7 % mehr Personenkilometern gingen die Emissionen um 7 % zurück.**

Ein Abgleich mit der Entwicklung der Verkehrsleistung im europäischen Straßenverkehr kann einige Auskünfte darüber geben, wie sich die Transporteffizienz in der Vergangenheit entwickelt hat. Die Verkehrsleistung wird in Personen- beziehungsweise Tonnenkilometern angegeben. Sie ist also das Produkt aus dem Transportvolumen in Personen oder Tonnen und der zurückgelegten Entfernung. Sie berücksichtigt eine Zunahme von zurückgelegten Strecken und wird typischerweise verwendet, wenn die Entwicklung von Verkehrsmengen untersucht werden soll. Eine Betrachtung über den Zeitraum von 1990 bis 2015 ist nicht möglich, da erst ab dem Jahr 1995 Verkehrsleistungsdaten für alle Staaten der EU-28 vorliegen.

Auch ist eine Differenzierung zwischen LNfz und SNfz nicht möglich (Odyssee Database, 2018).

Der Pkw-Verkehr weist für den Zeitraum zwischen 1995 und 2007 eine Erhöhung der Verkehrsleistung um etwa 17,7 % aus. Im gleichen Zeitraum stiegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Pkw-Verkehrs um knapp 14 % an, was auf eine leichte Verbesserung der Transporteffizienz im motorisierten Individualverkehr in diesem Zeitraum hinweist. Das ändert sich in den Folgejahren deutlich, denn die Personenverkehrsleistung legte zwischen 2007 und 2015 nochmals um 2,7 % zu, die Emissionen gingen aber um fast 7 % zurück.

Für den Straßengüterverkehr zeichnet sich ein anderes Bild ab. Zwischen 1995 und 2007 stieg die Transportleistung in Tonnenkilometern um fast 50 % an, die kombinierten Emissionen von LNfz und SNfz legten um 34,5 % zu. Im Straßengüterverkehr konnte also eine deutliche Effizienzsteigerung erzielt werden. Mit dem Beginn der Krisenjahre ab 2007 begann die Transportleistung zurückzugehen. Zwischen 2007 und 2015 sank sie um etwas mehr als 8 % ab und deckt sich mit dem generell zu beobachtenden Emissionsrückgang. Der Straßengüterverkehr konnte keine weiteren Effizienzsteigerungen mehr erzielen. Grund hierfür ist, dass im Straßengüter-

**Abbildung 1.7: Verkehrsprognosen für die EU-28 für den Zeitraum 2010 bis 2030**


Quelle: Prognos 2017; EU Kommission 2014

verkehr neben der technischen Weiterentwicklung der eingesetzten Fahrzeuge noch eine weitere Größe Einfluss auf die Emissionseffizienz hat: die Fahrzeugauslastung. Die Emissionseffizienz sinkt, wenn Fahrzeuge mit einer geringen Auslastung oder leer fahren.

In Anbetracht der wirtschaftlichen Entwicklung in Europa nach dem Jahr 2007 ist davon auszugehen, dass es zwei einander widerstrebende Einflüsse auf die Emissionen des Straßengüterverkehrs gab. Die Effizienz der Neufahrzeuge verbesserte sich, während der Auslastungsgrad im Betrieb durch weniger Frachten sank. Vieles spricht dafür, dass bei einer wirtschaftlichen Erholung die Auslastung wieder steigt und der zu erwartende Anstieg des Güterverkehrs nicht vollumfänglich auf die Emissionsstatistik durchschlagen wird.

**→ Der Straßengüterverkehr wird europaweit im Zeitraum von 2010 bis 2030 um 24 % wachsen.**

Die Wachstumserwartungen für den Straßengüterverkehr wurden in den letzten Jahren zwar zurückgenommen, aber dennoch gehen aktuelle Prognosen von einer deutlichen Steigerung der Verkehrsmengen aus. Eine aktuelle Prognose von 2017 (Güterverkehr) und 2014 (Personenverkehr) ist in Abbildung 1.7 wiedergegeben. Sie geht von einer deutlichen Nachfragesteigerung nach Gütertransporten bis zum Jahr 2030 aus. Insgesamt soll die

Transportleistung künftig in etwa im Gleichklang mit dem Bruttoinlandsprodukt steigen. Für den Zeitraum zwischen 2010 und 2030 wird in Summe mit einem Plus von fast 24 % im Straßengüterverkehr gerechnet (Prognos, 2017). Es wird davon ausgegangen, dass der Straßengüterverkehr seine Verkehrsleistung um mehr Tonnenkilometer steigert, als die Schiene im Jahr 2010 insgesamt transportiert hat. Das zeigt deutlich, dass mögliche Verkehrsverlagerungen nur einen kleinen Baustein in der Klimapolitik darstellen können.

Für den motorisierten Individualverkehr (MIV) wird ebenfalls ein deutliches Wachstum erwartet, wobei die Zuwächse primär im osteuropäischen Raum erwartet werden, wo sich die Fahrgewohnheiten kontinuierlich an die in Westeuropa annähern. Zudem wird ein Wachstum des Öffentlichen Straßenpersonensverkehrs (ÖSPV) um etwa 16 % vorhergesagt. Durch die Wachstumserwartungen verschärft sich die Herausforderung für die Klimapolitik im Straßenverkehr noch einmal drastisch.

## 1.3 Exkurs: Stickoxidbelastung in Europa

**In Deutschland wird die Debatte um die Klimabilanz des Straßenverkehrs derzeit von der Frage der Stickstoffdioxidbelastung überschattet. Hintergrund der Debatte sind sowohl der Skandal über manipulierte Abgasmessungen bei der Typzulassung von Dieselfahrzeugen, als auch mögliche Fahrverbote für Dieselfahrzeuge in deutschen Städten, die das Bundesverwaltungsgericht im Februar 2018 prinzipiell für möglich erklärt hat. Die Debatte um die Stickoxide wirkt sich derzeit massiv auf die Absatzzahlen von Dieselfahrzeugen aus. Ihr Marktanteil sinkt europaweit drastisch. In Deutschland betrug der Dieselanteil an den Neuzulassungen im Dezember 2014 noch 47 % und sank auf 33 % im Dezember 2017. Dieselfahrzeuge stoßen aber bei vergleichbarer Motorisierung etwa 15 % weniger CO<sub>2</sub> pro Kilometer aus als Benziner. Das ist ihrer effizienteren Verbrennungstechnologie geschuldet. Es kommt erschwerend hinzu, dass Diesel-Pkw typischerweise von Personen genutzt werden, die eine hohe jährliche Fahrleistung haben.**

Damit nimmt die Stickoxiddiskussion einen direkten Einfluss auf die Klimabilanz des Straßenverkehrs in Europa und das mit einer durchaus langanhaltenden Wirkung. Die emissionsstärkeren Neuwagen, die jetzt zugelassen werden, haben eine Lebenserwartung von etwa 17 Jahren in der EU-28. Sie werden somit über einen langen Zeitraum die Klimabilanz beeinflussen. Daher ist es an dieser Stelle angebracht, auch auf die Frage der Stickoxidbelastung einzugehen.

**➔ Der fallende Marktanteil von Dieselfahrzeugen führt dazu, dass sich die Energieeffizienz der Neufahrzeuge tendenziell verschlechtert und dadurch 15 % mehr CO<sub>2</sub> pro km emittiert wird.**

Wie bei allen klassischen Schadstoffen hat sich die Emissionslage in der EU-28 in Bezug auf Stickoxide (NO<sub>x</sub>) seit dem Jahr 1990 verbessert (Abbildung 1.8). Im Basisjahr wurden in der EU-28 etwa 17,5 Megatonnen NO<sub>2eq</sub> ausgestoßen. Davon waren etwa 7,4 Megatonnen dem Straßenverkehr zuzurechnen, was einem Anteil von gut 42 % an der Gesamtemissionsmenge entsprach. Seither sind die Emissionen in allen volkswirtschaftlichen Sektoren drastisch gefallen. Für die EU-28 schlägt eine Emissionsreduktion bis 2015 um 56 % zu Buche. Die Gesamtemissionsmenge des Jahres 2015 lag mit 7,75 Megatonnen nur noch knapp über den Emissionen des Straßenverkehrs im Jahr 1990. Der Straßenverkehr konnte seine Emissionsmenge um etwas mehr als 60 % reduzieren und verursachte im Jahr 2015 Emissionen von etwas mehr als 2,9 Megatonnen.

Im Falle des Straßenverkehrs ist das primär auf die Einführung der Schadstoffnormen Euro 1–6<sup>1</sup> zurückzuführen.

Diese Zulassungsnormen beschränkten die Emissionen von Neufahrzeugen im europäischen Normtest (NEFZ). Die zulässige Emissionsmenge sank seit der Einführung der Euro-Normen um etwa 97 %. Nach Euro 6 zugelassene Dieselfahrzeuge sollten im Normtest nur noch 80 Mikrogramm NO<sub>2</sub> pro Kilometer ausstoßen. Fahrzeuge, welche die Euro 6d-Norm erfüllen, müssen diesen Wert nach einem neuen Testzyklus (WLTP) und in einem Straßentest (RDE) einhalten. Um Euro-Normen beziehungsweise deren amerikanisches Äquivalent entzündete sich der VW-Skandal im Jahr 2015, in dem nachgewiesen wurde, dass bei der Emissionsmessung getäuscht worden war. Die Nachrüstung von Fahrzeugen, die unter Vorspiegelung falscher Tatsachen die Zulassung erhalten hatten, steht im Fokus der Debatte um mögliche Kompensationen.

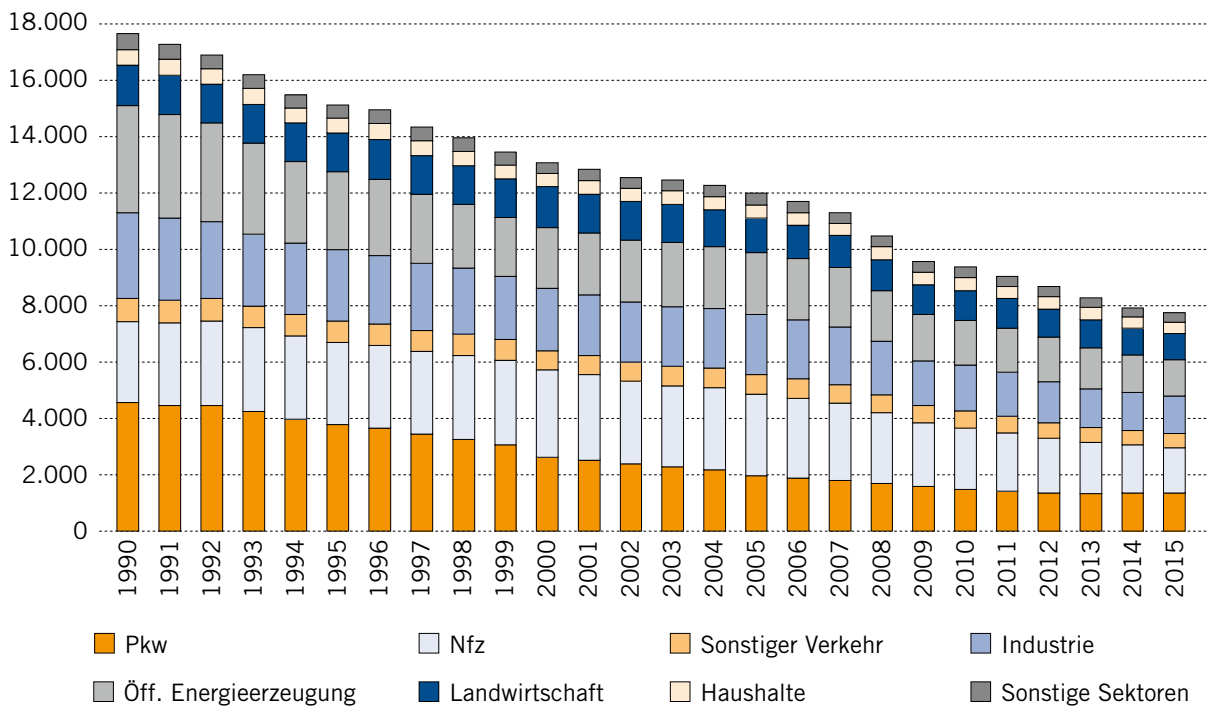
Neben der Emissionsgesetzgebung in Form der Euro-Normen existiert in der EU-28 eine Immissionsgesetzgebung, die im Rahmen der EU-Umgebungsluftrichtlinie erlassen wurde. In dieser Richtlinie wurden verschiedene Immissionsgrenzwerte für Schadstoffe vorgegeben, darunter auch für das Reizgas Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>). Die Richtlinie gab für diesen Schadstoff zwei Grenzwerte vor, die unter Berücksichtigung aller Übergangsfristen ab 2014 einzuhalten gewesen wären.

Der erste Grenzwert limitiert die Belastung im Stundenmittel. An maximal 18 Stunden im Jahr darf ein Stundenmittelwert von 200 Mikrogramm in der Umgebungsluft überschritten werden. Dieser Grenzwert wurde im Jahr 2017 erstmals an allen Messpunkten in Deutschland eingehalten. Im Jahr 2006 gab es noch eine Station, die mehr als 850 Überschreitungsstunden aufwies. Europaweit meldeten im Jahr 2016 noch 39 Stationen eine Verletzung dieses Grenzwertes, von denen 24 in der Türkei stehen, die sich dem EU-Luftmessnetz angeschlossen hat. Die höchste Belastung wurde aus Izmir mit 2150 Überschreitungen gemeldet.

Der zweite Grenzwert bezieht sich auf die Belastung im Jahresmittel. Hier wird vorgegeben, dass der Jahres-

<sup>1</sup> Für Nutzfahrzeuge gelten eigene Normen, die Euro I-VI geschrieben werden

**Abbildung 1.8: Stickoxidemissionen in der EU-28 – Angaben in Kilotonnen**



Quelle: Umweltbundesamt Österreich, 2017

durchschnitt maximal 40 Mikrogramm pro Kubikmeter Umgebungsluft betragen darf. Dieser Wert wurde im Jahr 2017 in Deutschland an 49 Messstellen überschritten, an 15 sogar um mehr als zehn Mikrogramm (UBA, 2018). Im europäischen Meßnetz wurden für 2016 immerhin 309 Grenzwertüberschreitungen verzeichnet, davon übertrafen 110 Stationen den Wert von 50 Mikrogramm. Auch in Bezug auf den Jahresdurchschnittswert lagen die am höchsten belasteten Punkte in der Türkei, wobei die Station in Izmir mit 122 Mikrogramm die größte Belastung verzeichnete.

**Die Stickstoffdioxidbelastung ist in Europas Städten stark gesunken – Hotspots bleiben.**

Die Messpunkte mit einer Grenzwertüberschreitung sind allesamt Hotspot-Messungen. Sie finden an Orten statt, wo aufgrund baulicher und verkehrlicher Gegebenheiten eine besonders hohe Belastung erwartet wird. Aufgrund der chemischen Eigenschaften von NO<sub>2</sub> bedeuten diese Werte aber nicht, dass der Grenzwert in den betroffenen Städten flächendeckend überschritten wird. Selbst an

den am höchsten belasteten Stellen ist aufgrund von Messungen davon auszugehen, dass die Grenzwerte in den dort stehenden Gebäuden und in den Seitenstraßen weitgehend eingehalten werden. Zudem besteht die Erwartung, dass sich das NO<sub>2</sub>-Problem in absehbarer Zeit an vielen Überschreitungspunkten durch die sukzessive Erneuerung des Fahrzeugbestandes lösen wird, da die Differenz zwischen Messwert des Jahres 2017 und Grenzwert gering ist. Für die am höchsten belasteten Messpunkte wird das aber nicht gelten. Hier werden zusätzliche Maßnahmen, abgestimmt auf die lokalen Begebenheiten, notwendig sein, um eine Reduzierung der Messwerte zu erzielen.

Die Überschreitungen finden überwiegend an eng bebauten Hauptverkehrsstraßen statt, denen eine effektive Durchlüftung fehlt. Ergänzend wirken lokale Standortfaktoren, wie etwa eine Ampelanlage mit Anfahren am Berg, Tunnelausgänge, Fahrbahnverengungen oder die Präsenz eines großen Parkhauses sich auf die Messergebnisse aus. Diese Faktoren können ein zu hohes Emissionsniveau begünstigen. Von daher ist die konkrete Belastung an einem Hotspot immer das Ergebnis einer Kombination lokaler Faktoren, weshalb die Probleme mit maßgeschneiderten Lösungen angegangen werden müssen.

## 1.4 Instrumente der Klimaschutzpolitik im Straßenverkehr in der EU

**Bei dem Bestreben, die Treibhausgasemissionen des Straßenverkehrs zu reduzieren, kommen zahlreiche Instrumente zum Einsatz. Das Spektrum reicht von Emissionsgrenzwerten für Neuwagen über Mineralöl- und Kfz-Steuern bis hin zur Förderung von Elektrofahrzeugen. Hinzu kommen in der EU-28 auch Ansätze, den Straßenverkehr auf die Schiene zu verlagern.**

Die Regierungen in den USA und China sowie die EU-Kommission setzen die Instrumente in unterschiedlicher Ausprägung ein. Die EU-28 übt in Form von Grenzwerten und Steuersätzen deutlich mehr Druck auf den Straßenverkehr aus, als es China, die USA oder der Rest der Welt tun. Bei der Förderung der Elektromobilität zeigt China unter den Emissionsschwergewichten hingegen das höchste Engagement. In kleinen Staaten wie Norwegen sind die Förderungen noch einmal deutlich höher. Die Instrumente werden im Folgenden am Beispiel der europäischen Regulierung skizziert. Die CO<sub>2</sub>-Regulierung im Straßenverkehr unterscheidet sich dabei in vielerlei Hinsicht fundamental von der in anderen Sektoren, insbesondere was Ansatz und Reichweite der eingesetzten Instrumente angeht.

➔ **Das Hauptinstrument der herstellereinspezifischen CO<sub>2</sub>-Zielwerte für Neuwagen legt nur maximale Emissionspotenziale fest.**

Im November 2017 hat die EU-Kommission bei der Vorlage des Clean Mobility Packages noch einmal bekräftigt, dass sie auch künftig bei der Klimaschutzpolitik im Straßenverkehr auf Grenzwerte für Neuwagen setzen will. Dieses Instrument verdient aufgrund seiner nicht nur in der EU, sondern weltweit herausgehobenen Stellung, aber auch wegen seines in der Klimapolitik eher ungewöhnlichen Designs eine tiefergehende Betrachtung.

Anders als in den ETS-Sektoren, wo die EU eine Emissionsmengenregulierung einsetzt, wird im Straßenverkehr primär auf ein System gesetzt, welches die Emissionspotenziale von Neufahrzeugen in einem Rollstandtest festlegen soll. Diese Grenzwerte setzen also nicht an der eigentlichen Zielgröße – den realen CO<sub>2</sub>-Emissionen – an, sondern versuchen über die Senkung der Emissionspotenziale einen indirekten Einfluss auf die eigentliche Zielgröße zu nehmen. Sie betreffen ausschließlich die Neufahrzeugflotte – sind also gegenüber dem Bestand wirkungslos. Entsprechende Grenzwerte gibt es derzeit für Pkw und LNFz. Für die SNfz gibt es derzeit keinerlei Vorgaben dieser Art, es gibt aber Bemühungen, auch für diese vergleichbare Standards zu schaffen.

Das zentrale Klimaschutzinstrument der EU im Straßenverkehr sieht vor, den durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoß

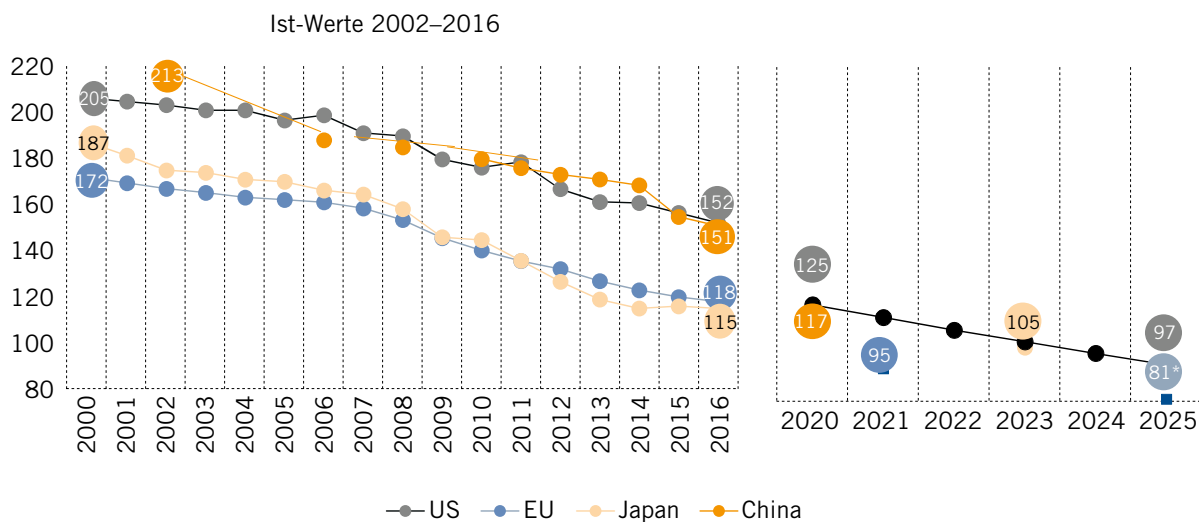
aller neu zugelassenen Pkw in der EU ab dem Jahr 2021 auf 95 g CO<sub>2</sub>/km zu begrenzen. Für das Jahr 2015 war ein Wert von 130 g CO<sub>2</sub>/km vorgegeben und dieser wurde mit einem Durchschnittswert von 119,5 g CO<sub>2</sub>/km deutlich unterschritten. Für das Jahr 2016 wurden durchschnittliche Emissionen der in der EU-28 neu zugelassenen Pkw von 118,1 g CO<sub>2</sub>/km ermittelt (EEA, 2018). Aktuelle Prognosen (PA Consulting, 2018) gehen davon aus, dass die Grenzwerte für 2021 nicht von allen Herstellern erreicht werden können. Ein wesentlicher Grund für diese Vorhersage ist die Abkehr der Kunden vom Diesel.

➔ **Das Regulierungsziel für PKW und LNFz für 2015 wurde übererfüllt – die Erreichbarkeit für 2021 ist fraglich.**

Für die LNFz gelten andere Grenzwerte und ein anderer Zeitplan als für Pkw: Die neu zugelassenen LNFz sollen im Jahr 2017 eine Durchschnittsemission von maximal 175 g CO<sub>2</sub>/km nicht überschreiten. Im Jahr 2016 erreichten sie eine Durchschnittsemission von 163,7 g CO<sub>2</sub>/km (EEA, 2018). Für die LNFz liegt der nächste Grenzwert bei 147 g CO<sub>2</sub>/km im Jahr 2020.

Für die Zeit nach 2021 ist derzeit vorgesehen, die Emissionen der neuzugelassenen Pkw bis 2025 um weitere 15 % beziehungsweise bis 2030 um 30 % zu reduzieren. Die beiden letzteren Werte lassen sich derzeit nicht in einer Grammzahl ausdrücken, da das Messverfahren geändert wird. Lässt man den Wechsel des Testverfahrens außer Acht, so würden die neuen Vorgaben einen Grenzwert von 81 g CO<sub>2</sub>/km im Jahr 2025 und von 66 g CO<sub>2</sub>/km im Jahr 2030 bedeuten. Durch den Wechsel des Testverfahrens soll sich die Schärfe des Wertes nicht verändern, er wird aber dazu führen, dass sich die relative Nützlichkeit von Technologien im Hinblick auf die Testergebnisse verändert. Beispielhaft ist der Hubraum der eingesetzten Motoren als beeinflusste Komponente zu nennen. Der alte Test beförderte die Entwicklung kleiner, aber hoch aufgeladener Motoren. Der neue Test dauert länger, weshalb Motoren mit größerem Hubraum in diesem Test tendenziell besser abschneiden, als es im NEFZ der Fall war. Ein weiteres Beispiel ist die Start-Stopp-Automatik, die im NEFZ mit seinen vielen Standzeiten sehr effizient war, im neuen Test aber viel weniger Effekt erzielt. In Summe



Abbildung 1.9: CO<sub>2</sub> Ist- und Grenzwerte für Neuwagen in g CO<sub>2</sub>/km nach NEFZ


\* Berechnet nach NEFZ, der im Jahr 2025 nicht mehr zur Anwendung kommen wird

Quelle: ICCT, 2017

muss die gesamte Antriebsstrangentwicklung auf den neuen Zyklus umgesteuert werden, was erhebliche Entwicklungsarbeit erfordert und somit hohe Kosten verursacht.

Die bislang diskutierten Durchschnittswerte sind aber nur ein Teil eines weitaus komplexeren Regulierungssystems, welches sich mit der Verteilung der Reduktionslasten auf die einzelnen Fahrzeughersteller beschäftigt, wie im Folgenden am Beispiel der Pkw-Regulierung skizziert.<sup>2</sup>

Um eine Lastenverteilung zwischen den einzelnen Herstellern zu erreichen, hat sich die EU entschlossen, keinen einheitlichen Grenzwert einzuführen. Sie setzt stattdessen auf spezifische Zielwerte für jeden Hersteller, die sich zu einem Durchschnitt von 95 g CO<sub>2</sub>/km über die gesamte Neuwagenflotte des Jahres 2021 aufaddieren. Als differenzierender Faktor, der sich über die Höhe der herstellerspezifischen Grenzwerte bestimmt, wird auf das Gewicht der von einem Hersteller verkauften Neuwagen zurückgegriffen. Die Einbeziehung des Fahrzeuggewichts bei der Grenzwertsetzung ist ein Weg, die unterschiedlichen Nutzungsmöglichkeiten eines Fahrzeugs zu berücksichtigen. Ein Familien-Van ist schwerer als ein Kleinwagen, bietet aber auch einen anderen Nutzen. Das Gewicht hat zudem einen erheblichen Einfluss auf Kraft-

stoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen. Aus der Gewichts-differenzierung folgt, dass die Hersteller größerer Wagen im Jahr 2021 einen höheren Ausstoß der Neuwagenflotte ausweisen dürfen als Kleinwagenhersteller. Allerdings erhöht sich der Zielwert nicht entsprechend zu dem Energiemehrverbrauch, den ein höheres Gewicht verursacht. Die Hersteller großer Fahrzeuge müssen also trotz der Anpassung größere Effizienzfortschritte machen als reine Kleinwagenhersteller.

Verbrauch und Emissionen jedes Neuwagens werden bislang im NEFZ ermittelt. Künftig wird die Messung im neuen WLTP-Zyklus stattfinden, von dem man sich realitätsnähere Ergebnisse verspricht. Der NEFZ bildet reale Fahrten bestenfalls näherungsweise ab. Der geänderte Testzyklus wird dazu führen, dass die ausgewiesenen Emissionen und Verbräuche in der Regel höher liegen werden, als dies bei Messungen im NEFZ der Fall ist. Es wird dennoch Fahrzeuge geben, die unter den neuen Bedingungen tendenziell besser abschneiden.

Unabhängig von der Umstellung des Messverfahrens gilt: Liegen die Emissionen der Neuwagen eines Herstellers im Durchschnitt über seinem vom Durchschnittsgewicht der Neuwagen bestimmten Zielwert, dann muss der Hersteller empfindliche Strafzahlungen leisten. Die Höhe der Strafzahlung hängt von der Überschreitungshöhe und der Zahl der verkauften Neuwagen ab und beträgt 95 Euro pro angefangenem Gramm Überschreitung des Ziel-

<sup>2</sup> Für eine detaillierte Beschreibung des Regulierungssystems siehe beispielsweise Puls, 2014

wertes und verkauftem Neuwagen. Diesen Wert kann man unter Annahme einer üblichen Lebensfahrleistung eines Fahrzeuges in einen Preis pro Tonne CO<sub>2</sub> umrechnen. Hierbei kommt typischerweise ein Wert von 200.000 km zur Anwendung. Auf dieser Basis errechnet sich eine Strafzahlung des Herstellers in Höhe von 475 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub>, was weit über den gängigen Bepreisungen für CO<sub>2</sub>-Emissionen oder den gängigen Schadenskostenschätzungen liegt.

### ➔ Bei Nicht-Erreichen des Zielwertes müssen Automobilhersteller Strafen zahlen, entsprechend 475 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub>.

Obwohl das Instrument der Herstellergrenzwerte diverse Schwächen aufweist, kommt es in allen relevanten Regionen der Welt zum Einsatz. Die EU-28 setzt sich die restriktivsten Ziele, wie Abbildung 1.9 im Fall der Pkw Grenzwerte verdeutlicht. Hier wurden die auf verschiedenen Fahrzyklen basierenden Grenzwerte in Werte auf Basis des NEFZ umgerechnet, um eine Vergleichbarkeit herzustellen. Der chinesische Grenzwert bezieht sich auf Fahrzeuge mit Ottomotor, trifft aber wegen der Zusammensetzung der chinesischen Neuwagenflotte auf alle neu zugelassenen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor zu.

Die Grenzwerte der EU-28 für die nächste Dekade liegen deutlich unter den Vergleichswerten aus den USA, China oder Japan, wobei die aktuelle US-Regierung im April 2018 ankündigte, ihre Grenzwerte entschärfen zu wollen. Damit ist absehbar, dass die Differenz der Grenzwerte sich zukünftig weiter vergrößern wird. Es gilt zudem als sicher, dass die EU-Grenzwerte nur erreichbar sein werden, wenn Elektrofahrzeuge im größeren Umfang vom Markt aufgenommen werden.

Bei der Effizienzsteigerung der Verbrennungskraftmaschinen stoßen die Hersteller langsam an physikalische Grenzen, weshalb der Beitrag effizienterer Verbrenner zwar weiter gefordert ist, aber perspektivisch nicht zur Zielerfüllung reichen wird. Für die Hersteller von Premiumfahrzeugen werden konventionelle Verbesserungen schon 2021 nicht mehr ausreichen, um ihre Zielwerte zu erreichen. Das gilt insbesondere nach dem Einbruch im Markt für Diesel-Pkw. Die Premiumhersteller sind daher schon jetzt gezwungen, alternative Antriebskonzepte zu entwickeln und marktfähig zu machen. Neben den verschiedenen Formen der Elektrifizierung des Antriebsstranges, wie Plug-In-Hybriden oder vollständig batteriebetriebene Fahrzeuge, sind hier erdgasbetriebene Antriebe und die

Brennstoffzelle zu nennen. Mit Verzögerung trifft das auch die Volumenhersteller. Große Zulieferer rechnen damit, dass die Elektrifizierung des Antriebsstranges etwa 70 % der Einsparungen bis 2030 liefern muss.

### ➔ Mineralölsteuern sind ein impliziter CO<sub>2</sub>-Preis.

Ein weltweit gängiges Instrument stellt die Erhebung von Steuern auf Kraftstoffe dar. Die Erhebung solcher Steuern, im Folgenden vereinfachend Mineralölsteuer genannt, impliziert dabei eine Bepreisung von CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs, denn es gibt einen fixen Zusammenhang zwischen Kraftstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen, der sich aus dem Kohlenstoffgehalt des Kraftstoffes errechnet. Die Verbrennung von einem Liter Diesel verursacht 2,64 kg CO<sub>2</sub>. Bei Ottokraftstoff entstehen 2,33 kg CO<sub>2</sub> pro Liter. Unabhängig davon, ob Mineralölsteuern aus klimapolitischen Erwägungen erhoben werden – was typischerweise nicht der Fall ist – sorgen sie doch dafür, dass CO<sub>2</sub> einen Preis erhält. Damit stellt die Mineralölsteuer unzweifelhaft ein klimapolitisches Instrument dar, welches global zur Anwendung kommt, wenngleich es in der Regel gleichzeitig anderen Zwecken dient.

Die Höhe der Besteuerung ist dabei sehr unterschiedlich. In Europa existieren vergleichsweise hohe Steuersätze auf Diesel und Benzin. Die EU setzt aber lediglich eine Mindesthöhe fest, während die Ausgestaltung der Steuersätze in der Hoheit der Mitgliedsstaaten liegt. Neben der Mineralölsteuer erheben die Mitgliedsstaaten teilweise weitere Steuern auf den Kraftstoff. Die Spanne der Gesamtbesteuerung pro Liter reicht bei Diesel von etwa 48 Cent in Luxemburg bis 86 Cent in Schweden. Beim Ottokraftstoff werden zwischen 52 Cent in Rumänien und 104 Cent in den Niederlanden erhoben. Legt man den gewichteten europäischen Durchschnittssteuersatz an, der sich laut EU-Kommission im März 2018 auf 71,8 Cent bei Diesel und 85,6 Cent für Benzin belief (Weekly Oil Bulletin, 2018), so errechnet sich eine implizite CO<sub>2</sub>-Besteuerung von etwa 368 Euro pro Tonne bei Benzin beziehungsweise 272 Euro bei Diesel.

Dies bedeutet, dass die Kraftstoffsteuern in Europa um ein Vielfaches höher sind als in den anderen wichtigen Regionen. So liegen die Mineralölsteuern in China seit Januar 2015 bei etwa 19 Cent pro Liter. Damit bewegen sie sich auf dem US-Niveau, welches seit 1993 unverändert geblieben ist. Der implizite CO<sub>2</sub>-Preis der Mineralölbesteuerung liegt in den USA und China bei etwas mehr als 80 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub>.

## 1.5 Die globale Förderpolitik der Elektromobilität

**Der globale Straßenverkehr steht vor einem Paradigmenwechsel. Dieser besteht ganz wesentlich in der zunehmenden Elektrifizierung des Antriebsstranges. Somit verändert sich erstmals seit über 100 Jahren die Primärenergieversorgung des Straßenverkehrs. Strom wird künftig eine zunehmende Rolle bei der Energieversorgung des Straßenverkehrs spielen und zumindest teilweise Benzin und Diesel ersetzen. Viele Regierungen versuchen diesen Transformationsprozess durch Fördermaßnahmen zu beschleunigen, wobei sich global gesehen die Förderungen in Norwegen und China als besonders hoch erweisen. Die Gründe für Fördermaßnahmen fallen sehr unterschiedlich aus.**

In der EU-28 spielen Umweltgründe die Hauptrolle. Elektrisch angetriebene Fahrzeuge sind lokal schadstofffrei und können analog mit dem Stromnetz dekarbonisiert werden. Ein weiteres Argument für die Förderung elektrifizierter Fahrzeuge ist aus europäischer Sicht die Endlichkeit fossiler Rohstoffe. Auch in den USA waren dies in der Vergangenheit die Hauptgründe, um Elektroautos zu fördern.

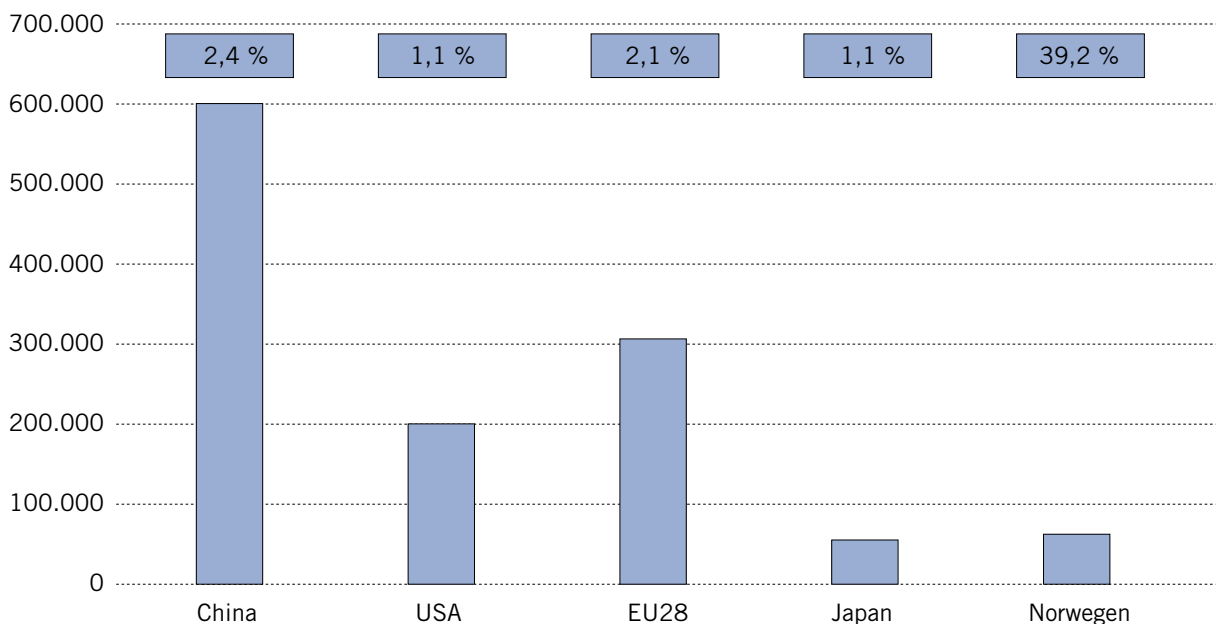
In China wird das Elektroauto hingegen vor allem aus industriepolitischen Gründen gefördert. Die chinesische Regierung sieht hier die Chance, die Technologieführerschaft ausländischer Hersteller bei der Verbrennungstechnologie zu überwinden und eigene Hersteller in führende Marktpositionen zu bringen. Als positive Nebeneffekte werden auch weniger Schadstoffe in den Großstädten und eine Verringerung der Ölimporte gesehen.

Die Förderung der Elektromobilität erfolgt auf allen staatlichen Ebenen. Dabei verfolgen die EU und China Politi-

ken, die stark darauf abzielen, die Hersteller dazu zu motivieren, Elektrofahrzeuge in den Markt zu bringen. Hierzu zählen Kaufprämien, Steuernachlässe und verkehrliche Privilegien, die oftmals von den Mitgliedsstaaten beziehungsweise Regionalregierungen gewährt werden.

Die EU nutzt zur Förderung der Elektrofahrzeuge deren Einbeziehung in das System der herstellereinspezifischen Zielwerte. Ein reines Elektroauto wird dem Hersteller als Null-Emissionsfahrzeug angerechnet, ein Plug-In-Hybrid wird mit sehr geringen Emissionswerten für den Hersteller verbucht. Für den Zeitraum zwischen 2020 und 2023 werden abgesetzte Fahrzeuge, die mit einem Emissionswert von weniger als 50 g CO<sub>2</sub>/km zertifiziert sind, mehrfach auf den Gesamtwert des Herstellers angerechnet. Da das Verfehlen der Zielwerte mit erheblichen Strafzahlungen und einem Imageverlust verbunden wäre, stellt diese Regelung einen nennenswerten Anreiz für die Her-

**Abbildung 1.10: Absatz von Elektroautos auf den 5 größten Absatzmärkten im Jahr 2017**



Quelle: EV Volumes, 2018; OICA, 2018, 2018

steller dar, elektrifizierte Fahrzeuge in den Markt zu bringen.

## **Norwegen hat einen hohen Anteil an Elektrofahrzeugen – dank starker Fördermodelle.**

Eine Sonderstellung bei der Förderung von Elektroautos nimmt Norwegen ein. Das kleine Land hat inzwischen einen Marktanteil bei Elektrofahrzeugen von rund 40 % bei Neuzulassungen. Möglich wurde dies durch eine massive staatliche Förderung. Da Elektroautos – also batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) und Plug-In-Hybride (PHEV) – beim Kauf von der extrem hohen Zulassungssteuer und der Mehrwertsteuer befreit sind, kosten sie in der Anschaffung nicht mehr als konventionelle Fahrzeuge und sind im Betrieb billiger. Dafür ist die Förderung hoch. Die Höhe des Steuernachlasses orientiert sich am Fahrzeugwert und kann 20.000 Euro pro Fahrzeug betragen. Zudem verfügt Norwegen seit jeher über eine vergleichsweise günstige Infrastruktur für Elektroautos. Zum einen ist der norwegische Strom dank Wasserkraft fast CO<sub>2</sub> frei und zum anderen sind in dem kalten Land elektrische Standheizungen sehr verbreitet. Deshalb gibt es viele frei zugängliche Steckdosen. Die norwegische Regierung schreibt zudem den Ausbau der öffentlichen Lademöglichkeiten, etwa für Parkplatzbetreiber vor. Das norwegische Fördermodell ist erfolgreich, aber extrem teuer und kaum auf andere Länder zu übertragen. Darüber hinaus ist Norwegen ein zu kleiner Fahrzeugmarkt, um größeren Einfluss auf globale Technologieentwicklungen zu nehmen.

Anders sieht dies bei China aus. Das Land fördert Elektrofahrzeuge gleich auf mehreren Wegen. Die Zentralregierung fördert den Kauf mit etwa 6.000 Dollar. Dieser Betrag wird von einigen Regionalregierungen um bis zu 50 % aufgestockt. Zusätzlich kaufen die Regionalregierungen bei Herstellern vor Ort Elektrofahrzeuge, beispielsweise für die Taxiflotten. Im letzten Jahr wurde eine Quotenregelung beschlossen, welche die Hersteller dazu bringen soll, mehr Fahrzeuge abzusetzen. Diese Quotenregel basiert auf einem komplexen Punktesystem, welches jedem Modell einen bestimmten Wert an „Ökopunkten“ zuweist. Ein reines Elektroauto bringt vier bis fünf Punkte, ein Plug-In-Hybrid zwei Punkte. Die Quote schreibt vor, dass Hersteller im Jahr 2019 eine Menge von Ökopunkten nachweisen müssen, die 10 % der Zahl der abgesetzten Neuwagen des Herstellers entspricht. Dies ist nicht mit einer Quote von 10 % der Neuwagen zu

verwechseln, sondern entspricht eher 2 bis 5 %. Es handelt sich aber dennoch um eine harte Vorgabe, denn die Zielverfehlung kann mit massiven Strafen bis zum Verkaufsverbot einhergehen.

In Summe hat sich China dank der starken Förderung zum größten Absatzmarkt für Elektrofahrzeuge entwickelt, wie Abbildung 1.10 zeigt. Allerdings ist China auch insgesamt mit Abstand der größte Absatzmarkt für Neuwagen. Im Jahr 2017 wurden 24,2 Millionen Pkw in China verkauft, davon 600.000 Elektrofahrzeugen mit einem Marktanteil von ca. 2,5 %. Die chinesische Regierung hat mit der Einführung der Quotenregelung keinen Zweifel daran gelassen, dass sie diesen Anteil schnell steigern will. Der zweitgrößte Markt ist inzwischen die EU-28, welche die USA weit abgehängt hat. In Summe sorgt die Förderung dafür, dass sich der Markt für Elektroautos weltweit schneller entwickelt als zuvor erwartet, und es ist absehbar, dass Elektroautos im nächsten Jahrzehnt auch ohne Förderung marktfähig werden.

Gemessen am Gesamtfahrzeugbestand werden die Elektroautos ihren Anteil aufgrund der langen Lebensdauer von Pkw jedoch nur sukzessive steigern.

**Instrumentencheck EU-28:**

**CO<sub>2</sub>-Grenzwert für die Neuwagenflotte:** 95 g CO<sub>2</sub>/km im Jahr 2021. Der Wert soll bis 2025 um weitere 15 % sinken, bis 2030 um 30 %. Hersteller erhalten individuelle Zielwerte, die sich am Durchschnittsgewicht ihrer Neuwagenflotte orientieren.

**Mineralölsteuern:** Mindestsätze von der EU vorgegeben, Steuersätze fallen in die Zuständigkeit der Mitgliedsstaaten, was zu erheblichen Spannbreiten führt. Der durchschnittliche Steuersatz auf Benzin entspricht einem impliziten CO<sub>2</sub>-Preis von etwas über 200 Euro pro Tonne.

**Förderung Elektromobilität:** Reine Elektroautos gelten bei der Ermittlung des Herstellerzielwertes als Null-Emissionsfahrzeuge. Plug-In-Hybride erhalten erhebliche Abschläge. Von 2021 bis 2023 werden Fahrzeuge mit Normemissionen von weniger als 50 g CO<sub>2</sub>/km mehrfach angerechnet. Viele Mitgliedsstaaten gewähren weitere Förderungen wie Kaufprämien, Steuererleichterungen oder verkehrliche Privilegien.

**Instrumentencheck USA:**

**Verbrauchsgrenzwerte für die Neuwagenflotte:** System existiert seit den Ölkrisen, die Strafandrohungen bei Überschreitung sind aber gering. Im Jahr 2020 soll der Verbrauch der Neuwagenflotte auf einen Wert sinken, der 125 g CO<sub>2</sub>/km im NEFZ entsprechen würde. Das Ziel für 2025 liegt bei 97 g CO<sub>2</sub>/km. Die US-Regierung hat im April 2018 angekündigt, diese Grenzwerte aufweichen zu wollen.

**Mineralölsteuern:** Die Mineralölsteuer wurde zuletzt 1993 erhöht und beläuft sich auf etwa 18 Cent pro Liter. Der Steuersatz auf Benzin entspricht einem impliziten CO<sub>2</sub>-Preis von etwas über 80 Euro pro Tonne.

**Förderung Elektromobilität:** Die Bundesregierung gewährt bislang beim Kauf eines Elektroautos einen Steuernachlass in Abhängigkeit von der Batteriegröße. Die im November 2017 vorgelegte Steuerreform sieht die Streichung der Förderung vor. Die Bundesstaaten haben eigene Programme und gewähren zusätzliche Fördermittel.

**Instrumentencheck China:**

**CO<sub>2</sub>-Grenzwert für die Neuwagenflotte:** Orientiert am europäischen System. Im Jahr 2021 gilt, dass Benzin im Durchschnitt der Neuwagenflotte maximal 117 g CO<sub>2</sub>/km ausstoßen sollen.

**Mineralölsteuern:** Die Mineralölsteuer wurde 2015 auf etwa 18 Cent pro Liter erhöht. Der Steuersatz auf Benzin entspricht einem impliziten CO<sub>2</sub>-Preis von etwas über 80 Euro pro Tonne.

**Förderung Elektromobilität:** Kaufprämie von etwa 6.000 Dollar von der Zentralregierung, die von den Regionalregierungen um bis zu 50 % aufgestockt werden. Ab 2019 greift eine Quotenregelung für Fahrzeughersteller auf Basis von Ökopunkten. Die wichtigsten Städte gewähren Privilegien bei der Zulassung. Regionalregierungen kaufen Fahrzeuge lokaler Produktion für die kommunalen Flotten.

## 1.6 Schwächen des Regulierungssystems in der EU-28

**Der bisherige Regulierungsrahmen in der EU-28 hat sich im Hinblick auf das Ziel der Reduktion von Treibhausgasemissionen als mangelhaft erwiesen. Das gilt insbesondere für das Hauptregulierungsinstrument, also die herstellereinspezifischen Emissionszielwerte für Neuwagenflotten. Obwohl die Vorgaben bislang übererfüllt wurden, ist der Straßenverkehr von den Klimaschutzvorgaben weit entfernt.**

Zwischen 2005 und 2030 sollen die Emissionen um 30 % sinken. Stand 2015 sind weniger als 6 % erreicht und aktuell steigen die Emissionen sogar wieder an. Zusätzlich ist mit einem weiteren Anwachsen der Verkehrsleistungen in der EU-28 zu rechnen. Die Differenz von Klimaschutzziele und erzielten Ergebnissen kommt nicht überraschend, denn das Grenzwertssystem weist systematische Schwächen auf, die eine effiziente Reduktion verhindern.

**→ Reguliert werden nur Neuwagen, der Fahrzeugbestand ist nicht betroffen.**

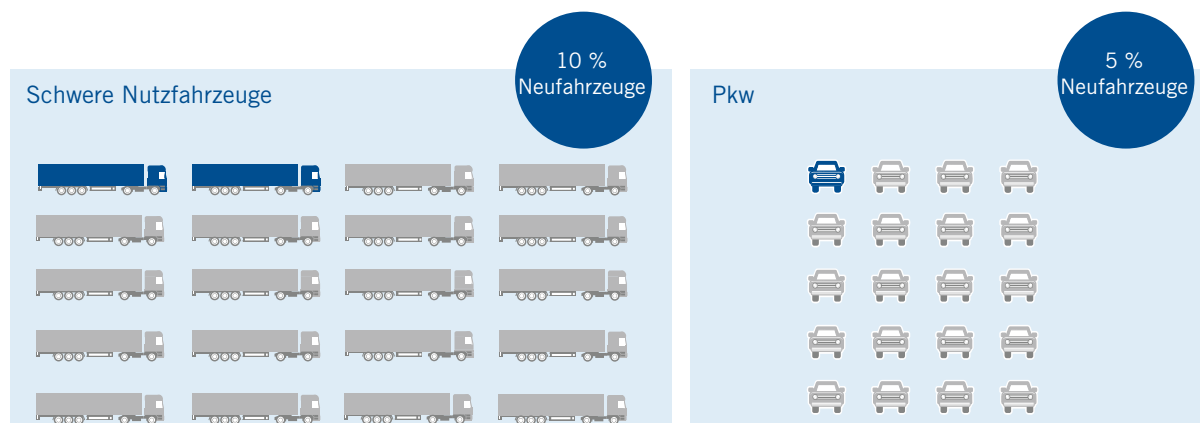
Ein zentrales Problem des Grenzwertansatzes besteht darin, dass er nur einen sehr überschaubaren Teil des Fahrzeugbestands abdeckt. In der EU-28 sind derzeit etwa 253 Millionen Pkw zugelassen. Im Jahr 2017 gab es 15,1 Millionen Neuzulassungen, deutlich mehr als in den Vorjahren. In einem normalen Jahr fallen also lediglich etwas über 5 % der Fahrzeuge unter die Regulierung. Bei einer zügigen Erneuerung des Bestandes stellt dies kein Problem dar. Aktuell ist die Pkw-Flotte in der EU-28 im Durchschnitt elf Jahre alt, in Deutschland beträgt das Durchschnittsalter inzwischen neun Jahre. Daraus folgt,

dass fast die Hälfte der heutigen Pkw-Flotte bereits vor Einführung des Grenzwertsystems gebaut wurde.

Im Durchschnitt der EU-28 wird ein Fahrzeug nach einer Lebenszeit von 17 Jahren verschrottet und die Flotte repräsentiert somit im Durchschnitt den technischen Stand von 2007. Der durchschnittliche Pkw des Jahres 2030, in dem das klimapolitische Ziel von minus 30 % im Straßenverkehr erreicht werden soll, wird im Jahr 2018 vom Band rollen. Vergleicht man die im Normtest ermittelten Emissionen von Pkw in den Jahren 2007 und den aktuellen Datenstand (2016), so wurde auf dem Rollstand eine Reduktion von 25 % erreicht. Unberücksichtigt bleibt eine ausgedehnte Fahrleistung sowie ein weiterer Anstieg des Fahrzeugalters. In Summe dürfte der in den letzten zehn Jahren erzielte technische Fortschritt zwar dazu führen, dass die Emissionen des Pkw-Verkehrs nach 2020 sichtbar sinken werden. Es erscheint aber unwahrscheinlich, dass das ausreichen wird, um die gesetzte Zielvorgabe der EU-28 zu erreichen.

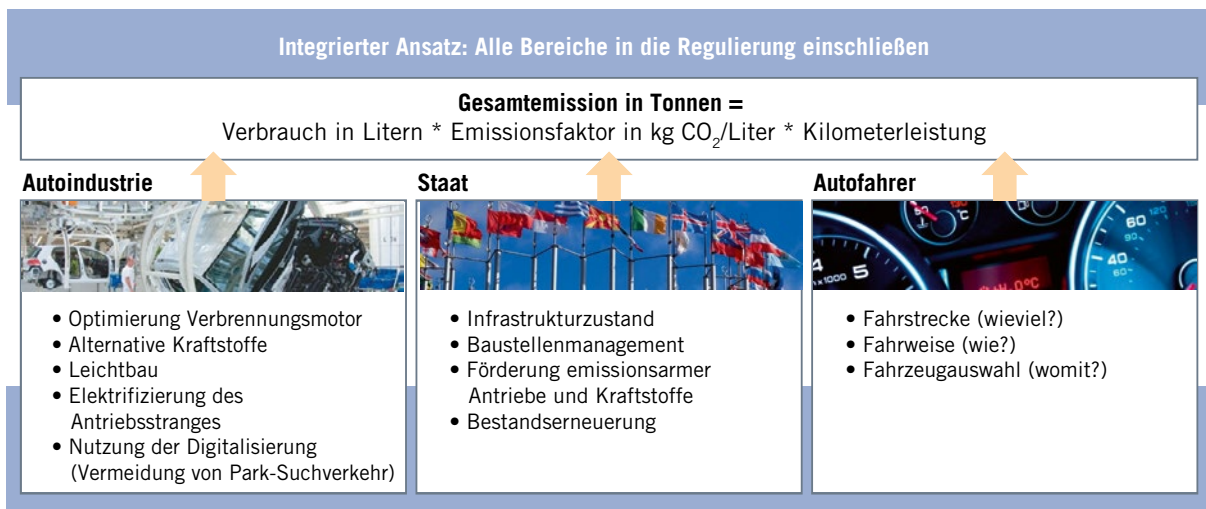
Noch fragwürdiger wird dies, wenn man berücksichtigt, dass LNfz ebenfalls erst seit wenigen Jahren reguliert werden und im Schnitt noch deutlich älter als die Pkw-Flotte sind, sodass der Effekt der Regulierung später einsetzen wird. Zudem sind die Wachstumserwartungen im LNfz-Verkehr aufgrund des durch den Onlinehandel immer kleinteiliger werdenden Lieferverkehrs hoch. Dass

**Abbildung 1.11: Jährliche Erneuerungsraten der Fahrzeugflotten in der EU-28**



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 1.12: Übersicht zum integrierten Ansatz



Quelle: Eigene Darstellung

die SNfz bisher gar nicht unter die Regulierung fallen, ist hingegen weniger problematisch. SNfz haben aufgrund ihrer hohen Fahrleistungen eine doppelt so große jährliche Austauschrate wie Pkw. Das gilt vor allem für die Sattelzugmaschinen im Fernverkehr. Die Käufer der SNfz betrachten diese als Betriebsmittel und achten seit jeher viel stärker auf den Verbrauch als die Käufer von Pkw. In der Folge sinken die Emissionen neuer Lkw kontinuierlich, in den letzten 20 Jahren um etwa 1 bis 1,5 % pro Jahr. Setzt sich dieser Trend fort, wird dies ausreichen, um den erwarteten Anstieg der Verkehrsleistung auszugleichen, aber nicht, um das Reduktionsziel von 30 % zwischen 2005 und 2030 zu erreichen.

➔ **Reguliert wird ein Emissionspotenzial auf dem Rollstand – Fahrweise und Fahrstrecke werden nicht berücksichtigt!**

Ein weiterer Schwachpunkt des Regulierungssystems liegt darin, dass lediglich ein Emissionspotenzial in einer genormten Testumgebung betrachtet wird. Ein solcher Rollstandtest kann die Realität auf den Straßen nicht umfassend abbilden; der NEFZ war ursprünglich nicht für eine realitätsabbildende Verbrauchsmessung konzipiert. Wie hoch die Emissionen des Fahrzeuges tatsächlich sind, wird von zahllosen weiteren Faktoren beeinflusst. Allein die Fahrweise des Nutzers kann bis zu 30 %

Mehremissionen im Vergleich zum Test verursachen. Auch das Fahrumfeld spielt eine Rolle. Gibt es viele Steigungen? Erfordert die Außentemperatur Klimatisierung? Diese Faktoren haben großen Einfluss auf die Emissionsperformance. Die Hersteller optimieren ihre Fahrzeuge im Hinblick auf den Rollstandtest, da dieser entscheidet, wie die Hersteller im Regulierungssystem bewertet werden.

Das wohl größte strukturelle Manko liegt in der tatsächlichen Fahrleistung des Fahrzeuges. Dieses spielt keine Rolle in der Regulierung. Ein Supersportwagen, der nur 500 Kilometer im Jahr fährt, ist aufgrund seines hohen Emissionspotenzials im geltenden System ein Problem, während ein Kleinwagen, der 20.000 Kilometer im Jahr fährt, positiv bewertet wird. Auf der Straße verursacht der Kleinwagen ein Vielfaches an Emissionen im Vergleich zum Sportwagen, der kaum die Garage verlässt.

Diese Lücke könnte theoretisch die Mineralölsteuer schließen, da diese zielgenau in eine CO<sub>2</sub>-Bepreisung umgerechnet werden kann. Allerdings entfalten die im internationalen Vergleich hohen Mineralölsteuern in Europa zumindest kurzfristig wenig Lenkungswirkung. Tatsächlich sind Nachfrageelastizitäten, also die Reaktion der Nutzer auf Preisänderungen, bei Kraftstoffverteuerungen überall auf der Welt sehr gering. Die wenigsten Menschen sind in der Lage, kurzfristig auf Preisveränderungen zu reagieren und ihre Mobilitätsstrategie anzupassen, da bindende Restriktionen, wie die Wahl ihres Wohn- und Arbeitsortes, ungleich schwerer zu verändern sind. Für Unternehmen ist dieser Sachverhalt ebenfalls

### Die Kraftstoffbesteuerung in Schweden

In Schweden wird auf die Bepreisung von Emissionen durch Besteuerung gesetzt. Dabei unterliegen Kraftstoffe für den Straßenverkehr sowohl einer Energie-, als auch einer CO<sub>2</sub>-Besteuerung. Die Energiesteuersätze sind zwischen den Sektoren differenziert. Der Verkehr hat aufgrund seiner geringen Preiselastizität und aufgrund der Tatsache, dass er nicht im internationalen Wettbewerb steht, vergleichsweise hohe Steuersätze. Zwischen den Jahren 2000 und 2017 stieg die Steuerlast auf Benzin um 42 % an, beim Dieselfkraftstoff waren es sogar 91 %. Inzwischen hat Schweden ein sehr hohes Besteuerungsniveau erlangt; beim Diesel hat es die höchsten Steuersätze der EU-28.

Im Jahr 2009 wurde eine schrittweise Steuererhöhung mit dem Ziel der Emissionsminderung beschlossen. In 2011 und 2013 wurden die Kraftstoffsteuern um etwa 4 Cent pro Liter erhöht, 2016 folgte eine weitere Steu-

erhöhung um etwa 5 Cent. Ab 2017 griff eine automatische Steuererhöhung auf Kraftstoffe. Sowohl die Energie- als auch die CO<sub>2</sub>-Steuer auf Kraftstoffe steigt künftig jedes Jahr um 2 % und unterliegt zudem einer automatischen Anpassung über den schwedischen Verbraucherpreisindex (Naturverket, 2017, 10f.). Auf diese Weise wird eine Planbarkeit der Besteuerung geschaffen, welche sich auf die mittelfristigen Entscheidungen der Autofahrer wie Fahrzeugbeschaffung und Wohnortwahl auswirken soll. Flankiert wird diese Bepreisungsstrategie durch eine CO<sub>2</sub>-bezogene Kfz-Steuer, Vergünstigungen bei den Stausteuern in Stockholm und Göteborg und weitere Subventionen für emissionsarme und emissionsfreie Fahrzeuge. In Summe setzt Schweden damit klare Preissignale, belastet aber auch seine Bürger stärker als die meisten anderen Staaten.

zutreffend. In der mittleren Frist kann ein verbrauchsärmeres Fahrzeug angeschafft oder der Wohnort bzw. der Standort verändert werden, weshalb die Elastizität zunimmt. Diese Anpassungen lassen sich jedoch kaum durch einmalige Preiserhöhungen herbeiführen, da Gewöhnungseffekte eintreten. In Summe bleibt der Reduktionseffekt des Kraftstoffverbrauchs stets unterproportional. Aus diesem Grund greifen Staaten gerne auf die Mineralölsteuer als stabile Einnahmequelle zurück. Größere Effekte erzielen Bepreisungsmaßnahmen vor allem dann, wenn sie langfristig angelegt und für die Menschen planbar sind. Das schwedische Beispiel einer angekündigten schrittweisen Erhöhung veranschaulicht, wie eine langfristig angelegte CO<sub>2</sub>-Bepreisung funktionieren kann, wenn der Staat bereit ist, den eigenen Bürgern erhebliche Zusatzlasten aufzuerlegen (siehe Kasten).

Die bisherige Regulierung setzt nur an einem vergleichsweise kleinen Teil der Faktoren an, welche die Emissionen des Straßenverkehrs bestimmen. Der regulatorische Fokus liegt auf den Emissionen von Neuwagen in einem genormten Testumfeld. Faktoren wie der Infrastrukturbestand, Staus oder die zurückgelegten Fahrstrecken wurden bislang weitgehend ignoriert. Die Regulierung ist also weder zielgenau noch effektiv. Es kommt erschwerend hinzu, dass die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten im Verkehr sehr hoch sind. Einheitliche Angaben gibt es hierzu nicht, aber diverse Studien weisen zumeist mehrere hundert Euro pro Tonne aus.

Darüber hinaus ignoriert der Regulierungsansatz im Straßenverkehr bislang die Frage der Sektorenkopplung vollständig, obwohl diese ein prägendes Element der Zukunft sein wird. Um eine bessere Regulierung im Straßenverkehr zu erreichen, ist es notwendig, den Fokus zu erweitern und einen integrierten Ansatz zu verfolgen, der versucht, möglichst alle emissionsrelevanten Faktoren in ein stimmiges Gesamtkonzept einzubetten, was in Abbildung 1.12 skizziert ist.

Ein integrierter Ansatz wird nur die gewünschten Ergebnisse erbringen, wenn er mit den weiteren Sektoren und deren Regulierung verknüpft wird.



## 1.7 Herausforderung für die Zukunft: Sektorenkopplung

***Bislang hat sich gerade in den Sektoren Verkehr und Gebäude gezeigt, dass sektorspezifische Ziele nur bedingt geeignet sind, die Treibhausgasemissionen kostengünstig zu reduzieren. In diesen Sektoren muss sich die Emissionsreduktion sichtbar beschleunigen, wenn die Klimaziele der EU eingehalten werden sollen. Wünschenswert erscheinen dazu marktwirtschaftliche Instrumente, die sich stärker als bisher nach dem CO<sub>2</sub>-Ausstoß bemessen, aber gleichzeitig nicht zu einer Abwanderung von Industrie und betroffener Unternehmen und damit auch der entsprechenden Emissionen – Carbon Leakage genannt – führen.***

Sektorenkopplung ist im Straßenverkehr ein wichtiges Zukunftsthema, da neben dem Versprechen einer effizienteren Gesamtklimapolitik auch der anstehende Paradigmenwechsel hin zu alternativen Kraftstoffen automatisch zur Sektorenkopplung führt. Es besteht große Einigkeit, dass eine Dekarbonisierung des Verkehrssektors nur durch den Wechsel auf Strom als Primärenergiequelle gelingen kann.

 **Strom ist der Kraftstoff der Zukunft – ob als E-Fuel oder direkt aus der Batterie.**

Der Wechsel hin zum Strom als Primärenergieträger im Straßenverkehr hat begonnen und wird in den kommenden Jahren an Fahrt gewinnen. Das ist nicht gleichzusetzen mit dem Einsatz von batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV), die heute absehbare Batterietechnik bietet nur für einen Teil des Verkehrs ausreichende volumen- und gewichtsspezifische Energiedichten. Wichtige Teile des Verkehrs, wie die Luft- und Seeschifffahrt, aber auch der überregionale Straßengüterverkehr, benötigen Energiemengen, die sich kaum über Batterien im Fahrzeug bereitstellen lassen. Für Pkw und LNfz ist hingegen davon auszugehen, dass sich die Stromspeicherung in Batterien im Fahrzeug langfristig als dominante Technologie durchsetzen wird, was aber nicht bedeuten muss, dass sie eine derartig beherrschende Stellung wie der heutige Verbrennungsmotor haben wird. Auf dem Weg dahin werden verschiedene Hybridvarianten einen evolutionären Übergang schaffen. Technologien wie der Plug-In-Hybrid (PHEV) werden dafür sorgen, dass auch langstreckentaugliche Fahrzeuge am Markt bleiben.

Eine alternative Speichertechnik stellen die sogenannten E-Fuels dar, also gasförmige oder flüssige Kraftstoffe, welche unter Nutzung von Strom hergestellt werden können. Hierbei wird de facto Strom genutzt, um die heute genutzten Kraftstoffe aus Wasser und Luft synthetisch nachzubauen. Das Endprodukt dieses Prozesses kann molekularer Wasserstoff (H<sub>2</sub>) sein, aber auch reines Methan (CH<sub>4</sub>) oder ein sortenreiner Kohlenwasserstoff, den man bereits heute in Diesel oder Benzin findet. Zur Herstellung benötigt man lediglich (regenerativen) Strom, Wasser und CO<sub>2</sub>

als Rohstoffe. Es handelt sich also um klimaneutrale Kraftstoffe, wenn der Strom aus regenerativen Quellen und das CO<sub>2</sub> aus der Umgebungsluft stammen.

### Chemisches Hintergrundwissen

Der Produktionsprozess von synthetischen Kraftstoffen lässt sich wie folgt skizzieren. Im ersten Schritt wird mit Hilfe des Elektrolyseverfahrens Wasser (H<sub>2</sub>O) in reinen Wasserstoff (H<sub>2</sub>) und reinen Sauerstoff (O<sub>2</sub>) aufgespalten. Für die energetische Nutzung ist das H<sub>2</sub> geeignet, es enthält fast dreimal so viel Energie pro Tonne wie etwa Benzin. Wasserstoff kann in einem Fahrzeug entweder in einem darauf ausgelegten Verbrennungsmotor verbrannt oder in einer Brennstoffzelle wieder in Strom umgewandelt werden. Allerdings ist die Verteilung und Speicherung von Wasserstoff in einem Fahrzeug vergleichsweise schwierig. Das liegt vor allem am geringen volumenspezifischen Energiegehalt des H<sub>2</sub>. Dieses muss extrem (~700 bar) verdichtet werden, um eine ausreichende Energiemenge in einem Fahrzeug zu speichern. Hierfür ist unter anderem eine spezialisierte und kostenintensive Versorgungsinfrastruktur (Puls, 2006, 70f.) notwendig. Aus diesem Grund spricht einiges für eine Weiterverarbeitung des H<sub>2</sub>, um den Energieträger besser in bestehende Versorgungssysteme integrieren zu können.

Der nächste Umwandlungsschritt ist die Methanisierung. Hierbei wird der Wasserstoff unter Zugabe von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in Methan (CH<sub>4</sub>) umgewandelt. Dieser Prozess erfordert den Einsatz von größeren Energiemengen, vor allem in Form von Wärme. Der Energiebedarf der Methanisierung erhöht sich, wenn die Konzentration des CO<sub>2</sub> fällt. Bei Verwendung von Umgebungsluft ist der Energiebedarf also viel höher, als wenn eine CO<sub>2</sub>-Quelle wie etwa ein Kraftwerk zur Verfügung steht. Das so erzeugte – auch Power-to-Gas oder PtG genannte – Gas kann über das Erdgasnetz verteilt und in jedem bereits heute erhältlichen Erdgasauto genutzt werden. Erdgastankstellen sind bereits in größerer Zahl vorhanden und durch den höheren volumenspezifischen Energiegehalt von Methan, muss es bei der Speicherung im Fahrzeug auch nicht so stark verdichtet werden (~200 bar). Unter Zugabe von weiterer Energie kann noch ein weiterer Umwandlungsschritt durchgeführt werden. Durch Nutzung der Fischer-Tropsch-Synthese (Puls, 2006, 39f.) kann aus

den CH<sub>4</sub> Molekülen ein langkettiger Kohlenwasserstoff erzeugt werden, wie man ihn im heutigen Benzin oder Diesel findet. Dieser Power-to-Liquids (PtL) genannte Stoff ist chemisch vergleichbar mit einem extrem sortenreinen Benzin und könnte über das bestehende Versorgungsnetz verteilt und in jedem heutigen Fahrzeug verwendet werden.

Der chemische Exkurs weist auf die chemisch-physikalischen Rahmenbedingungen von E-Fuels hin: Je mehr chemische Umwandlungen vorgenommen werden, desto besser passt der synthetische Kraftstoff zum bestehenden System. PtL stellt derzeit die einzige Methode dar, regenerativen Strom im heutigen Fahrzeugbestand zu nutzen und darüber die Emissionen der Flotte zu senken.

➔ **Batterien sind effizient – aber aktuell nicht für schwere Lkw oder Luft- und Seefahrt geeignet.**

Jede stoffliche Umwandlung erfordert den Einsatz von Energie, die mit Umwandlungsverlusten einhergehen. Je öfter der Energieträger umgewandelt wird, desto weniger kommt vom ursprünglich eingesetzten Strom im Fahrzeug als nutzbare Energie an. Betrachtet man den PtG-Prozess, erscheint derzeit eine Prozesseffizienz von 56 % denkbar. Etwa 44 % der eingesetzten Energie gehen also auf dem Weg vom Strom bis zur Tankstelle (Well-to-Tank) verloren. Wird das PtG dann in einem Motor verbrannt, gehen weitere zwei Drittel der eingesetzten Energie verloren und nur der Rest wird in Bewegungsenergie umgesetzt. Die Energieeffizienz des Gesamtprozesses (Well-to-Wheel) wird somit aller Wahrscheinlichkeit nach unter 20 % liegen.

Bei Batteriesystemen können hingegen mehr als zwei Drittel des eingespeisten Stroms in Bewegung umgewandelt werden. Daraus folgt, dass durch die Nutzung von synthetischen Kraftstoffen der Strombedarf des Transportsektors deutlich steigt. Der heutige Stand der Technik lässt nicht absehen, ob Batterien die volumen- und gewichtsspezifischen Energiedichten erreichen, die gerade im Gütertransport notwendig sind. Synthetische Kraftstoffe werden daher trotz ihrer eher schlechten Energieeffizienz eine wichtige Rolle für die Energieversorgung des Verkehrs spielen.

Verschiedene Studien (Dena, 2017; BDI, 2018) haben gezeigt, dass E-Fuels langfristig unverzichtbar sein werden, um die hoch gesteckten Klimaziele im Transport zu erreichen. Die Dena-Studie ergab, dass im Jahr 2050

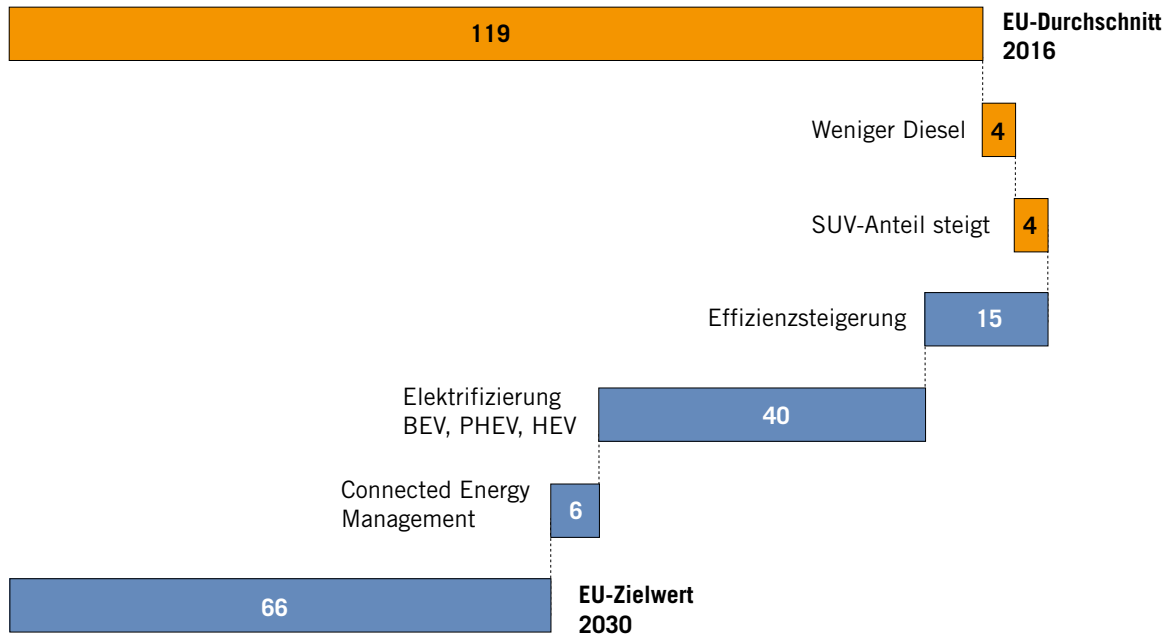
mindestens 70 % des Energiebedarfs des Transports der EU-28 – mit Luft- und Seefahrt – über E-Fuels gedeckt werden muss (Siegemund, 2018, 197). Der Großteil würde dabei in Flugzeugen und Schiffen genutzt werden. Der Bedarf des Straßenverkehrs orientiert sich hingegen daran, welche Reduktionsziele im Jahr 2050 umgesetzt werden sollen. Die mögliche Spanne liegt zwischen 80 % und 95 %. Das 95 %-Ziel bedeutet eine vollständige Dekarbonisierung des Verkehrs, wodurch der Bedarf an E-Fuels in diesem Fall deutlich höher ist als bei dem unteren Zielwert. Aufgrund der beschriebenen Energieverluste bei der E-Fuel-Produktion wirkt sich das entsprechend drastisch auf den Bedarf an regenerativem Strom aus.

➔ **Der Verkehrssektor hat einen enormen Energiebedarf – der Stromsektor ist der natürliche Partner.**

Laut dena entstünde durch die Dekarbonisierung im Transportsektor – inklusive internationaler See- und Luftverkehr – ein Strombedarf, der je nach Szenario dem 1,7 bis 3-fachen der heutigen Stromproduktion in der EU-28 entspricht. Die dena gibt den Strombedarf des Transportsektors – inklusive internationaler See- und Luftverkehr – im Jahr 2050 mit mindestens 4.700 TWh und maximal 8.450 TWh an. Die benötigte Strommenge hängt dabei vom verfolgten Dekarbonisierungsziel ab. Dieser hohe Strombedarf ist laut der Studie am kostengünstigsten über Importe von Synfuels zu decken. Für Importe aus Nordafrika werden Produktionskosten im Jahr 2050 von einem Euro pro Liter Dieseläquivalent für möglich gehalten. Derzeit liegen die Kosten bei 4,5 Euro pro Liter. Es erscheint also möglich, Synfuels künftig zu vertretbaren Kosten herzustellen. Synfuels stellen derzeit die einzige Option zur Dekarbonisierung des heutigen Fahrzeugbestands dar. Im Hinblick auf die Ziele für 2030 ist angeraten, das Thema frühzeitig anzugehen, auch wenn die Kosten für eine Markteinführung bisher zu hoch sind.

Unabhängig davon ob Batterien, Synfuels oder gar Oberleitungsfahrzeuge in Zukunft auf unseren Straßen zum Einsatz kommen – die Elektrifizierung des Verkehrssektors wird in den nächsten Jahren und Jahrzehnten erfolgen müssen. Die klimapolitischen Vorgaben lassen keinen Spielraum für einen anderen Weg. Die Frage ist heute nicht mehr, ob der Verkehrssektor auf den Primärenergieträger Strom umsteigt, sondern wie. Dieser Prozess wird nicht schlagartig, sondern evolutionär erfolgen. Das räumt die Möglichkeit ein, die Umstellung der Ener-

**Abbildung 1.13: CO<sub>2</sub> Reduktionspfad im Pkw bis 2030 – Elektrifizierung muss es richten,**  
Angaben in Gramm pro Kilometer



Quelle: Continental, 2018, 216

gieversorgung des Straßenverkehrs auf den Primärenergieträger Strom vorzubereiten. Dabei muss vor allem die Versorgungsstruktur angepasst werden, denn ohne ausreichend Schnittstellen zwischen Verkehrs- und Stromsektor kann ein Umstieg nicht erfolgen.

Gleiches gilt für die Regulierung. Bislang ist die Regelung vergleichsweise einfach und unproblematisch für den Verkehr. Wenn Strom im Fahrzeug eingesetzt wird, fallen die Emissionen komplett im Stromsektor an. Gleiches gilt für den Bahnstrom. Aufgrund der geringen Zahl von Elektrofahrzeugen stellt das heute noch keine ernst zu nehmende Verzerrung da. Das langfristige Wachstum eines elektrifizierten Verkehrssektors wird sich jedoch drastisch auf den Strombedarf insgesamt auswirken.

Die Stromnachfrage des Straßenverkehrs kann im kommenden Jahrzehnt recht schnell steigen. Verschiedene große Fahrzeughersteller nennen inzwischen für das Jahr 2025 Zielgrößen für den Anteil von Elektrofahrzeugen (Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) und Plug-In-Hybride (PHEV)) von 20 % bis 25 % am weltweiten Absatz. Auch die Zulieferindustrie rechnet inzwischen mit einer massiven Elektrifizierungswelle im Pkw-Bereich, da sich ohne diesen Schritt die künftigen CO<sub>2</sub>-Vorgaben für Neuwagen nicht mehr einhalten lassen. Bereits um die vorge-

legten Zielwerte der EU-28 für 2030 einhalten zu können, muss die Elektrifizierung des Antriebsstranges den Löwenanteil der Einsparungen erbringen. Das bedeutet zum einen den breiten Einsatz von Vollhybriden, aber auch eine weite Verbreitung von BEV und PHEV, die ihre Emissionen zumindest teilweise in den Stromsektor verlagern werden. Eine erwartete Verteilung der künftigen Minderungsleistungen im bestehenden Grenzwertsystem ist in Abbildung 1.13 dargestellt.

Im Grenzwertsystem werden die aktuelle Abkehr vom Diesel und der Trend zu immer mehr SUVs bis 2030 zu höheren Emissionen der Neuwagenflotte führen. Dies muss vor allem durch eine immer weitergehende Elektrifizierung des Antriebsstrangs überkompensiert werden, denn die klassischen Methoden der Effizienzsteigerung haben nicht mehr das Potenzial, die künftigen Zielwerte zu erreichen. Die zusätzliche Stromnachfrage lässt sich nicht beziffern, aber spätestens nach 2030 wird sich der Trend zur strombasierten Mobilität noch einmal enorm beschleunigen müssen.

## 1.8 Quo vadis Verkehrssektor?

**Der Verkehrssektor befindet sich an einem neuralgischen Punkt seiner Entwicklung. Die Dekarbonisierung des Straßenverkehrs kann nur als Teil einer Gesamtstrategie gelingen. Die schrittweise Elektrifizierung des Verkehrssektors zeichnet sich für die Zukunft ab. Der Zielkompass ist somit auf die Sektorenkopplung ausgerichtet.**

Die zunehmende Elektrifizierung stärkt die Kopplung von Strom- und Verkehrssektor. Der Stromsektor liefert zunehmend die erforderliche Transportenergie. Somit ist die Sektorenkopplung zwischen dem Verkehrssektor und dem Stromsektor die Voraussetzung und integraler Bestandteil für die nachhaltige Entwicklung der Klimapolitik. Daher müssen die verschiedenen Antriebs- und Speichertechnologien weiter entwickelt und marktfähig gemacht werden. Eine technologieoffene Förderung und Unterstützung der Forschung ist grundlegende Voraussetzung hierfür.

Der Aufbau der notwendigen Versorgungsinfrastruktur, vom Ausbau der Verteilernetze bis hin zur Produktion von Synfuels, ist ein langlaufendes Projekt, für das jetzt die richtigen Weichen gestellt werden müssen. Ohne ausreichend viele öffentliche Schnittstellen zwischen Verkehrs- und Stromsektor kann die umfassende Kopplung der beiden Sektoren nicht realisiert werden, und die Umstellung auf den Primärenergieträger Strom könnte nur von einer vergleichsweise kleinen Nutzergruppe mit eigenen Versorgungspunkten erfolgen. Der Aufbau der Versorgungsinfrastruktur ist dabei eine beachtliche ökonomische Herausforderung, denn bislang stellt der Betrieb der erforderlichen Schnittstellen kein Geschäftsmodell dar. Das Betreiben öffentlicher Ladesäulen ist heute ein Zuschussgeschäft. Auch die Erzeugung von E-Fuels erfolgt heute zu prohibitiv hohen Kosten.

**➔ Voraussetzung für eine erfolgreiche Sektorenkopplung ist die Bereitstellung der entsprechenden Schnittstelleninfrastruktur.**

Darüber hinaus sind regulatorische Herausforderungen zu bewältigen. Flankierend und als Übergangslösungen können sektorspezifische Instrumente eine wichtige Rolle einnehmen. Ein Beispiel dafür ist eine Bemessung von Energie- und Mineralölsteuern nach ihrem CO<sub>2</sub>-Gehalt. Damit würde eine einheitliche Bemessungsgrundlage geschaffen, die eine weitergehende Kopplung erleichtert. Die bestehende Energiesteuer auf Kraftstoffe würde dabei so umbasiert, dass Diesel- und Benzinfahrzeuge anhand ihrer Emissionen besteuert werden. Parallel dazu müsste auch die Kfz-Steuer angepasst werden, die bis-

lang eine Gegenbuchung zu der geringeren Besteuerung von Diesel darstellt.

Das Instrument der CO<sub>2</sub>-basierten Energiesteuer könnte ein Ansatz zur Vereinheitlichung der Bemessungsgrundlagen sein, wenn die weiteren Rahmenbedingungen entsprechend gesetzt werden. Die bestehende Grenzwertregulierung für Neuwagen adressiert lediglich die Hersteller und das Emissionspotenzial neu zugelassener Fahrzeuge. Eine unmittelbare Besteuerung anhand der realen Emissionen bezieht den Fahrzeugbestand mit ein und somit auch diejenigen, die aufgrund ihrer Fahrleistungen und ihres Fahrverhaltens über die tatsächlichen Emissionen eines Fahrzeugs entscheiden.

**➔ Bis zu einer vollständigen Elektrifizierung wird der Verkehrssektor weiterhin auf konventionelle Kraftstoffe wie Benzin, Diesel oder Erdgas angewiesen sein.**

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Verkehrssektor sich bereits in einem großen Transformationsprozess hin zur Elektrifizierung des Antriebes befindet. Hierbei stehen ihm verschiedene Technologien, wie z. B. die Brennstoffzelle oder batteriebetriebene Fahrzeuge zur Verfügung. Bis zu einer vollständigen Elektrifizierung wird der Sektor weiterhin auf konventionelle Kraftstoffe wie Benzin, Diesel oder Erdgas angewiesen sein. Vor dem Hintergrund der erforderlichen Reduzierung von Treibhausgasemissionen müssen sowohl elektrische als auch konventionelle Antriebe ihren Beitrag leisten. Elektrische Antriebe müssen ihre Marktfähigkeit in Bezug auf Wirtschaftlichkeit und Erfüllung der Kundenanforderungen unter Beweis stellen, konventionelle Antriebe müssen weiterhin Effizienzverbesserungen erzielen und so ihre Emissionen senken.

Der konkrete Transformationsprozess wird je nach Teilssegment des Verkehrssektors sehr unterschiedlich ausfallen. Die Anforderungen von Pkw, Lkw, Schiff und Flugzeug an ihren Energiespeicher sind zu unterschiedlich, als das von einer einheitlichen Lösung auszugehen wäre, wie sie heute der Verbrennungsmotor darstellt. Derzeit spricht im Pkw-Bereich vieles dafür, dass sich das batte-

rielektrische Fahrzeug in großen Marktsegmenten langfristig durchsetzen wird. Für den Ferntransport von Gütern zu Land und zu See, aber auch für den Luftverkehr sehen die Vorzeichen anders aus. Hier spricht vieles für den Einsatz von E-Fuels, die in der Debatte über die künftige Energieversorgung des Verkehrssektors ebenfalls eine wichtige Rolle spielen werden.

**→ Verbindliche, langfristig angelegte Reduktionsziele verbunden mit einer gezielten Bepreisung von Emissionen erlauben Planungssicherheit und erleichtern Investitionsentscheidungen.**

Die stetig zunehmende Elektrifizierung im Verkehrssektor koppelt diesen eng an den Stromsektor und bringt zusätzliche Anforderungen mit sich. Die Erzeugung von Transportenergie im Stromsektor erhöht die Stromnachfrage und verlagert die Emissionen in den Stromsektor. Bisher gibt es keine integrierte Betrachtung von sektorenübergreifenden Emissionen und somit auch keine wirksamen sektorenübergreifenden Maßnahmen zu deren Senkung. Instrumente, wie z. B. die Mineralölsteuer, entfalten kurzfristig eine geringe Lenkungswirkung auf Mobilitätsstrategien. Dies gilt sowohl für Privatverbraucher als auch für Unternehmen. Entscheidend ist daher die Planbarkeit von Mobilitätsentscheidungen – verbindliche, langfristig angelegte Reduktionsziele verbunden mit einer gezielten Bepreisung von Emissionen erlauben Planungssicherheit und erleichtern Investitionsentscheidungen.

## Literaturangaben

- BDI – Bundesverband der Deutschen Industrie, 2018, Klimapfade für Deutschland, <https://bdi.eu/publikation/news/klimapfade-fuer-deutschland/> [08.03.2018]
- Bundesregierung, 2016, Klimaschutzplan 2050, [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan\\_2050\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf) [08.03.2018]
- Continental, 2018, The Future of Powertrain – The right mix to meet the EU 2050 CO<sub>2</sub> Regulation, Tagungsband des Technischen Kongresses des VDA 2018, Seite 208–225, Berlin,
- dena – Deutsche Energie Agentur, 2017, E-FUELS STUDY, The potential of electricity-based fuels for low-emission transport in the EU,
- <https://www.vda.de/dam/vda/publications/2017/E-Fuels-Study/E-Fuels%20Study.pdf> [08.03.2018]
- EEA – European Environment Agency, 2017, National emissions reported to the UNFCCC and to the EU Greenhouse Gas Monitoring Mechanism, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/national-emissions-reported-to-the-unfccc-and-to-the-eu-greenhouse-gas-monitoring-mechanism-13> [08.03.2018]
- EEA, 2018, Monitoring CO<sub>2</sub>-Emissions from new passenger cars and vans in 2016, <https://www.eea.europa.eu/publications/co2-emissions-new-cars-and-vans-2016> [08.03.2018]
- EU-Kommission, 2014, Trends to 2050, <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/media/publications/doc/trends-to-2050-update-2013.pdf> [08.03.2018]
- EV-Volumes The electric vehicles world sales database, 2018, <http://www.ev-volumes.com/> [08.03.2018]
- ICCT – International on Clean Transport, 2017, <https://www.theicct.org/chart-library-passenger-vehicle-fuel-economy> [08.03.2018]
- IEA – International Energy Agency, 2018, IEA Database, <http://data.iea.org/> [08.03.2018]
- Naturverket, 2017, Report for Sweden on assessment of projected progress, <https://www.naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhallet/uppdelat-efter-omrade/klimat/prognoser-for-Sveriges-utslapp/prognoser-for-Sveriges-utslapp-report-sweden-assessment-projected-progress-2017.pdf> [08.03.2018]
- Odyssee Database, 2018, <http://www.indicators.odyssee-mure.eu/energy-efficiency-database.html> [08.03.2018]
- OICA – Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles, 2018, Sales Statistics 2005-2017, <http://www.oica.net/category/sales-statistics/> [08.03.2018]
- PA Consulting, 2018, The CO<sub>2</sub> Emissions Challenge, <https://www.paconsulting.com/insights/2017/the-co2-emissions-challenge/> [08.03.2018]
- Prognos, 2017, Prognos World Transport Report 2015/2016, Düsseldorf
- Puls, Thomas, 2006, Alternative Antriebe und Kraftstoffe – Was bewegt das Auto von Morgen?, IW-Analysen Nr. 15, Köln.
- Puls, Thomas, 2014, CO<sub>2</sub>-Regulierung für Pkw – Fragen und Antworten zu den europäischen Grenzwerten für Fahrzeughersteller, [https://www.iwkoeln.de/fileadmin/publikationen/2017/228037/Brosch%C3%BCre\\_CO2-Grenzwerte\\_Druck.pdf](https://www.iwkoeln.de/fileadmin/publikationen/2017/228037/Brosch%C3%BCre_CO2-Grenzwerte_Druck.pdf) [08.03.2018]
- Siegemund, Stefan, 2018, E-Fuels Study – The potential of electricity based fuels for low-emission transport in the EU, in: Technischer Kongress des VDA Tagungsband 2018, Seite 196–207, Berlin.
- UBA – Umweltbundesamt, Jährliche Auswertung NO<sub>2</sub> – 2017, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/358/dokumente/no2\\_2017.xlsx](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/358/dokumente/no2_2017.xlsx) [08.03.2018]
- UBS – Union de banques suisses, 2017, UBS Evidence Lab Electric Car Teardown – Disruption Ahead?, [http://www.advantagelithium.com/\\_resources/pdf/UBS-Article.pdf](http://www.advantagelithium.com/_resources/pdf/UBS-Article.pdf) [08.03.2018]
- Umweltbundesamt Österreich, 2017, European Union Inventory Report 2017, [http://webdab1.umweltbundesamt.at/download/submissions2017/EU\\_NFR2017.zip](http://webdab1.umweltbundesamt.at/download/submissions2017/EU_NFR2017.zip) [08.03.2018]
- Weekly Oil Bulletin, 2018, <https://ec.europa.eu/energy/en/data-analysis/weekly-oil-bulletin> [08.03.2018]