



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

## **Bachelorarbeit**

Dennis Henze und Sahin Taflan

# **Die Elektrifizierung der Automobilwelt und ihre Auswirkungen auf die Gesetzgebung und technische Überwachungsvereine**

**Dennis Henze und Sahin Taflan**

**Die Elektrifizierung der Automobilwelt  
und ihre Auswirkungen auf die  
Gesetzgebung und technische  
Überwachungsvereine**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Fahrzeugbau – Schwerpunkt Karosserieentwicklung  
am Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Erstprüfer: Prof. Peter Seyfried  
Zweitprüfer: Prof. Stefan Bigalke

Abgabedatum: 8.4.25

## **Kurzreferat**

**Dennis Henze und Sahin Taflan**

### **Thema der Bachelorthesis**

Die Elektrifizierung der Automobilwelt und ihre Auswirkungen auf die Gesetzgebung und technische Überwachungsvereine

### **Stichworte**

Elektrifizierung, technische Überwachungsvereine, Gesetzgebung, EU-Normen, Verkehrssicherheit, Prüfverfahren

### **Kurzreferat**

Die stetige Elektrifizierung der Automobilwelt hat große Auswirkungen auf die Gesellschaft und Umwelt. Viele Beteiligte sind an dem Wandel zur Emissionsfreiheit beteiligt. Diese Arbeit soll die Rolle der technischen Überwachungsvereine und die der Gesetzgebung beleuchten und die Zusammenarbeit dieser Beiden näherbringen. Diese Arbeit soll ein umfangreiches Bild über die nötigen Veränderungen erstellen, welche zukünftig für beide Parteien relevant sein werden, um eine erfolgreiche Elektrisierung zu gewährleisten.

**Dennis Henze and Sahin Taflan**

### **Title of the paper**

The Electrification of the Automotive World and Its Impact on Legislation and TÜV Associations

### **Keywords**

Electrification, Technical Supervision Associations, Legislation, EU-Standards, Traffic Safety, Technical Inspections

### **Abstract**

The continuous electrification of the automotive world has significant effects on society and the environment. Many parties are involved in the transition to emission-free mobility. This paper aims to illuminate the role of Technical Inspection Associations and Legislation, and to describe their collaboration. It seeks to provide a comprehensive overview of the necessary changes that will be relevant for both parties to succeed in electrification.

## **Vorwort**

Die Leistung einer Bachelorarbeit soll während des Studiengangs Fahrzeugtechnik an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg erbracht werden. Eine theoretische, konstruktive oder wissenschaftliche Arbeit soll hierbei von den Studierenden bearbeitet werden. Die Arbeit folgt der Richtlinie des Departments Fahrzeug- und Flugzeugbau zur Erstellung von Abschlussarbeiten und wird in einer schriftlichen Ausarbeitung festgehalten.

Die Thematik der Studienarbeit wurde mit dem zuständigen Prüfer festgelegt.

Zunächst wollen wir uns bei dem zuständigen Prüfer Prof. Peter Seyfried bedanken, welcher uns bei der Wahl unseres Themas die nötige Unterstützung leistete. Nach Absprache mit dem Prüfer wählten wir eine Thematik, welche vor allem auch unserem Interesse sehr zugutekam.

Außerdem wollen wir uns bei Prof. Stefan Bigalke bedanken, welcher uns als Zweitprüfer ebenfalls während des Erstellens dieser Arbeit unterstützt hat.



# Inhaltsangabe

<b>1. Einleitung (D. Henze und S. Taflan).....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation.....	1
1.2 Aufbau der Bachelorarbeit.....	2
1.3 Problemstellung und Zielsetzung.....	3
<b>2. Überblick über die EU-Emissionsvorschriften (S. Taflan).....</b>	<b>4</b>
2.1 Historische Entwicklung der CO2-Emissionsziele.....	4
2.2 Einführung der Euro-Norm.....	6
2.3 Kraftfahrzeugsteuer.....	9
2.4 Euro-7-Norm.....	10
<b>3. Elektromobilität und ihre Innovationen (D.Henze).....</b>	<b>11</b>
3.1 Definition der Elektromobilität.....	11
3.2 Historie und Entwicklung.....	11
3.3 Stand der Technik und Ausblick.....	13
3.3.1 Batteriesysteme.....	14
3.3.2 Zukünftige Batteriesysteme.....	17
3.3.3 Ladesysteme.....	18
3.3.4 Batteriemanagementsysteme.....	20
3.3.5 Fahrassistenzsysteme.....	20
3.4 Bedeutung und Herausforderungen der Elektromobilität.....	22
<b>4. Konsequenzen für die Gesetzgebung (S. Taflan).....</b>	<b>24</b>
4.1 Sicherheitsstandards und Anforderungen an die Infrastruktur.....	24
4.2 Erforderliche gesetzliche Randbedingungen und Anpassungen der Gesetze.....	26
4.3 Sanktionierung.....	30
4.4 Subventionierung für Prüforganisationen und Hersteller.....	31
4.5 Transparenz und Nachvollziehbarkeit von Algorithmen der Hersteller.....	32
4.6 Zusammenspiel zwischen Regulierung und technischen Überwachungsvereinen bei technologischen Entwicklungen .....	33
4.7 Sonderfall: Autonomes Fahren.....	34
<b>5. Veränderungen bei technischen Überwachungsvereinen (D.Henze).....</b>	<b>35</b>
5.1 Historische Entwicklung der technischen Überwachungsvereine in Europa.....	35
5.2 Überprüfung von Sicherheitsstandards.....	36
5.2.1 Hauptuntersuchung.....	37
5.2.2 Abgasuntersuchung.....	38
5.3 Zertifizierung von Elektrofahrzeugen.....	39
5.4 Anpassung der (Prüf-)Abläufe in der technischen Überwachung.....	41
<b>6. Analyse/Fazit (D. Henze und S. Taflan).....</b>	<b>45</b>
<b>7. Literaturverzeichnis und Selbstständigkeitserklärungen.....</b>	<b>50</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: <i>Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Sektor seit 1990</i> .....	5
Abbildung 2.2.1: <i>Grenzwerte für Schadstoffemissionen von PKW: Stand 2016</i> .....	7
Abbildung 2.2.2: <i>Entwicklung der CO-Grenzwerte</i> .....	8
Abbildung 2.3: <i>Berechnung der Kfz-Steuer</i> .....	9
Abbildung 3.2: <i>Entwicklung der Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen in Deutschland</i> .....	12
Abbildung 3.3: <i>Modularer E-Antriebs-Baukasten von Volkswagen</i> .....	13
Abbildung 3.3.1: <i>Funktionsweise der Li-Ion-Batterie</i> .....	15
Abbildung 3.3.3: <i>Vergleich der Ladesysteme</i> .....	18
Abbildung 4.1.2: <i>TESLA Supercharger</i> .....	25
Abbildung 4.3: <i>Steigender CO<sub>2</sub>-Preis</i> .....	30
Abbildung 5.4, <i>AVILOO FLASH TEST</i> .....	42

## 1. Einleitung

### 1.1 Motivation

Einer der bedeutendsten technologischen Fortschritte der heutigen Zeit im Bereich der Automobiltechnik stellt die Elektromobilität dar.

Der Druck auf europäische Automobilhersteller, sich in diesem Bereich weiterzuentwickeln und deutliche Fortschritte zu machen, ist in den vergangenen Jahren deutlich gestiegen. Gerade im Sinne der Wettbewerbsfähigkeit steigen die Bedenken aller Beteiligten.

Mit dem Potential, in absehbarer Zeit eine beinahe emissionsfreie Inlandsbeförderung zu schaffen, bietet der Umstieg auf Elektromobilität einen interessanten Ausblick auf die Zukunft.

Im Zusammenspiel mit den immer schärfer werdenden Gesetzen beim Emissionsausstoß, bezogen auf die Herstellung und den Betrieb der Fahrzeuge, bietet die Elektromobilität passende Lösungsansätze.

Man hat es mit einem immer größer werdenden Sektor zu tun, dies geben auch gängige Statistiken wieder. So stieg laut *Statista.de* die Anzahl der Neuzulassungen elektrisch angetriebener Fahrzeuge von 28 Fahrzeugen im Jahr 2003 auf 524.219 Fahrzeuge im Jahr 2023. Auch die Ursachen von Rückgängen, wie im Jahr 2024 auf 380.609 neuzugelassene Elektrofahrzeuge, sind ein Thema dieser Abschlussarbeit.

Die Auswirkungen sowie die Herausforderungen der Umstellung auf die Gesetzgebung und alle technischen Überwachungsvereine sollen in dieser Abschlussarbeit untersucht werden. Auch potenzielle Anpassungen werden ausgehend beleuchtet. Hierzu wird zuerst ein umfangreiches Bild des aktuellen technischen Standes der Elektrifizierung und der bereits erreichten Fortschritte aller Beteiligten übermittelt.

Einen Überblick über potenzielle Schwierigkeiten bei der Umsetzung sowie die dazugehörigen möglichen Lösungsansätze zur Gewährleistung der begleitend erforderlichen Standards zu analysieren und zu diskutieren, ist ein zusätzliches Ziel dieser Abschlussarbeit.

## 1.2 Aufbau der Bachelorarbeit

Die Abschlussarbeit über die Elektrifizierung der Automobilwelt und ihre Auswirkungen ist in sechs Kapitel unterteilt. Dabei wurde im ersten Kapitel, der Einleitung, in die allgemeine Thematik eingeführt und die Motivation sowie die Bedeutung des gewählten Themas verdeutlicht.

Im zweiten Kapitel wird ein Überblick über die EU-Emissionsvorschriften gegeben, wobei in Teil 2.1 auf die historische Entwicklung eingegangen wird. Die Einführung der Euro-Norm wird in Teil 2.2 und die Kraftfahrzeugsteuer im darauffolgenden Teil 2.3 erläutert. Im letzten Teil 2.4 des Kapitels wird die aktuelle Form der Euro-Norm, die Euro-7-Norm, ausgiebig vorgestellt.

Anschließend geht es in Kapitel 3 um die Elektromobilität und ihre Innovationen. Nach der Definition in Teil 3.1 wird in Teil 3.2 die Historie und Entwicklung beleuchtet. Im nächsten Abschnitt 3.3 geht es um den Stand der Technik und einen Ausblick auf die zukünftigen Techniken. In diesem Kapitel werden die aktuellen und die zukünftigen Batteriesysteme erläutert. Ladesysteme, Batteriemanagementsysteme und Fahrerassistenzsysteme stehen nachfolgend im Fokus. Das Kapitel wird mit der Bedeutung und den Herausforderungen der Elektromobilität in Teil 3.4 beendet, um die Wichtigkeit der Thematik zu beleuchten.

Die Konsequenzen für den Gesetzgeber bilden das Thema des vierten Kapitels. In 4.1 geht es um die Sicherheitsstandards und die Anforderungen an die Infrastruktur. Gefolgt von erforderlichen gesetzlichen Randbedingungen und Anpassungen der Gesetze für die Umsetzung der Elektromobilität in Teil 4.2. In 4.3 geht es anschließend um Sanktionierungen und in Teil 4.4 um Subventionierungen für Prüforganisationen und Hersteller. Anschließend wird die Transparenz und Nachvollziehbarkeit von Algorithmen der Hersteller in 4.5 bearbeitet. Das Zusammenspiel zwischen Regulierung und technischen Überwachungsvereinen bei technologischen Entwicklungen findet in Teil 4.6 Platz. Zum Schluss des Kapitels wird der Sonderfall des autonomen Fahrens präzise durchleuchtet.

Im Anschluss werden im fünften Kapitel die Veränderungen bei den technischen Überwachungsvereinen ausgeführt. Nach der historischen Entwicklung technischer Überwachungsvereine in Europa in Teil 5.1 wird in 5.2 detailliert auf die Überprüfung der Sicherheitsstandards eingegangen. Im Unterpunkt 5.3 geht es um die Zertifizierungen neuer Technologien bezogen auf die Elektromobilität und letztlich um die Anpassungen der Prüfabläufe in der technischen Überwachung in Teil 5.4.

Im sechsten und somit letzten Kapitel der Abschlussarbeit werden die wichtigsten Erkenntnisse zusammengefasst und eine Prognose über die Umsetzbarkeit abgegeben. Hierzu werden vor allem erforderliche Maßnahmen in Form von Prüfverfahren erläutert sowie noch ungeklärte, aber dennoch notwendige Aspekte der Überwachungsvereine aufgeführt. Konsequenzen und Veränderungen aller Beteiligten zur Umsetzung der Elektrifizierung stehen ebenfalls im Fokus.

### 1.3 Problemstellung und Zielsetzung

Die Automobilindustrie steht vor bzw. in einem großen Wandel. Stark beeinflusst ist dieser durch die Elektrifizierung. Vor allem die Treibhausgasemissionen spielen hierbei eine große Rolle. Regierungen sind seit Jahren bemüht, diese Emissionen zu reduzieren oder diese gar auf null zu setzen.

Dieser Herausforderung stellt sich jedoch nicht nur die Automobilindustrie allein. Neben den Herstellern sind auch die Gesetzgebung, die Gesellschaft sowie die technischen Überwachungsvereine an diesem Vorhaben beteiligt.

Welche Maßnahmen dafür seitens der Gesetzgebung nötig sind, sollen in dieser Arbeit beleuchtet werden. Dazu ist selbstverständlich auch die Umsetzbarkeit in den vorgegebenen Zeitrahmen zu beachten.

Hersteller, vor allem in Deutschland, sind von dem hohen Druck, beispielsweise chinesischer Hersteller, belastet. Untersucht werden soll, inwiefern auch diese Sektion von der Gesetzgebung Unterstützung erhalten muss, um eine Wettbewerbsfähigkeit zu gewährleisten. Die Einhaltung von Emissionsvorschriften bzw. die Überprüfung ist hierbei von großer Bedeutung.

Das Zusammenspiel von Herstellern, Gesetzgebung und technischen Überwachungsvereinen legt den Grundbaustein für eine Umsetzbarkeit. Die Überwachungsvereine haben viele Herausforderungen zu meistern. Probleme stellen sich hierbei zu Genüge. Wie können Emissionsprüfungen optimiert werden und inwieweit werden technische Überwachungsvereine in die Gesetzgebung einbezogen?

Mit der Elektrifizierung kommen regelmäßig neue Technologien einher, gerade im Bereich der Batterietechnologien. Welche Technologien für die Überprüfung notwendig sind, bleibt jedoch nicht so klar wie die Gesetze der Regierung und der Europäischen Union.

Wie können technische Überwachungsvereine diese Planungen umsetzbarer machen und welche Methoden zur Prüfung sind dafür nötig?

Der ständige Wandel ist in Sachen Überprüfung ein schwer zu überwindender Aspekt. Es stellt sich die Frage: „Wie kann dieser bewältigt werden, ohne dass man ständig hinterherhängt, und wie schnell müssen Organisationen wie der TÜV sich weiterentwickeln?“



## 2. Überblick über die EU-Emissionsvorschriften

### 2.1 Historische Entwicklungen der CO<sub>2</sub>-Emissionsziele

Mit der Einführung der Schadstoffklassen ist ein Schritt in Richtung CO<sub>2</sub>-Emissionsbewusstsein getan. Allerdings war CO<sub>2</sub> bis zu dem Zeitpunkt nicht als primäre Gefährdung der Umwelt angesehen worden. Erst in den 2000er Jahren begann eine Umstrukturierung in Hinblick auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Vor allem in der EU galt es, genaue CO<sub>2</sub>-Ziele für Kraftfahrzeuge festzulegen. Der Verkehr macht nämlich einen großen Anteil der Treibhausgasemissionen aus. Kohlenstoffdioxid entsteht hauptsächlich durch das Verbrennen von Kraftstoff. Neben den CO<sub>2</sub>-Emissionen ist der Verkehr auch größtenteils verantwortlich für die Emission von Stickstoffoxiden und Feinstaub. Partikelemissionen entstehen unter anderem durch Brems- oder Reifenabrieb.

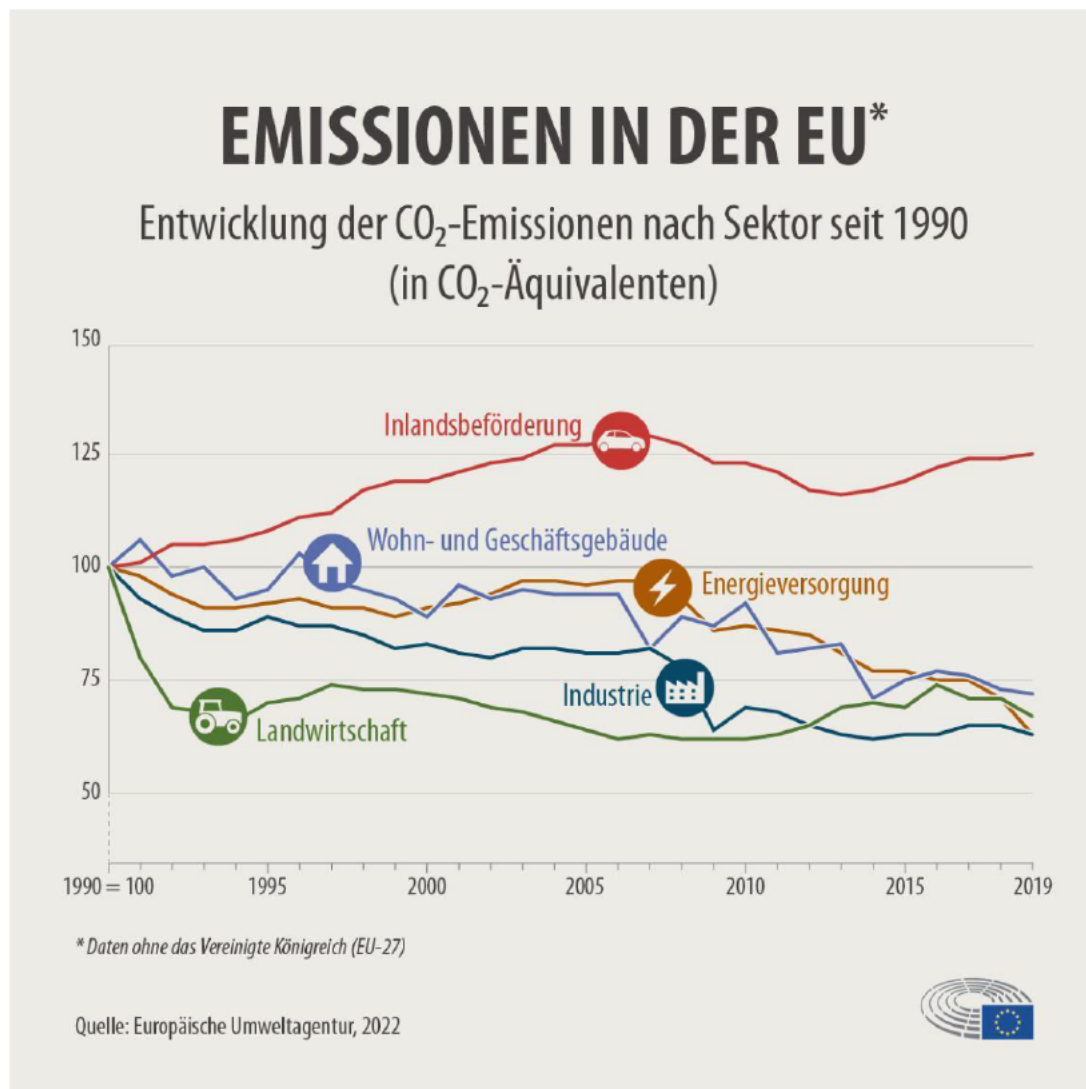
Auch außerhalb des Verkehrssektors führt die Europäische Union immer mehr Gesetzgebungen ein, um die CO<sub>2</sub>-Emission zu bekämpfen.

So kommt es 2005 zur Einführung des Emissionshandelssystems. Dieses gilt als großer Faktor zur Verringerung der Treibhausemissionen. Hierbei werden Zertifikate für Emissionsrechte verkauft, um Unternehmen kosteneffizient zum klimabewussten Handel anzuregen und Emissionen zu reduzieren. Es wird eine kostenpflichtige Obergrenze des Kohlenstoffdioxidausstoßes eines Unternehmens festgelegt. Im Vergleich zu 2005 ergibt sich bis 2020 eine Reduktion der Kohlenstoffdioxidemissionen um knapp 30 % innerhalb des Emissionshandelssystems [1].

Der CO<sub>2</sub>-Grenzausgleich, das sogenannte *Carbon Border Adjustment Mechanism* (kurz: CBAM), ergänzt das EU-Emissionshandelssystem. Kosteneffizientes Verlagern der Produktion in Länder außerhalb der EU soll mit diesen ergänzenden Begrenzungen verhindert bzw. bekämpft werden. Auch hier sind kostenpflichtige Zertifikate für Unternehmen notwendig, um die Produktion zu verrichten. Vor allem emissionsintensive Importe aus Ländern mit niedrigeren Emissionseingrenzungen sollen unterbunden werden. Die Kosten der Unternehmen werden ab sofort den entstehenden Emissionen gerecht festgelegt. Ab dem Jahr 2026 tritt der CO<sub>2</sub>-Grenzausgleich in Kraft und die Zertifikate müssen kostenpflichtig erworben werden [2].

Parallel zum EU-Emissionshandelsgesetz beschloss die EU zum Ende des Jahres 2020 das *EU-Klimagesetz*. 2021 trat diese Verordnung in Kraft, mit dem Ziel, eine Klimaneutralität bis 2050 zu erreichen. Bis zum Jahr 2030 soll dieses Klimagesetz dazu führen, eine Verringerung der Treibhausgasemissionen von bis zu 55 % zu generieren. Sie umfasst nahezu alle Sektoren der Wirtschaft eines Landes, wie Energie und Landwirtschaft, und vor allem den Abbau der Emissionen, verursacht vom Verkehr bzw. der Automobilindustrie. EU-Mitgliedstaaten haben hierbei die Aufgabe, landesweite Klimapläne zu erarbeiten und diese innerhalb eines von der EU vorgegebenen Rahmens umzusetzen [3].

Als Schlüsselstrategie, die durch Kraftfahrzeuge entstehenden Emissionen zu reduzieren, wird die Elektrifizierung des Verkehrssektors angesehen. Somit steht für die Automobilindustrie eine Anpassung an die Emissionsvorgaben im Fokus. Insbesondere die etappenweise Reduzierung der Emissionen von Verbrennungsmotoren bis zum einheitlichen Ziel der emissionsfreien Fahrzeuge stellt die Unternehmen vor eine große Herausforderung.



[Abbildung 2.1: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Sektor seit 1990]

Deutlich erkennbar in der Grafik von 2022 sind die Ergebnisse in Bezug auf die CO<sub>2</sub>-Emissionsveränderungen der letzten dreißig Jahre. Wohn- und Geschäftsgebäude, die Energieversorgung, die Industrie und die Landwirtschaft erzielen hierbei eine deutliche Reduzierung der ausgestoßenen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die Inlandsbeförderung und vor allem der tägliche Kraftfahrzeuggebrauch erzielen jedoch keine erwähnenswerten Fortschritte. Die Elektrifizierung der Kraftfahrzeuge soll in Zukunft auch diesen Sektor, den Emissionsvorgaben entsprechend, voranbringen.

## 2.2 Einführung der Euro-Norm

Ein großer Bestandteil zur Bekämpfung des Klimawandels sind die EU-Emissionsvorschriften. Diese dienen vor allem zur Reduzierung der Abgasemissionen.

Im Jahre 1992 kam es zu einem bedeutenden Schritt zur Durchsetzung dieser Emissionsvorschriften [4]. Mit der Einführung der Abgasnorm Euro-1 geltend für PKW und Nutzfahrzeuge, gab es zum ersten Mal genaue Richtlinien der EU für die Abgasentstehung durch Kraftfahrzeuge. Die sogenannten EU-Abgasnormen legen fest, wie viele Schadstoffe ein Fahrzeug ausstoßen darf, um eine Genehmigung für den Einsatz im Verkehrsbetrieb, also eine Zulassung, zu erhalten. Bei den Schadstoffen handelt es sich unter anderem um Stickstoffoxide, Kohlenstoffmonoxide, Kohlenwasserstoffe, Nichtmethankohlenwasserstoffe, Feinstaub und Partikel [5].

Personenkraftwagen werden den Schadstoffausstoß und dem Baujahr entsprechend einer Schadstoffklasse zugeordnet. Je höher der Schadstoffausstoß und je älter das Fahrzeug, desto niedriger die Schadstoffklasse [6].

Die folgende Auflistung der Schadstoffklassen stammt von *Autoscout24* [6]:

- Euro-0: nicht schadstoffarme PKW (diese dürfen beispielsweise bei Ozonalarm nicht bewegt werden)
- Euro-1: höchster Schadstoffausstoß, gültig seit 01. Juli 1992, ab Erstzulassung 01.01.1993
- Euro-2: gültig seit 01. Januar 1996, ab Erstzulassung 01.01.1997
- Euro-3: gültig seit 01. Januar 2000, ab Erstzulassung 01.01.2001
- Euro-4: gültig seit 01. Januar 2005, ab Erstzulassung 01.01.2006
- Euro-5: gültig seit 01. September 2009/2011, ab Erstzulassung 01.01.2011
- Euro-6, unterteilt in:
  - Euro-6a
  - Euro-6b (seit 2015, Erstzulassung ab 01.09.2015)
  - Euro-6c (seit 1. September 2017 bzw. 1. September 2018 für alle Neuzulassungen)
  - Euro-6d-TEMP (gilt bis Ende 2019)
  - Euro-6d (gilt ab Januar 2020) Elektroautos haben keine Schadstoffklassen



Gekennzeichnet sind einzelne Fahrzeuge mit der Umweltplakette. Die Umweltplakette wird entsprechend der Schadstoffgruppe erteilt. Es gibt derzeit 4 Schadstoffgruppen, welche anhand der Farbe erkennbar sind. Zur Schadstoffgruppe 1 gehören Dieselfahrzeuge der Euro-1-Norm oder schlechter und Benzinfahrzeuge ohne geregelten Katalysator. Solche Fahrzeuge erhalten keine Umweltplakette. Die rote Plakette bekommen Dieselfahrzeuge, welche der Euro-2 zugehörig sind, oder Dieselfahrzeuge, welche der Euro-1 zugehörig sind, jedoch einen Partikelfilter besitzen. Sie bilden die Schadstoffgruppe 2. Zur Schadstoffgruppe 3 zählen Dieselfahrzeuge der Schadstoffklasse Euro-3 und Euro-2 mit vorhandener Partikelfilter-Nachrüstung. Diese Schadstoffgruppe erhält die gelbe Umweltplakette. Alle Fahrzeuge mit der Schadstoffklasse Euro-4, sowie Ottomotoren der Euro-1 mit geregeltem Katalysator erhalten die grüne Umweltplakette [5,7]. Der Gebrauch der Umweltplakette wird noch einmal in Kapitel 4.2 aufgegriffen.

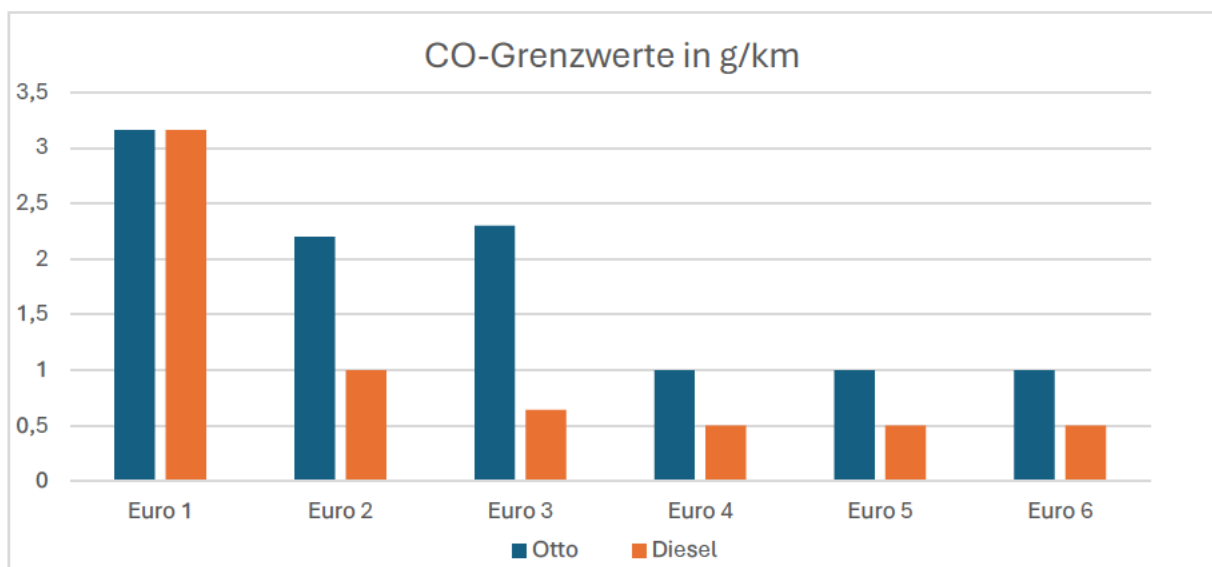
Die Grenzwertunterschiede der verschiedenen Euro-Normen und vor allem die damit einhergehenden Verschärfungen durch neue Verordnungen sollen anhand der Werte in der folgenden Tabelle kenntlich gemacht werden.

Abgasgrenzwerte für Pkw			Masse des Kohlenmonoxids CO in g/km		Masse der Kohlenwasserstoffe (T)HC in g/km		Masse der Nichtmethankohlenwasserstoffe NMHC in g/km		Masse der Stickoxide NOx in g/km		(T)HC + NOx in g/km		Partikelmasse PM in g/km		Partikelanzahl P in Anzahl/km	
Norm	Gültig ab	Verordnung	Otto	Diesel	Otto	Diesel	Otto	Diesel	Otto	Diesel	Otto	Diesel	Otto	Diesel	Otto	Diesel
Euro 1	31.12.92	91/441/EWG	3,16	3,16	-	-	-	-	-	-	1,13	1,13	-	0,18	-	-
Euro 2	01.01.96	94/12/EWG	2,2	1	-	-	-	-	-	-	0,5	0,7	-	0,08	-	-
Euro 3	01.01.00	98/69/EG	2,3	0,64	0,2	-	-	-	0,15	0,5	-	0,56	-	0,05	-	-
Euro 4	01.01.05	98/69/EG	1	0,5	0,1	-	-	-	0,08	0,25	-	0,3	-	0,025	-	-
Euro 5	01.09.09	VO EG 715/2007	1	0,5	0,1	-	0,068	-	0,06	0,18	-	0,23	0,0045	0,0045	-	600x10 <sup>9</sup>
Euro 6	01.01.14	VO EG 715/2007	1	0,5	0,1	-	0,068	-	0,06	0,08	-	0,17	0,0045	0,0045	600x10 <sup>9</sup>	600x10 <sup>9</sup>

[Abbildung 2.2.1: Grenzwerte für Schadstoffemissionen von PKW: Stand 2016]

Deutlich zu erkennen ist, dass die Grenzwerte durch neue Verordnungen seitens der Gesetzgebung sich zum einen immer mehr verschärft haben und somit nur noch geringere Schadstoffgrenzwerte zulässig sind. Zum anderen wird deutlich, dass mit neuen Richtlinien auch mehr berücksichtigte Grenzwerte, wie zum Beispiel der geltende Partikelzahlgrenzwert für alle Motoren ab der Euro-6-Norm, von Bedeutung sind.

Der Kohlenmonoxid-Grenzwert ist über die Neueinführungen der Euro-Norm besonders beschränkt worden. Dies lässt sich im folgenden Diagramm verdeutlichen.



[Abbildung 2.2.2: Entwicklung der CO-Grenzwerte]

Zu erwähnen bleibt jedoch, dass in der *Abbildung 2.2* über die Grenzwerte für Schadstoffemissionen die Unterteilung der Euro-6-Norm nicht beachtet wurde. Dies liegt unter anderem daran, dass sich die Unterteilungen der Euro-6-Norm nur in feinen Details bzw. geringen Grenzwerten voneinander unterscheiden. Grund für die Unterteilung innerhalb der Euro-6-Norm sind die unterschiedlichen Abgasprüfverfahren, welche für immer mehr Genauigkeit sorgen sollen.

So wird innerhalb der Euro-6b-Norm die bis dato verwendete Messungen des *Neuen Europäischen Fahr-Zyklus* (kurz: NEFZ) durch die *Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure* (kurz: WLTP) ersetzt. Der Kraftstoffverbrauch wird hierbei in Prüflaboren realitätsnäher als auf dem Rollprüfstand gemessen. Mit der Einführung der Euro-6d-Norm kommen zusätzlich die *Real Driving Emissions* (kurz: RDE) hinzu. Durch die RDE-Gesetzgebung kommt somit eine Prüfung bzw. Messung hinzu, welche während einer Testfahrt ermittelt wird, um noch genauere Werte zu erzielen. Zusätzlich wurde im Laufe der Euro-6-Norm der Einbau eines *On-Board Fuel Consumption Monitoring Device* (kurz: OBFCD) verpflichtend, welches einen Vergleich der im Rollenprüfstand und im realen Gebrauch erzeugten CO<sub>2</sub>-Werten erlaubt [4].

### 2.3 Kraftfahrzeugsteuer

Im direkten Zusammenhang mit der Schadstoffklasse steht die in Deutschland verbindliche Kraftfahrzeugsteuer. Diese wird der Schadstoffklasse entsprechend eingestuft. Je schädlicher das Kraftfahrzeug ist, desto höher fällt die Kraftfahrzeugsteuer aus. Die Kfz-Steuer wird zusätzlich anhand der Fahrzeugart, des Hubraums und der Antriebsart berechnet. Hierbei wird zwischen Diesel- und Benzinfahrzeugen unterschieden. Während Benzinern mit 2 Euro pro angefangenen 100 Kubikzentimetern besteuert werden, liegen Dieselmotoren bei 9,5 Euro. Hinzu kommt ein fester Betrag von 2 Euro pro ausgestoßenem Gramm Kohlenstoffdioxid je Kilometer, der über einem Wert von 95 Gramm pro Kilometer liegt. Dieser Wert stieg jedoch mit der Kfz-Steuer-Reform von 2021. Fahrzeuge mit einer Zulassung nach dem 01.01.2021 werden, dem Verbrauch entsprechend, besteuert. Höherer Verbrauch bedeutet also eine höhere Steuerlast [8].

CO <sub>2</sub> -Ausstoß	Steuer pro g CO <sub>2</sub> /km (ab 95 g)
über 95 g/km bis zu 115 g/km	2 Euro
über 115 g/km bis zu 135 g/km	2,20 Euro
über 135 g/km bis zu 155 g/km	2,50 Euro
über 155 g/km bis zu 175 g/km	2,90 Euro
über 175 g/km bis zu 195 g/km	3,40 Euro
über 195 g/km	4 Euro

*[Abbildung 2.3: Berechnung der Kfz-Steuer]*

Berechnungsbeispiel eines BMW M8 vor und nach 2021[9]:

Fahrzeugart: PKW

Antriebsart: Benzin

Hubraum: 4395 Kubikzentimeter → 44x2 Euro = 88 Euro

CO<sub>2</sub>-Emission: 245 g/km → 300 Euro vor 2021 / 460 Euro nach 2021

Demnach ergibt sich eine Steuer von 388 Euro vor 2021 und eine Steuer von 548 Euro nach 2021.

Mit der Reform der Kfz-Steuer, soll eine sparsame Entscheidung der Kraftfahrzeugwahl erzielt werden, da wie im Beispiel gezeigt, eine deutlich höhere Besteuerung eines höher motorisierten Fahrzeuges anfallen kann.

## 2.4 Euro-7-Norm

Um weitere Fortschritte gegen die langfristige Bekämpfung von CO<sub>2</sub>-Emissionen zu erzielen, veröffentlichte die Europäische Union am 08.05.2024 die Einführung der Euro-7-Norm. Diese Verordnung der Abgasnorm ist bereits in Kraft getreten und ist ab dem 29.11.2027 für alle Personenkraftfahrzeuge, welche ab dann zugelassen werden sollen, gültig [10].

Ein nennenswerter Unterschied zur Euro-6-Norm ist hierbei der Partikelgrenzwert, bei dem nicht zwischen den verschiedenen Ottomotoren unterschieden wird. Die Grenzwerte für Stickoxide und Feinstaub durch Abgase bleiben gleich. In der Euro-7-Norm geht es allerdings deutlich mehr um nichtmotorische Emissionen. So stellt die ab sofort geltende Limitierung von Partikeln aus Brems- und Reifenabrieb die Automobilhersteller vor neue Herausforderungen.

Ebenso betroffen von der neuen Euro-Norm sind auch elektrisch oder wasserstoffangetriebene Fahrzeuge. Feinstaubemissionen, verursacht durch Abgase, gingen in den vergangenen Jahren sichtlich zurück, wobei die Feinstaubpartikel durch Brems- und Reifenabrieb sich kaum veränderten.

Da Elektroautos unter anderem auch einen Elektromotor nutzen, um zu bremsen, werden die Bremsen deutlich weniger beansprucht als bei Verbrennungsmotoren. Somit liegt der Grenzwert für Partikel durch den Bremsabrieb bei Elektromotoren bei 3 mg/km. Bei Verbrennungsmotoren liegt dieser bei 7 mg/km. Ab dem Jahre 2035 soll ein einheitlicher Wert von 3 mg/km gelten [11].

Auch die *Dauerhaltbarkeits-Anforderung* in Bezug auf die Einhaltung der Verbrauchs- und Kraftstoffangaben sowie der Emissionsangaben bei Verbrennungsmotoren spielt bei der Abgasnorm von 2024 eine entscheidende Rolle. Demnach sind Fahrzeughersteller verpflichtet, die Einhaltung der Emissionsgrenzen über acht Jahre nachzuweisen.

Elektrofahrzeuge erhalten die Auflage einer Dauerhaltbarkeits-Anforderung der Antriebsbatterien. Batterien sollen nach fünf Jahren eine Speicherkapazität von mindestens 80 % und nach acht Jahren mindestens 72 % besitzen [10].

Eine Manipulationssicherheit für Einspritzsysteme, Antriebsbatterien, das Steuergerät und den Kilometerzähler sowie Emissionsminderungssysteme muss mit der Einführung der Euro-7-Norm von den Herstellern gewährleistet werden. Mittels des *On-Board-Monitoring-System* sollen Grenzwertüberschreitungen von Emissionen kenntlich gemacht werden und mit dem *On-Board-Fuel-Consumption-Monitoring-System* soll der reale Verbrauch gespeichert werden. Fahrzeuge müssen über diese Systeme verfügen [10].

Informationen über Schadstoff- und CO<sub>2</sub>-Emissionen, elektrische Reichweite, Motorleistung sowie den Verbrauch von Kraftstoff und Strom sind zukünftig für jedes Fahrzeug in Form eines Umweltpasses, verpflichtend. Fahrzeughersteller müssen diesen beispielsweise in digitaler Form an Erwerber eines Fahrzeuges aushändigen. Elektrofahrzeuge sollen einen Batteriepass erhalten [10]. Genauer dazu folgt in den Kapiteln 4.2 und 4.5.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit der Einführung der Euro-7-Norm noch detailliertere Auflagen an die Automobilhersteller zur Reduzierung der Abgasemission verordnet wurden. Das eigentliche Ziel der Verordnungen, nämlich der Verminderung von Emissionen, wird mit der neuen Norm deutlich breiter betrachtet und in mehr Kriterien aufgeteilt.



### 3. Elektromobilität und ihre Innovationen

#### 3.1 Definition der Elektromobilität

Definieren lässt sich die Elektromobilität als die Fortbewegung bzw. den Transport von Gütern und/oder Menschen mithilfe von elektrischen Antrieben. Die dafür benötigte elektrische Energie wird durch Schienen, bei Schienenfahrzeugen, zugeführt oder in Batterien, bei Straßenfahrzeugen, gespeichert und bereitgestellt [12].

#### 3.2 Historie und Entwicklung

Ein Rückblick auf die Geschichte der Elektromobilität zeigt, dass Elektroantriebe bereits zu Beginn des Automobilzeitalters populär waren, jedoch durch technische und kulturelle Herausforderungen weitestgehend verdrängt wurden. Die Rückkehr zu elektrischen Antrieben wird vor allem durch den Druck auf die Automobilindustrie, umweltfreundlichere Lösungen anzubieten, vorangetrieben.

Dabei reicht die Historie des Elektroautos bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts zurück. Zwischen 1832 und 1839 entwickelte der schottische Erfinder *Robert Anderson* in Aberdeen, Schottland, das wahrscheinlich erste Elektrofahrzeug, welches mit einer Einweg-Batterie mithilfe von Rohöl betrieben wurde [14]. Das erste bekannte deutsche Elektroauto war der *Flocken Elektrowagen* von 1888, der von der *Maschinenfabrik A. Flocken* entwickelt und eingeführt wurde [13].

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts galten Elektrofahrzeuge als Basis der Automobile, denn sie waren Konkurrenten technisch in mehreren Hinsichten überlegen. Sie wurden vor allem aufgrund ihrer geringen Geräuscentwicklung und Sauberkeit in Europa und den USA gerne gefahren.

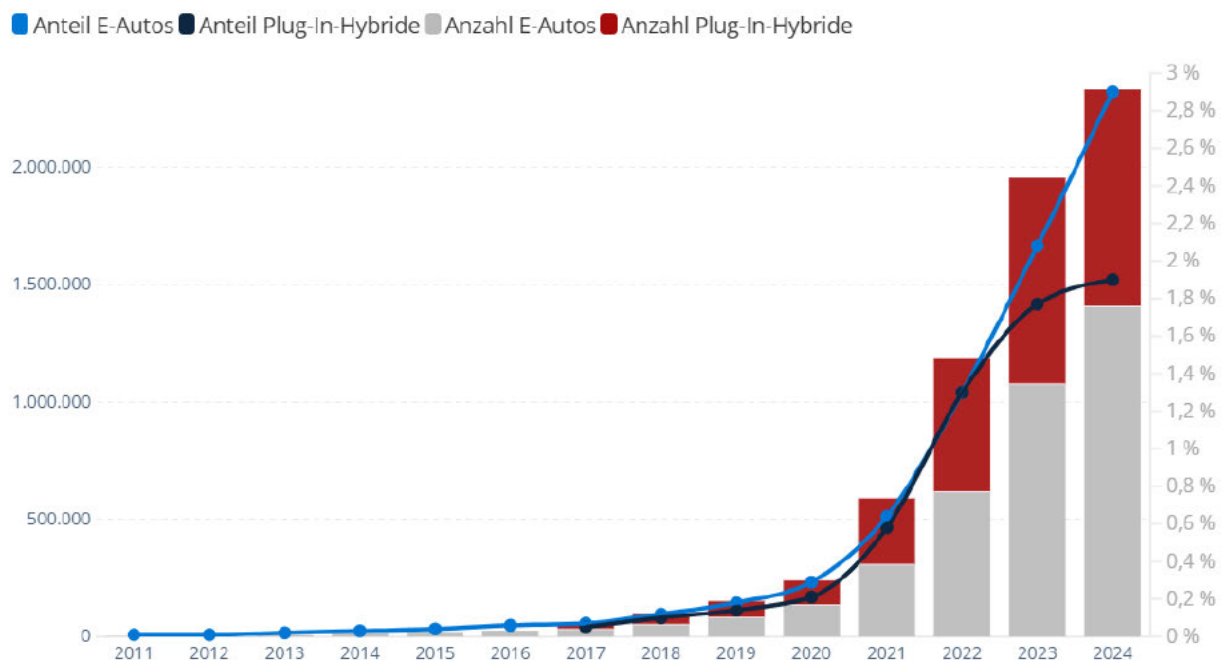
Dennoch wurden ab der Einführung des *Ford Model T* im Jahre 1908, welches ein benzinbetriebenes Fahrzeug für die breite Masse war, Elektroautos weitestgehend aus dem Straßenbild verdrängt und führten fast ein Jahrhundert ein Nischendasein. Dies lag vor allem daran, dass das Model T im Vergleich etwa halb so teuer in der Anschaffung war und der verbaute Benzinmotor durch das Starten mithilfe des Anlassers komfortabler war als das Ankurbeln bei Elektrofahrzeugen. Die erhöhte Reichweite und das zu diesem Zeitpunkt verhältnismäßig günstige Öl machten die Vergaserkraftstoffe somit lukrativer, weshalb Hersteller auf Verbrennungsmotoren umstiegen [14]. Erst in den 1990er Jahren wurde verstärkt an neuen Akkutechnologien und Elektroantrieben geforscht, die sich in einer Reihe von Prototypen, Kleinserienfahrzeugen und neuen Modellreihen zeigten.

Einen Durchbruch erzielte dabei der Autohersteller *Toyota*, der 1997 mit dem *Toyota Prius* das erste serienmäßige Hybridfahrzeug auf den Markt brachte, welches sowohl mit einer Batterie als auch mit einem Ottomotor betrieben wurde [13].

In den 2000er Jahren setzte der Hersteller *TESLA* einen weiteren Meilenstein in der Elektromobilität. Mit der Einführung des *TESLA Roadster* im Jahr 2008, welcher mit Lithium-Ionen-Batterien betrieben wurde, gelang der Durchbruch in der Akzeptanz der Gesellschaft. Das Auto war in dieser Zeitperiode sehr begehrt und konnte gute Fahrwerte aufweisen, auch wenn von vielen die Qualität der Fahrzeuge bemängelt wurde. Dennoch wurde gerade durch dieses Fahrzeug das Image der Elektrofahrzeuge nachträglich verbessert [15].

Parallel dazu begannen auch Regierungen, den Markt für Elektrofahrzeuge zu fördern. Durch Subventionen, Förderungen und den Ausbau der Ladeinfrastruktur wurde versucht, den Umstieg auf Elektrofahrzeuge attraktiv zu machen. Diese Entwicklung hält bis heute an und wird auch durch das geplante Gesetz der Europäischen Union, ab dem Jahr 2035 nur noch Zulassungen für Fahrzeuge zu erteilen, welche keine Emissionen erzeugen, voraussichtlich verstärkt. So wird immer mehr an klimaneutralen Alternativen wie Elektrofahrzeugen und synthetischen Kraftstoffen geforscht. Der Fokus liegt jedoch eindeutig auf der Forschung an elektrischen Antrieben [16].

Mittlerweile hat die Technologie es von einem Nischendasein in den Mainstream geschafft und findet immer mehr gesellschaftliche Akzeptanz, auch wenn der Großteil der Fahrzeuge weiterhin mit Verbrennungsmotoren betrieben wird. Die positive Entwicklung lässt sich aus der nachfolgenden Statistik entnehmen, welche den Anstieg von Anteil und Anzahl der Elektro- und Hybridfahrzeuge in Deutschland seit dem Jahr 2011 zeigt. Dennoch stagnierte die Zahl der Neuzulassungen in Deutschland in den Jahren 2023 und 2024, was vor allem an dem Auslaufen der staatlichen Förderprämie lag (siehe Kapitel 4). Anfang 2025 erholte sich die Zahl der Neuzulassungen ein wenig, jedoch sorgen anhaltende Krisen weiterhin für einen zurückhaltenden Markt [17].



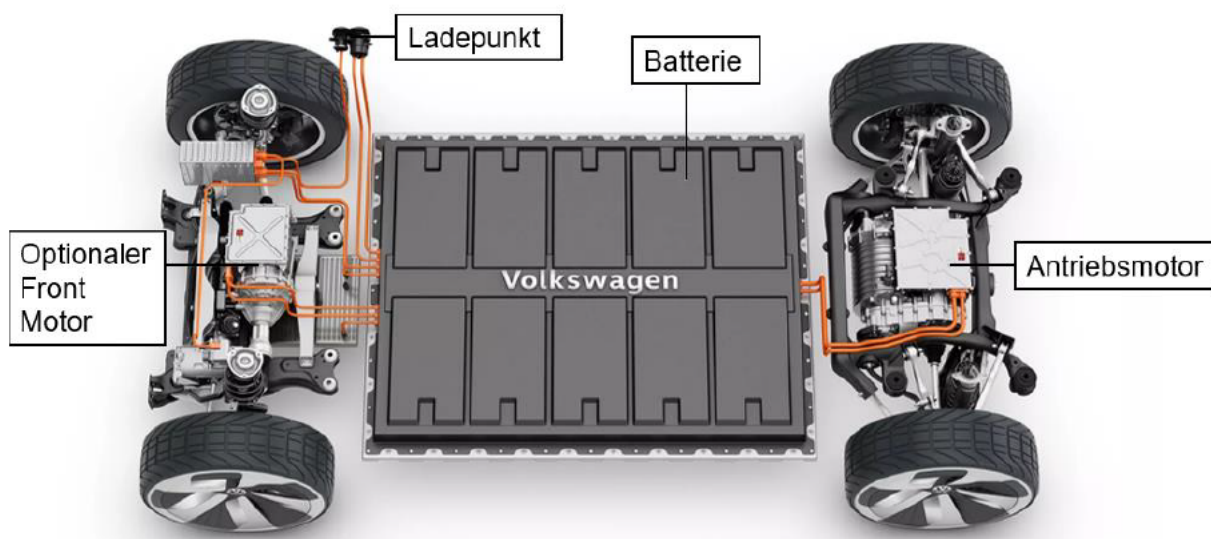
[Abbildung 3.2: Entwicklung der Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen in Deutschland]

### 3.3 Stand der Technik und Ausblick

Die Elektrifizierung und der Stand der Technik bei Elektrofahrzeugen (engl. BEV: *Battery Electric Vehicle*) schreiten rasant voran. Die Entwicklung betrifft alle Fahrzeugklassen, von kleinen Stadtfahrzeugen bis hin zu großen Transportern oder SUVs (engl.: *Sport Utility Vehicle*), von Krafträdern bis hin zu Bussen und Lastkraftwagen.

Dabei beeinflussen die Größe der Fahrzeuge und die Technik, welche verbaut ist, die mögliche Effizienz und die damit einhergehende Umweltbilanz signifikant. Es lässt sich pauschal sagen, dass kleinere Fahrzeuge eher dazu tendieren, eine positivere Umweltbilanz zu haben als größere Fahrzeuge. Dies hat viele Ursachen. Zum einen ist der Energieverbrauch geringer, durch einen geringeren Luftwiderstand, ein geringeres Gewicht und eine meistens geringere Radbreite, welche geringeren Widerstand erzeugt und auch zu weniger Bremsenabrieb bei einer kleineren benötigten Bremse führt. Zum anderen reicht der Verbau einer kleineren Batterie, um die benötigten Anforderungen in Bezug auf Reichweite und Leistung zu erfüllen. Diese Faktoren und dass auch weniger Material für die Karosserie benötigt wird, führen automatisch zu deutlich weniger Ressourcenverbrauch. Beim Design bemühen sich Hersteller, möglichst aerodynamisch zu entwickeln, um unnötig auftretende Luftwiderstände zu vermeiden. Auch der Einsatz leichter Materialien wie Aluminium und Kohlefaser ist dabei ein wichtiger Faktor, um Gewicht einzusparen [21.2]. Bei den Reifen und Bremsen findet eine stetige Weiterentwicklung statt, da die Hersteller auch durch Regularien seitens der Gesetzgeber, wie die geplante Einführung der Euro-7-Norm, gezwungen sind, den erzeugten Abrieb zu beachten.

Es werden spezielle Plattformen für Elektrofahrzeuge konzipiert, welche ausreichend Platz für die Batterie und den Antriebsmotor bieten und sich mit verschiedenen Karosserien kombinieren lassen. Damit können Hersteller deutlich mehr Variationen an Fahrzeugen bieten und verbreitern zusätzlich das Angebot auf dem Markt. Ein Beispiel dafür ist der *Modulare E-Antriebs-Baukasten* (kurz: MEB) von Volkswagen, welcher auf Elektrofahrzeuge abgestimmt ist, aber auch zeigt, dass viele Komponenten, wie die des Fahrwerks, gleich zu Verbrennungsfahrzeugen bleiben [18]. Die unten gezeigte Abbildung des MEB verdeutlicht die Anpassung an Elektrofahrzeuge. So wurde der Motor nach hinten verlegt und der Abgasstrang wird nicht mehr benötigt. Die Fahrwerk-Komponenten bleiben größtenteils gleich.



[Abbildung 3.3: Modularer E-Antriebs-Baukasten von Volkswagen]



Da die Technik der Elektrofahrzeuge eine wichtige Rolle spielt, werden in den nachfolgenden Kapiteln einige der wichtigsten Innovationen und Technologien genauer erläutert. Dazu gehören vor allem die aktuellen und zukünftigen Batteriesysteme, welche das Herzstück eines jeden Elektrofahrzeugs bilden. Des Weiteren wird ein Blick auf die Ladeinfrastruktur, aktuell mögliche Reichweiten, Leistungen und Ladezeiten geworfen. Auch die Software und die damit verbundenen Fahrassistenzsysteme spielen eine wichtige Rolle.

### 3.3.1 Batteriesysteme

Wie bereits erwähnt, bilden Batterien das Herzstück von Elektrofahrzeugen. Dementsprechend sind diese auch das wichtigste Bauteil für die voranschreitende Elektrifizierung. Die Batterie gibt Auskunft über Leistung, Reichweite, Kosten des Fahrzeugs, erforderliche Ladezeiten und die Lebensdauer.

Sie sind der hauptsächliche Kostentreiber, mit etwa 35 % bis 40 % der Gesamtkosten des Fahrzeugs, je nach Größe der Batterie [19].

Aktuell werden in allen gängigen Elektrofahrzeugen Lithium-Ionen-Batterien verwendet. Der Aufbau und die Funktion dieser Batterien werden im Folgenden genauer erläutert.

#### **Aufbau und Funktionsweise von Lithium-Ionen-Batterien (kurz: Li-Ion-Batterien):**

Lithium-Ionen-Batterien finden heutzutage eine breite Verwendung in allen technischen Bereichen, welche eine Speicherung von elektrischer Energie benötigen. Smartphones, Laptops und Elektrofahrzeuge sind nur einige nennenswerte Technologien, die diese Batteriesysteme nutzen.

Eine Lithium-Ionen-Batterie besteht aus einer Anode, auch Minuspol genannt, welche meistens aus Graphit oder anderen kohlenstoffhaltigen Substanzen besteht und den Zweck hat, Lithium-Ionen während des Entladens der Batterie aufzunehmen, und einer Kathode, auch Pluspol genannt, welche aus einer Metallverbindung wie Lithium-Kobaltoxid (chemisch:  $\text{LiCoO}_2$ ) oder Lithium-Eisenphosphat (chemisch:  $\text{LiFePO}_4$ ) zusammengesetzt ist und wiederum Lithium-Ionen während des Ladens abgibt.

Zwischen der Kathode und der Anode befindet sich ein sogenannter Separator, welcher diese beiden Bestandteile durch eine dünne Schicht trennt und dadurch Kurzschlüsse vermeiden soll, jedoch durchlässig für die Ionen ist. Geleitet werden die Ionen durch sogenannte Elektrolyte, meistens eine Lithiumsalzlösung (z. B. Lithiumhexafluorophosphat, chemisch:  $\text{LiPF}_6$ ), in einem organischen Lösungsmittel. Dies ermöglicht den Fluss der Lithium-Ionen. Wichtig sind dabei vor allem die Vorgänge beim Laden und Entladen, welche elektrochemische Reaktionen zur Folge haben.

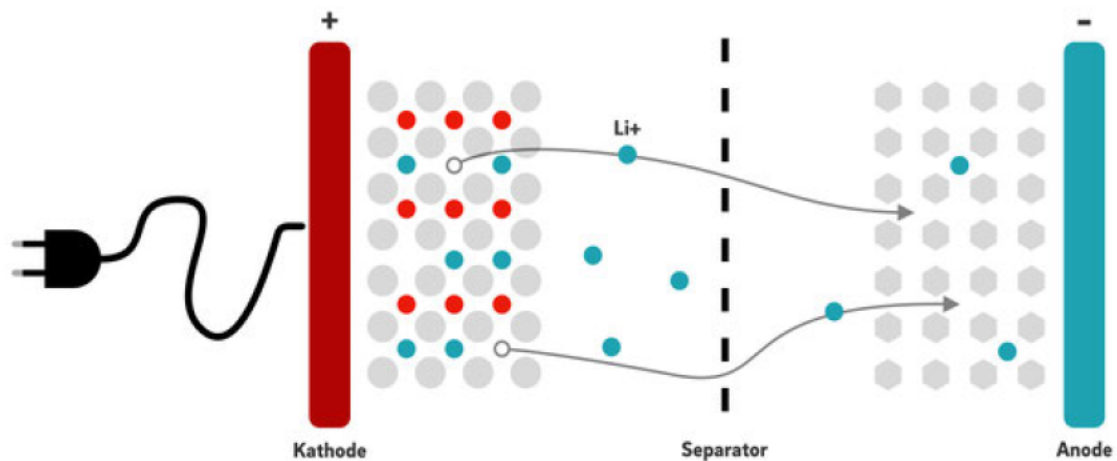
Beim Laden wird eine externe Quelle, ein Ladegerät, an die Batterie angeschlossen und führt Energie in diese ein. Dabei liefert das Gerät Spannung, welche die Elektronen des Pluspols des Ladegeräts an den Minuspol der Batterie befördert. Dieser Vorgang wird auch Elektronenfluss genannt. Da die Ladung kompensiert werden muss, wandern die im Kathodenmaterial befindlichen Lithium-Ionen (chemisch:  $\text{Li}^+$ ) zur Anode der Batterie und werden in dem Anodenmaterial gespeichert. Dieser Vorgang wird als Interkalation bezeichnet.



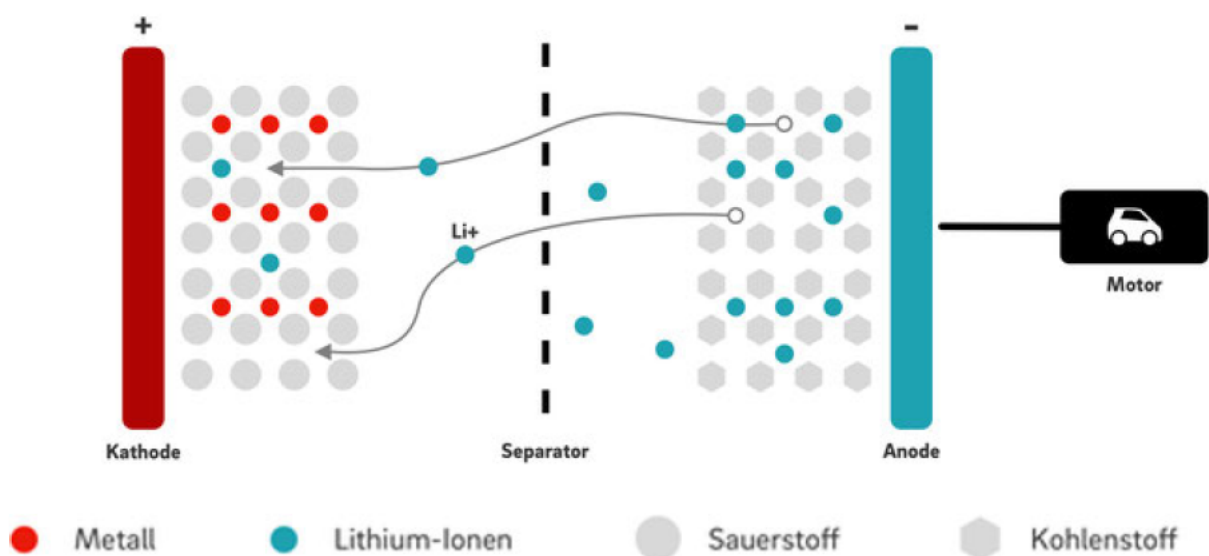
Dabei nehmen die im zum Beispiel Grafit befindlichen Kohlenstoffatome der Anode die kommenden Lithium-Ionen auf und speichern diese ab. Die gespeicherte Energie kann beim Entladen wieder freigegeben werden. Dies passiert beispielsweise bei Beanspruchung des Antriebs, wenn das Elektrofahrzeug gefahren wird.

Bei diesem Vorgang wandern die zuvor in der Anode gespeicherten Lithium-Ionen zurück zur Kathode. Gleichzeitig entsteht ein Elektronenfluss, welcher die Elektronen der Anode über einen externen Stromkreis zur Kathode bewegt und damit das Fahrzeug antreibt. Die sogenannte De-Interkalation folgt, bei welcher die Lithium-Ionen ihre Elektronen verlieren und sich im Kathodenmaterial einlagern und damit die gespeicherte Energie freigeben [20, 21].

### Lithium-Ionen-Akku (Laden)



### Lithium-Ionen-Akku (Entladen)



[Abbildung 3.3.1: Funktionsweise der Li-Ion-Batterie]

Lithium-Ionen-Batterien finden vor allem durch ihre Vorteile viel Verwendung. Sie haben eine hohe Energiedichte. Sie können viel Energie, trotz geringem, zur Verfügung stehendem Raum, speichern. Dies führt bei Elektrofahrzeugen zu erhöhter Reichweite.

So haben einige Fahrzeuge, wie der *TESLA Model S Long Range*, laut *WLTP* bereits die Möglichkeit, mit einer Ladefüllung etwa 600 bis 634 km Reichweite zu erreichen, bei einer Batteriekapazität von etwa 100 kWh. Es können auch sehr hohe Leistungen generiert werden, im vorherigen Beispiel sind es, je nach Modell, etwa 493-750 kW (entspricht etwa 670-1020 PS) [22]. Dazu haben Li-Ion-Batterien eine lange Lebensdauer, da sie viele Lade- und Entladezyklen durchleben können und dabei trotzdem größtenteils ihre mögliche Kapazität behalten.

Jedoch kann abhängig von der Größe und dem Alter der Batterie auch die Ladekapazität sinken. Je größer die Batterie, desto länger kann diese im Gebrauch sein. Mit fortgeschrittenem Alter lässt die Kapazität aufgrund elektrochemischer Prozesse nach. Ein weiterer Faktor ist eine unsachgemäße Nutzung. Man sollte die Batterie möglichst im Bereich 10 %-80 % Ladung verwenden und häufiges Schnelladen vermeiden. Unter Beachtung aller zuvor erwähnter Punkte erreichen Li-Ion-Batterien durchschnittlich ein Alter zwischen acht und zehn Jahren, bis sie unter den Wert von 70 % Kapazität fallen [23, 24].

Es gibt aktuelle Studien, die dies bezeugen. So hat die Stuttgarter Technologie-Beratungsfirma *P3* in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen *AVILOO* mehr als 7000 Li-Ion-Batterien in Elektroautos analysiert und kommt zum Ergebnis, dass diese trotz hoher Laufleistung länger als erwartet haltbar bleiben. Laut dieser Studie bleibt eine Batterie auch nach 200000-300000 km bei durchschnittlich 87 % Kapazität. Dazu ist die Abnahme der Kapazität zu Beginn der Nutzung am stärksten und wird mit größerer Laufleistung geringer. Dies liegt an der Bildung einer sogenannten SEI-Schicht (engl.: *Solid Electrolyte Interphase*) an der Anode nach der ersten Nutzung der Batterie [25].

Ein weiterer Vorteil von Li-Ion-Batterien ist der Wegfall des sogenannten Memory-Effekts. Bei diesem Effekt, welcher vor allem bei alten Nickel-Cadmium-Akkus ein Problem war, kann sich die Kapazität der Batterie durch nicht vollständiges Laden des Akkus nachträglich verschlechtern. Die Batterie merkt sich somit die regelmäßigen Ladezyklen [24, 26].

Jedoch bringen diese Systeme auch Herausforderungen mit sich. Obwohl die Herstellungskosten in den letzten Jahren gesunken sind, sind sie in vielen Hinsichten teurer als Benzin- und Dieselmotore. Dazu sind die benötigten Ressourcen zur Produktion dieser Batterien begrenzt (Lithium, Kobalt und Nickel) und werden teilweise unter schwierigen Umwelt- und Arbeitsbedingungen gewonnen. Eine Temperaturempfindlichkeit, welche bei starken Temperaturschwankungen Einfluss auf die Kapazität hat, und eine mögliche Brandgefahr durch Fehler sind ebenfalls nachgewiesen. Es gab bereits diverse Unfälle mit diesen Batterien, durch Überhitzung bei Herstellungsfehlern oder falscher Benutzung. Jedoch muss man erwähnen, dass die Brandgefahr deutlich geringer ist als bei Verbrennungsfahrzeugen. Dies zeigen auch aktuelle Studien und Zahlen. Meistens entstehen die Brände beim falschen Laden des Fahrzeugs durch nicht geeignete Quellen oder Ladekabel. Die meisten Risikofaktoren für Brände haben Hybridfahrzeuge, weil sie sowohl die verbrennungsspezifischen Bauteile als auch ein Batterie- bzw. Hochvoltsystem haben [27].

Es bleibt im Moment dennoch die bevorzugte Technologie bei der Elektrifizierung und Hersteller versuchen stetig, diese zu verbessern. Es wird an verbesserten Materialien geforscht, um die Energiedichte zu erhöhen, und weil die verfügbaren Ressourcen begrenzt sind, wird ebenfalls an Möglichkeiten geforscht, wie man die Materialien recyceln und wiederverwenden kann.

### 3.3.2 Zukünftige Batteriesysteme

Da die Entwicklung weiter voranschreitet, kommen weitere neue Technologien bei den Batteriesystemen in Frage. Diese haben die Möglichkeit, den Markt in der Elektromobilität zu revolutionieren. Einige dieser Technologien werden im Folgenden erläutert.

#### **Feststoffbatterien (englisch: *Solid-State-Batteries*):**

Diese Batteriesysteme, welche im Moment noch in der Entwicklung sind und als Prototypen in Pilotprojekten vereinzelt getestet werden, haben potenziell durchaus Vorteile gegenüber herkömmlichen Li-Ion-Batterien. Sie bieten verkürzte Ladezeiten und haben dabei eine höhere Energiedichte, was laut VW zu etwa 30 % mehr Reichweite im Vergleich zu Li-Ion-Batterien führt [28].

Der größte Unterschied zu herkömmlichen Batterien ist der feste Elektrolyt, welcher anstelle eines flüssigen eingesetzt wird und dadurch mehr Reichweite, Sicherheit und eine höhere Lebensdauer bringt. Diese Systeme sind im Moment jedoch zu kostenintensiv in der Herstellung, was sie untauglich für eine Serie macht. Viele Hersteller wie VW und Toyota versuchen aber künftig, einige Modelle mit dieser Technologie auszustatten. Beispielsweise möchte Toyota die ersten serienmäßigen Fahrzeuge ab 2027 auf den Markt bringen und verspricht dabei Reichweiten von 1200 km [29].

Es gibt neben Automobilherstellern auch Firmen wie *QuantumScape*, die sich ausschließlich auf die Entwicklung von Feststoffbatterien spezialisiert haben [30].

#### **Natrium-Ionen-Batterien:**

Bei dieser Technologie werden anstelle von Lithium-Ionen Natrium-Ionen verwendet. Da Natrium leichter zu beschaffen und auch weitverbreitet ist, ist es kostengünstiger und umweltfreundlicher, da weniger seltene Rohstoffe gebraucht werden. Der Preis dafür ist wiederum eine geringere Energiedichte. Gerade deshalb gibt es im Moment keine Serienfahrzeuge mit diesem Batteriesystem [31].

#### **Lithium-Eisenphosphat-Batterien (kurz: LFP-Batterie):**

Diese Systeme haben einen ähnlichen Aufbau wie Li-Ion-Batterien, einzig das Kathodenmaterial unterscheidet sich. Es wird Eisenphosphat anstelle von Kobalt oder Nickel verbaut, welches kostengünstiger ist, aber gleichzeitig auch zu einer geringeren Energiedichte führt und somit zu kürzeren Reichweiten. Die Lebensdauer ist jedoch etwas höher, da diese Batterien mehr Ladezyklen überstehen als herkömmliche. Ein weiterer Nachteil dieser Batterien ist die ausgeprägte Kälteempfindlichkeit, die für schlechteres Startverhalten und geringere Leistung sorgen kann. Es gibt jedoch Fahrzeuge, welche bereits mit LFP-Batterien ausgestattet werden. Beispiele sind hier das *Tesla Model 3*, welches in einigen Modellen speziell für den chinesischen Markt dieses Batteriesystem verbaut hat, weil es ausreichend Sicherheit bringt und kostengünstig ist. Die geringere Reichweite wird dabei in Kauf genommen. Auch der chinesische Autohersteller *BuildYourDreams* nutzt diese Technologie in einigen Modellen und hat sich zum Marktführer im Verbau dieser Technologie entwickelt [32].



**Aluminium-Luft-Batterien:**

Hierbei werden Aluminium als Anode und Sauerstoff aus der Luft als Kathode genutzt. Sie bieten eine hohe Energiedichte und haben durch das verbaute Aluminium ein geringes Gewicht. Diese Batterien sind im Moment jedoch nur als Konzepte verfügbar. Dies liegt vor allem daran, dass sie nicht wiederaufladbar sind. Es wird jedoch an einer Möglichkeit geforscht, die Batterien wiederaufladbar zu machen. Ein aktuelles Beispiel liefert die Firma *Phinergy*, welche diese Technologie in verschiedenen Konzeptfahrzeugen getestet hat. Für den Serienmarkt ist diese Technologie im Moment jedoch nicht verfügbar [33].

Abschließend lässt sich sagen, dass es abseits der erwähnten Batteriesysteme noch viele andere Technologien gibt, welche sich im Moment in der Entwicklung befinden. Trotz der Dominanz der Li-Ion-Batterien könnten zukünftig weitere Technologien noch mehr auf die Kundenwünsche abgestimmt werden, um den Markt noch attraktiver zu machen.

**3.3.3. Ladesysteme**

Die verschiedenen Ladesysteme, die heutzutage Verwendung finden, unterscheiden sich grundsätzlich in der Ladegeschwindigkeit und der Bauart des Anschlusses. Es gibt Systeme, welche durch Wechselstrom die Elektrofahrzeuge beladen (kurz: AC-Laden, engl.: *alternating current*). Diese Systeme werden am häufigsten verwendet und eignen sich zum Laden zu Hause wie auch an öffentlichen Ladestationen. Dabei wird der Wechselstrom aus dem Stromnetz in Gleichstrom umgewandelt, welcher in der Batterie des Fahrzeugs gespeichert wird. Der am meisten verbreitete Stecker ist der *Typ-2-Stecker*. Neben dem AC-Laden gibt es noch das Gleichstromladen (kurz: DC-Laden, engl.: *direct current*), welches ein wesentlich schnelleres Ladeergebnis liefern kann, da die Umwandlung in Gleichstrom bereits vor dem Eintritt in die Batterie erfolgt. Das sogenannte *Combined Charging System* (kurz: CCS) ist der heutzutage am meisten genutzte Standard bei dieser Technologie [34].

Unten ein Vergleich der beiden Systeme:

Ladesystem	Ladegeschwindigkeit	Nutzungshäufigkeit
<b>Wechselstrom (AC)-Laden</b>	3,7 kW bis 22 kW – Langsam [34,41] (11 kW ist der Standard)	Sehr hoch (zu Hause und an öffentlichen Ladestationen)
<b>Gleichstrom (DC)-Schnellladen</b>	Ab 50 kW bis 400 kW – Schnell [34, 41]	Hoch (hauptsächlich an Schnellladestationen, wächst weiter)

[Abbildung 3.3.3: Vergleich der Ladesysteme]

In Deutschland gibt es laut der *Bundesnetzagentur* (Stand Dezember 2024) 120.618 Normalladepunkte und 33.419 Schnellladepunkte, ein Anstieg von etwa 23 % im Vergleich zum Dezember 2023. Vorreiter ist dabei Bayern mit 30.464 Ladepunkten, dicht gefolgt von Nordrhein-Westfalen mit 29.299 und Baden-Württemberg mit 26.495 Ladepunkten [35].

Es gibt weitere Technologien, die in naher Zukunft breite Verwendung finden könnten. Zu diesen gehören das induktive Laden und das sogenannte *Vehicle-to-Grid* (kurz: V2G, auch bidirektionales Laden genannt).

Beim induktiven Laden, auch *Wireless Charging* genannt, wird durch die Nutzung von elektromagnetischen Feldern Energie von einer Ladespule zur anderen übertragen, ohne mit dem Fahrzeug und der Ladestation in Berührung zu kommen. Diese Technik ist jedoch gerade in der Entwicklung und für Fahrzeuge nicht genug ausgereift. Der Vorteil ist, dass man für den Ladevorgang keine Kabel mehr benötigt. Dies würde auf der einen Seite den Komfort für den Fahrer erhöhen und auf der anderen Seite auch die Umwelt entlasten, da man weniger Kabel herstellen und recyceln müsste [36, 37].

Bei der *Vehicle-to-Grid*-Technologie wird nicht nur das Fahrzeug mit Strom gespeist, es kann überschüssige Energie wieder zurück in das Stromnetz bringen und somit als mobiler Energiespeicher fungieren, was zu einer höheren Stabilität des Netzes führen kann. Die Idee zu dieser Technologie wurde bereits 1997 von *Anders L. Sorensen* entwickelt. Die ersten Fahrzeuge wurden bereits 2007 an der Universität von Delaware erprobt [38]. Diese Technologie findet vor allem in Dänemark, teilweise in den USA, Großbritannien und auch Japan Verwendung. Der Vorteil ist, dass dabei erneuerbare Energien gefördert werden und es durch ein zusätzliches Einkommen für die Nutzer attraktiv gemacht wird. Es führt jedoch auch zu höherem Batterieverschleiß und stellt die nicht ausgereifte Ladeinfrastruktur vor Probleme. Ein Beispiel für dieses Ladesystem ist der *Nissan Leaf*, in welchem in Zusammenarbeit mit dem Technologieunternehmen *The Mobility House*, dem Energieversorger *Enervie* und dem Übertragungsnetzbetreiber *Amprion* als Pilotprojekt diese Technik bereits angewendet wird [39].

Zusätzlich zum herkömmlichen Laden an dafür vorgesehenen Ladestationen sind die meisten Elektrofahrzeuge mit einem System ausgestattet, welches Rekuperation ermöglicht. Darunter versteht man bei Elektrofahrzeugen die Energierückgewinnung durch den Elektromotor, welcher wie ein Generator arbeitet und die kinetische Energie des fahrenden Fahrzeugs in elektrische Energie umwandelt, statt diese durch die Bremsen in Form von Wärme zu verlieren. Dabei wird das Fahrzeug automatisch abgebremst, ohne die Bremse zu betätigen. Dieser Prozess verlängert die Reichweite von Elektrofahrzeugen und sorgt auch für weniger Bremsverschleiß, da die Bremse weniger betätigt werden muss. Eine WLTP-Messung mit verschiedenen Fahrzeugen zeigte, dass durchschnittlich 22 % der Energie, die bei der Fahrt im Stadtverkehr verloren geht, sich mithilfe von Rekuperation zurückgewinnen lassen [40].

### 3.3.4 Batteriemanagementsystem

In jedem Elektrofahrzeug ist neben der Batterie auch das *Batteriemanagementsystem* (kurz: BMS) ein fester Bestandteil. Diese Systeme überwachen die Batterie und sorgen für einen optimalen Betrieb. Dies erfolgt durch die ständige Kontrolle der wichtigsten Parameter. Diese sind in erster Linie die Temperatur, die Spannung und der Ladezustand. Um eine möglichst lange Lebensdauer zu ermöglichen, führt dieses System eigenständig Balancierungsprozesse der einzelnen Zellen durch, indem es für ein gleichmäßiges Aufladen der Einzelzellen sorgt und somit Überlastungen vermeidet.

Durch eingebaute Sicherheitsmechanismen schützt das BMS die Batterie vor Überladung und anderen Fehlern, indem es die Batterie bei Bedarf vom Stromkreis trennt. Es kommuniziert mit der Ladeinfrastruktur und mit den Fahrzeugkomponenten, um Ladevorgänge zu optimieren.

Durch das Sammeln der verschiedenen Daten kann das BMS Informationen zu der Haltbarkeit und der verbleibenden Lebensdauer der Batterie liefern und somit Anhaltspunkte für anstehende Reparaturen geben. Auch die unsachgemäße Nutzung von Batterien, durch beispielsweise Tiefentladung, wird an den Hersteller übermittelt. Diese können dadurch bei Defekten die genauen Ursachen feststellen [42].

### 3.3.5. Fahrassistenzsysteme

In den vergangenen Jahren ist die Technologie der Fahrassistenzsysteme ebenfalls vorangeschritten und wird in den meisten modernen Fahrzeugen verbaut. Grundsätzlich werden diese Systeme eingesetzt, um die Sicherheit zu verbessern und Unfälle zu vermeiden. Sie tragen jedoch ebenfalls zur Elektrifizierung und der einhergehenden Reduzierung von Emissionen bei. Sie steigern in erster Linie die Effizienz, verbessern die Steuerung und Nutzung durch den Verbraucher und optimieren das Fahrverhalten.

Beispielsweise gibt es sogenannte Spurhalteassistenten und adaptive Geschwindigkeitsregelungen (englisch: *Adaptive Cruise Control*; kurz: ACC). Diese modernen Systeme können den Fahrer sowohl bei der Längsführung, durch selbständiges Bremsen oder durch Beschleunigung, um den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug zu wahren, als auch bei der Querführung, durch das Einhalten der Fahrspur, unterstützen. Diese Systeme fördern eine gleichmäßige Fahrweise und optimieren dadurch den Kraftstoffverbrauch, was zwangsläufig zu weniger Emissionen führt. Der Spurhalteassistent ist seit dem Jahr 2024 verpflichtend für jedes Neufahrzeug. Ebenfalls ist seit diesem Jahr der Notbremsassistent verpflichtend, welcher Kollisionen mit anderen Fahrzeugen oder Fußgängern und Radfahrern vermeiden soll. Weitere verpflichtende Assistenzsysteme sind der intelligente Geschwindigkeitsassistent, das adaptive Bremslicht (gibt blinkendes Signal bei Notbremsungen), eine Black-Box (zum Speichern von Unfalldaten), eine Müdigkeitserkennung, der Rückfahrassistent, das Reifendruckkontrollsystem und die alkoholempfindliche Rückfahrsperrung (verhindert Trunkenheitsfahrten) [43].

Auch andere Systeme, die automatische Verkehrszeichenerkennung bieten, optimierte Navigationsdaten bereitstellen und intelligente Energiemanagementsysteme haben, welche ein effizienteres Zusammenspiel zwischen Bremsen, Batterien und Antrieben durch das Einschalten von verschiedenen Fahrmodi (z. B. Eco, Normal, Sport) bieten, tragen zu einer positiven Entwicklung bei.



In naher Zukunft könnte vor allem das autonome Fahren eine große Rolle spielen. Dieses ist derzeit in Entwicklung, es gibt jedoch massive Fortschritte. Vor allem der Stauassistent, welcher in der Lage ist, ein Fahrzeug in der bestimmten Situation eines Staus zu navigieren, indem es die Lenkung, Beschleunigung und auch die Spurwechsel eigenständig ausführt, wird in einigen Fahrzeugen verbaut [44]. Bis ein Fahrzeug jedoch in der Lage sein wird, komplett auf einen Fahrer zu verzichten und in jeder Situation die richtige Entscheidung zu treffen, könnte es noch lange Zeit dauern. Hier ist vor allem der Aspekt der Schuldfrage im Falle eines Unfalls ungeklärt und auch die Umsetzung problematisch, da ein gemischter Verkehr aus menschlichen Fahrern und autonomen Systemen zu Missverständnissen führen kann, da Menschen in vielerlei Hinsicht Fehlerquellen im Verkehr sein können. Ein System, welches sich in so einen Verkehr integrieren muss, sollte auf alle möglichen Geschehnisse vorprogrammiert sein und fehlerfrei funktionieren.

Alle genannten Systeme können einen positiven Einfluss auf die Umwelt haben. Sie fördern eine gleichmäßige Fahrweise, was in gleichmäßigen Verkehrsflüssen resultiert und somit Staus vermeidet. Dies hat einen direkten positiven Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch und reduziert damit auch den Ausstoß von Schadstoffen. Wenn autonome Fahrzeuge miteinander kommunizieren und Daten in Echtzeit austauschen, können optimale Routen koordiniert werden, was ebenfalls zu diesem positiven Effekt beiträgt. Da durch die erhöhte Sicherheit auch viele Unfälle vermieden werden könnten, müssten auch weniger Reparaturen durchgeführt werden, was zu weniger Materialverbrauch führt und auch zu einer erhöhten Lebensdauer der Fahrzeuge. Dadurch müssten weniger neue Fahrzeuge produziert werden. Es ist jedoch nicht genau in Zahlen belegbar, welchen Einfluss all diese Systeme auf die Umwelt haben, da der Verbau dieser Systeme nicht in allen Ländern verpflichtend ist. Es bleibt deshalb abzuwarten, ob sich der Aufwand mit dem Nutzen rechnet, da die Entwicklung und der Einsatz relativ teuer sind. So kostet der *Drive Pilot*, ein Stauassistent von *Mercedes-Benz*, welcher zukünftig auch komplett autonom fahren könnte, etwa 6000-7000 Euro Aufpreis, je nach Fahrzeugklasse [44]. Dazu bestehen vor allem beim autonomen Fahren noch viele gesetzliche Hürden, die überwunden werden müssen (siehe Kapitel 4).

### 3.4 Bedeutung und Herausforderungen der Elektromobilität

Da die Elektromobilität als umweltfreundliche Alternative zu konventionellen Fahrzeugen mit Otto- oder Dieselmotor angesehen wird, gewinnt diese immer mehr an Bedeutung in der Umweltpolitik, der Gesellschaft und bei den Automobilherstellern. Die Bemühungen, die zukünftigen Klimaziele zu erreichen und die fortgeschrittene Umweltbelastung zu verringern, führen zwangsläufig zu einem Umstieg auf schadstoffarme Technologien, welcher durch die Elektrifizierung erreicht werden könnte. Die Vorteile gegenüber herkömmlichen Verbrennungsmotoren kann man im Wirkungsgrad erkennen. Dieser beschreibt die Effizienz bzw. die Nutzbarkeit von Energien. So können Elektrofahrzeuge etwa 65 %-70 % der elektrischen Energie in Bewegungsenergie umwandeln, wenn man die Verluste beim Aufladen beachtet. Dieselmotoren kommen auf Werte von etwa 45 % und Benzinmotoren erreichen bei optimalen Bedingungen lediglich 30 %-35 %. Elektrofahrzeuge können ihre Energie also deutlich effizienter nutzen [45].

Man hat durch Elektrofahrzeuge die Möglichkeit, sich emissionsfrei und mit einer geringeren Geräuscentwicklung zu bewegen, was gerade in städtischen Gebieten mit dichter Urbanisierung einen massiven Vorteil bietet.

Neue Technologien würden neue Mobilitätslösungen bieten, die Umweltbelastungen durch den Verkehr signifikant reduzieren und durch die Nutzung von regenerativem Strom ihre Umweltbilanz stetig verbessern. Das macht sie für moderne und zukünftige Mobilitätskonzepte weltweit unabdingbar.

Durch die niedrigen Energiekosten sind Elektrofahrzeuge auch für Verbraucher interessant. So hat laut *Statista* das Elektroauto im März 2025 weiterhin die günstigsten Energiekosten im Vergleich aller Antriebsarten. Anhand einer Berechnung der aktuellen Energiepreise sowie des durchschnittlichen Verbrauchs einer Klein- bzw. Kompaktklasse kam man auf einen Wert von 5,13 € pro 100 km Fahrstrecke [46].

Der Umstieg auf Elektromobilität betrifft jedoch nicht nur die Fahrzeuge und Endkunden. Ein großer Baustein ist die Infrastruktur. Der Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastrukturen ist essenziell, um Elektromobilität attraktiv zu machen und die Akzeptanz zu erhöhen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Elektrifizierung ist die Herkunft der Energie. Der Strommix sollte möglichst aus erneuerbaren Energien stammen, um auch eine signifikant bessere Umweltbilanz zu erreichen [47].

Auch die Produktion dieser Fahrzeuge sollte darauf abgestimmt werden und der Markt sollte unterstützt werden. Man muss eine größere Akzeptanz in der Gesellschaft erreichen durch mehr Bildungsmaßnahmen und Informationskampagnen. So könnte man beispielsweise die Führerscheinausbildung erweitern und den zukünftigen Fahrzeugführern die Vorteile der Elektromobilität bewusster machen.

Die Batterieentwicklung sollte darauf ausgelegt werden, eine möglichst lange Lebensdauer zu ermöglichen, da dadurch weniger Batterien produziert und später auch entsorgt werden müssen. Diese beiden Punkte sind das größte Problem für die Umweltbilanz. Obwohl die Herstellung eine hohe Umweltbelastung darstellt, gleicht sich diese im späteren Fahrbetrieb jedoch aus, vor allem wenn erneuerbare Energien verwendet werden. So hat eine Studie des *Vereins Deutscher Ingenieure* (kurz: VDI), welche die  $\text{CO}_{2\text{äq}}$ -Emissionen von PKWs mit verschiedenen Antriebssystemen untersucht hat, gezeigt, dass der Antriebsstrang bei der Herstellung von Elektrofahrzeugen bei einer üblichen 82-kWh-Akkukapazität etwa 10,12  $\text{tCO}_{2\text{äq}}$  erzeugt, wobei die Batterie mit 8,37  $\text{tCO}_{2\text{äq}}$  für 83 % der erzeugten Treibhausgase verantwortlich ist [49, 50].



Die restlichen Anteile ergeben sich aus Ladegerät, Elektromaschine, Steuergeräten und dem Getriebe.  $\text{CO}_{2\text{äq}}$  sind Maßeinheiten, um verschiedene Treibhausgase, die den Treibhauseffekt vorantreiben, zusammenzufassen [48].

Im Vergleich dazu erzeugt ein Benzinmotor etwa 1,21  $\text{tCO}_{2\text{äq}}$ . Bei dem Restfahrzeug hat man jedoch etwa die gleichen Treibhauswerte von etwa 5,6-7,8  $\text{tCO}_{2\text{äq}}$ , sowohl bei Elektro- als auch bei Verbrennungsmotoren, da die Karosserie und das Fahrwerk ähnlich aufgebaut sind. In der Studie zeigte sich, dass ab einer Laufleistung von 90000 km das Elektroauto umweltfreundlicher wird als der Verbrenner. Bei einer 62-kWh-Batterie einer Kompaktklasse wie einem VW Golf und einer Laufleistung von 200000 km stößt ein Elektroauto circa 24,2  $\text{tCO}_{2\text{äq}}$  aus. Der Ausstoß bei einem Plug-in-Hybrid liegt bei 24,8  $\text{tCO}_{2\text{äq}}$ , während ein Benzinmotor 37,1  $\text{tCO}_{2\text{äq}}$  und ein Dieselmotor 33  $\text{tCO}_{2\text{äq}}$  ausstoßen. Wenn das Elektroauto ausschließlich von Solarenergie betrieben wird, kommt man sogar auf einen deutlich niedrigeren Wert von 19,1  $\text{tCO}_{2\text{äq}}$  [49, 50].

Die Gesamtbetriebskosten (engl.: *Total Cost of Ownership*) sind laut einer Studie des *Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung* bei Elektrofahrzeugen, auf einen längeren Zeitraum betrachtet, meistens geringer als bei herkömmlichen Verbrennungsfahrzeugen. Dies hängt vom Fahrzeugsegment, von der Ladebedingung (das Aufladen durch eigene Photovoltaikanlagen ist bis zu 42 % günstiger als das durchgängige Nutzen öffentlicher Ladeinfrastruktur) und von den Energiepreisen ab [51].

Der Markt sollte ebenfalls überdacht werden, denn zurzeit sind Elektrofahrzeuge immer noch teuer in der Anschaffung, auch wenn man sieht, dass Li-Ion-Batterien in den letzten Jahren erschwinglicher geworden sind und die Kosten immer weiter sinken. So lag der Preis im Jahr 2023 bei 152 US-Dollar pro Kilowattstunde und ist im Vergleich zum Jahr 2013, in dem der Preis noch bei 649 US-Dollar pro Kilowattstunde lag, deutlich zurückgegangen [52].

Der Gesetzgeber sollte Käufer durch Förderprogramme, Subventionen und Steuerbefreiungen zum Umstieg anregen. Wie stark der Einfluss solcher Programme ist, wird in Kapitel 4 beleuchtet.

Ein weiterer Faktor ist die Erarbeitung neuer Technologien. Vor allem die Fahrassistenzsysteme sind ausschlaggebend für eine gelungene Elektrifizierung. Zusätzlich könnte auch das V2G in diesem Zusammenhang in der Zukunft eine erhebliche Rolle spielen.

Abschließend lässt sich sagen, dass die Elektromobilität, unterstützt durch technologische Innovationen und eine verbesserte Infrastruktur, ein großes Potenzial bietet, die Mobilität der Zukunft nachhaltig zu gestalten. Die Herausforderungen liegen jedoch darin, die Kosteneffizienz zu steigern, die Ladeinfrastruktur auszubauen und die Nutzung erneuerbarer Energien zu maximieren, um die Elektromobilität als festen Bestandteil des Verkehrssystems zu etablieren.

## 4. Konsequenzen für den Gesetzgeber

### 4.1 Sicherheitsstandards und Anforderungen an die Infrastruktur

Eine bedeutende Konsequenz für den Gesetzgeber und die Republik ist die mit der Umstellung von Verbrennungsmotoren auf batterieelektrische Motoren daher kommende unvermeidliche Überarbeitung der Infrastruktur durch neue Anforderungen. Diese Anpassung der Infrastruktur ist essenziell für die weitergehende beziehungsweise wachsende Verbreitung der Elektromobilität. Auch im Dienst der Akzeptanz stellen die Veränderungen einen wichtigen Faktor dar.

Auffällig sind hierbei die immer noch mangelnden Lademöglichkeiten in vielen Regionen Europas, trotz der immer schärfer werdenden Gesetzgebung. Auch in Deutschland sind diese Lademöglichkeiten noch unzureichend, obwohl sie nach den Niederlanden den zweiten Platz in der *Anzahl der Ladepunkte für Elektrofahrzeuge in Europa nach Ländern im Jahr 2024* belegen. Deutschland kommt hier insgesamt auf etwa 120.600 Ladepunkte, wobei es in den Niederlanden rund 144.500 sind [53].

Im Vergleich zum Bestand der angemeldeten elektrischen Fahrzeuge in Deutschland aus dem Jahre 2024 von circa 1,4 Millionen, laut dem *Kraftfahrt-Bundesamt* [54], erscheinen diese dennoch unzureichend. Hierbei lässt sich sagen, dass pro elektrisch angetriebenem Fahrzeug circa 0,09 Ladestationen zur Verfügung stehen. Ohne Berücksichtigung der Standorte wird deutlich, dass eine Überarbeitung der Infrastruktur vonnöten ist.

Als Vorzeigebispiel für die staatlichen Bemühungen, das Wachstum und die Akzeptanz von batterieangetriebenen Fahrzeugen zu unterstützen, lässt sich der aktuelle Spitzenreiter im Zusammenhang mit dem Ausbau von Ladestützpunkten, die Niederlande, hervorheben. Erhebliche Fortschritte haben hierbei Städte wie Amsterdam gemacht. Demnach sind alle Bürger berechtigt, Ladestationen in ihrer Nähe zu erhalten, sofern diese öffentlich nutzbar sind und zuvor nachweislich keine Ladestationen in unmittelbarer Nähe vorliegen [55].

In Deutschland hingegen kam es im Jahr 2024 dazu, dass staatliche Förderprogramme für neue Ladepunkte aufgrund der Haushaltskrise eingestellt wurden. Der Bau von Ladestationen im Eigenheim sollte in Verbindung mit der Installation einer Solaranlage und einem Solarspeicher finanziell unterstützt werden. Allerdings auch unter bestimmten Voraussetzungen, wie dem Besitz eines neuen Elektrofahrzeuges, einer neuen Wallbox sowie einer neuen Solaranlage und eines Speichers. Unabhängig davon gibt es jedoch noch Zuschüsse von den Bundesländern selbst, welche allerdings von Bundesland zu Bundesland variieren [56].

Zu beachten gilt dennoch, dass die Ladestationen für elektrische Fahrzeuge nur Strom aus erneuerbaren Energien gewinnen, um den priorisierten Zielen, der Reduzierung von Emissionen, gerecht zu werden und optimal nachzugehen.

Ein weiterer enorm wichtiger Aspekt bei den Anforderungen an die Infrastruktur stellt die Verbesserung beziehungsweise das Ausbauen des Stromnetzes dar.

Die Notwendigkeit dieser Anforderung ist mit der steigenden Anzahl an Elektrofahrzeugen bedeutender geworden. Ladestationen erfordern eine hohe Ladeleistung. Insbesondere Schnellladestationen, wie zum Beispiel die *Supercharger* von *TESLA*, welche mit einer Ladeleistung von bis zu 250 kWh laden können, erfordern hohe Leistungen [57].



[Abbildung 4.1.2: TESLA Supercharger]

Damit es nicht zu Überlastungen oder Instabilitäten des Stromnetzes kommt, sind diese Hürden des Ausbaus des Stromnetzes zu bewältigen. Im Folgenden wird noch etwas genauer auf Anpassungen im Bereich des Stromnetzes eingegangen.



#### 4.2 Erforderliche gesetzliche Randbedingungen und Anpassung der Gesetze

Um der Verbreitung und Erweiterung der Elektromobilität nachzukommen, ist es von großer Priorität, eine Modernisierung des Stromnetzes durchzuführen. Es geht hierbei jedoch nicht allein um den Ausbau in Hinblick auf die Infrastruktur, sondern auch um die Anpassung der Gesetzeslage und dieser gesetzlichen Randbedingungen.

In Anbetracht der EU-Emissionsvorschriften und vor allem der Emissionsziele in den kommenden Jahren ist es vorgesehen, die Treibhausgase zu minimieren. Das Ausbauen und die Förderung von dezentraler, erneuerbarer Energiegewinnung stehen somit im Fokus. Es ist von großer Bedeutung, diese, beispielsweise aus Wind- oder Solarenergie erwerbenden Quellen, in das Stromnetz zu integrieren.

Im Jahre 2000 ersetzte das *Erneuerbare-Energien-Gesetz* (kurz: EEG) das *Stromeinspeisungsgesetz*. Es trägt dazu bei, dass immer mehr Strom aus Quellen erneuerbarer Energien gewonnen wird. Nach zahlreichen Anpassungen in den vergangenen 25 Jahren zielt dieses Gesetz seit dem Jahr 2023 darauf ab, die Stromgewinnung bis 2030 hauptsächlich aus erneuerbaren Energiequellen zu gewährleisten. Es soll bis zu circa 80 % des deutschen Bruttostromverbrauches ausmachen [58].

Mit dem jüngsten Update des *Erneuerbare-Energien-Gesetzes* wird beispielweise eine Verdreifachung des Photovoltaik-Zubaus bis 2026 angepeilt. Bis 2035 soll eine fast treibhausemissionsfreie Stromgewinnung erreicht sein [59].

Das *Erneuerbare-Energie-Gesetz* regelt im Allgemeinen die Integration von erneuerbaren Energiequellen in das deutsche Stromnetz. Dabei zielt es darauf ab, den Ausbau einer zielgerichteten, emissionsarmen Energiegewinnung zu verbreiten und zu beschleunigen. Der Anteil des sogenannten *grünen Stroms* soll erhöht werden. Anlagenbetreibern wie zum Beispiel dem deutschen Konzern *Eon* werden Vergütungen durch das EEG garantiert [59].

Neben dem EEG bewirkt auch das *Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz* (kurz: NABEG) eine Beschleunigung der länderübergreifenden Höchstspannungsleitungen. Dieses hat außerdem zur Folge, dass Anträge auf Optimierungen oder sogar Neuverlegungen von Stromleitungen deutlich vereinfacht wurden. Es zielt außerdem darauf ab, immer mehr benötigte Korridore für den Ausbau von Stromleitungen seitens der *Bundesnetzagentur* zu genehmigen [60].

Als erforderliche gesetzliche Randbedingung für die Umsetzung der Emissionsziele ist die Integration von sogenannten *Smart Grids*, einem intelligenten Stromnetz, ein wertvoller Baustein [61]. Diese würden die Ausbauten des Stromnetzes ergänzen und insbesondere in Bezug auf die Anforderungen die neuen Emissionsziele unterstützen. Durch Optimierungen der Stromnetze erzielen sie mehr Energieeffizienz und können erneuerbare Energien einfacher in diese Stromnetze integrieren. *Smart Grids* haben im Allgemeinen den Zweck, die Netzstabilität aufrechtzuerhalten, indem sie durch die dazu erforderlichen *Smart Meter* Informationen in Echtzeit erfassen und anschließend, quasi automatisiert, verarbeiten können [62].

Dies passiert beispielsweise bei Spannungsausfällen. Überlastungen sollen besser behandelt werden und Wiederherstellungsprozesse nach Stromausfällen sollen deutlich schneller ablaufen. Dafür sind neben den *Smart Metern* auch Stromspeicher erforderlich, welche Energien bei vorkommenden Überschüssen speichern und bei Bedarf zügig abgeben können [62]. Allgemein lässt sich sagen, dass die Integration von *Smart Grids* das Energiesparverhalten deutlich verbessert sowie Überschüsse oder Engpässe durch Daten aus genauen Messungen verhindert. Geplant sind ebenso batterieangetriebene Fahrzeuge, welche diese Funktion als Energiespeicher erfüllen können und so ein nahtlos ergänzendes Zwischenlager zum Stromnetz bieten [62].

Als eine der primären erforderlichen gesetzlichen Randbedingungen gilt die Überarbeitung der Sicherheitsstandards, speziell für die Batterien der Elektromobilität. Auch wenn elektrisch angetriebene Fahrzeuge ungefähr dieselbe Brandgefahr haben wie Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor, stellen die Lithium-Ionen-Batterien immer noch ein gewisses Risiko im Bereich eines potenziellen Brandes dar, da diese nur schwer löschar sind [63].

Batterien für Fahrzeuge werden zwar nur unter strengen Sicherheitsvorkehrungen zugelassen und ausgiebig getestet, allerdings stehen diese noch immer vor einem sicherheitstechnischen Risiko, gerade bei äußerer oder innerer Beschädigung. Schutz vor Kurzschlüssen ist verpflichtend für Autohersteller. Batteriebrände können unter verschiedenen Szenarien ausgelöst werden, wovon einige auf menschliches Verschulden zurückzuführen sind. Nicht nur Unfälle und daraus resultierende äußere Schäden der Batterien, sondern auch Fehlverhalten beim Ladevorgang können zu einem erhöhten Brandrisiko führen. Hierbei ist eine Standardisierung eines Sicherheitskonzepts seitens der Automobilhersteller unumgänglich. Auf diese gesetzliche Randbedingung wird im Kapitel *Transparenz und Nachvollziehbarkeit von Algorithmen der Hersteller* noch etwas genauer eingegangen.

Li-Ion-Batterien können sich auch selbst entzünden. Aktuell gibt es Warnsysteme, welche Minuten vor dem Entzünden, auch *thermisches Durchgehen* genannt, ein Signal an den Fahrer senden. Die Insassen werden zwar vor potenziellen Bränden gerettet, die Batterie allerdings nicht vor einem Totalschaden. Hierfür ist es oft schon zu spät. Verpflichtende frühzeitige Erkennungs- bzw. Warnsysteme könnten einen enormen positiven Einfluss auf die Elektromobilität haben. So arbeitet unter anderem die *Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung* an solchen Frühwarnsystemen, um die Batterien vor größeren Schäden in Zukunft zu schützen [64, 65].

Eine weitere sinnvolle gesetzliche Randbedingung im Sinne der Batteriekatastrophen sind die Schulungen der Rettungskräfte. Es ist notwendig, dass Rettungsorganisationen lückenfrei auf dem aktuellen Stand der Löscharverfahren von Batteriebränden sind [65]. Der verpflichtende Besitz einer Rettungskarte und dementsprechende Seminare zur Aufklärung für Rettungskräfte könnten ebenfalls eine wichtige Rolle spielen. Alle hochspannungsführenden Komponenten jedes einzelnen Fahrzeugtyps sind im Falle eines Unfalls oder Brandes auf dieser Karte gekennzeichnet und für das Rettungspersonal ablesbar [66].



Da Elektrofahrzeuge sehr geringe Lärmemissionen erzeugen, muss zum Schutz von Fußgängern und Radfahrern ein Geräuschsystem verbaut sein, welches auf das Fahrzeug, bei Geschwindigkeiten ab 20 km/h, aufmerksam macht. Ein Gesetz dazu ist am 01.07.2021 EU-weit in Kraft getreten [67].

Einen großen Einfluss auf die Umwelt, im Zusammenhang mit der Elektromobilität, haben logischerweise auch die Batterien an sich. Gerade die Produktion von Lithium-Ionen-Batterien ist sehr ressourcen- und energieintensiv. Die Herstellung von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen benötigt mehr Rohstoffe als herkömmliche Verbrennungsmotoren, auch wenn die Nutzung umweltfreundlicher erscheint. Lithium und Kobalt bilden dabei die wichtigsten Rohstoffe ab. Für die in den Autos verbauten Magnete, werden Metalle von seltenen Erden benötigt [68]. Wichtig ist es hierbei den ökologischen Herausforderungen gerecht zu werden. Der Bedarf an benötigten Rohstoffen ist zwar langfristig gedeckt, steht aber vor kurzfristigen Preiserhöhungen.

Somit kommt es zu erforderlichen gesetzlichen Randbedingungen um diese Umstände, aus umweltfreundlicher sowie ökologischer Sicht, standzuhalten. Für alle Arten von Batterien gelten hier dieselben Verordnungen. Unabhängig davon, ob es sich um Elektrofahrzeuge oder herkömmliche Gerätebatterien handelt. Im Juni 2023 führte die EU eine Richtlinie zur Batterieverordnung ein, welche sicherstellen soll, dass es einen geregelten Lebenszyklus für Batterien gibt. Batterien sollen demnach länger halten und einfacher austauschbar sein. Eine Kreislaufwirtschaft ist das Ziel der Verordnung. Nicht nur die Batterien sollen nach dem ersten Lebenszyklus recycelt und im Falle einer folgenden nicht Eignung für Elektrofahrzeuge anderweitig genutzt werden, sondern auch das Material in den Batterien soll auf einen bestimmten Mindestanteil von recyclebaren Rohstoffen, ab August 2031, gesetzt sein [69, 70]. Hier kann der sogenannte Batteriepass, welcher ab dem 1.1.2026 EU-weit verpflichtend für das Vermarkten von Industrie- und auch Antriebsbatterien wird, eine Lösung bieten [71]. Weitere Anpassungen der Gesetze könnten der Entwicklung der Elektromobilität beistehen und den Erwerb von Elektrofahrzeugen attraktiver machen.

Die Zulassungsanzahl von Elektrofahrzeugen hat im Jahr 2023 nachgelassen. Zusammenhängen könnte das mit dem Entfall der Umweltbonusprämie von 2016, welche vorgab, dass den Erwerbern eines neu zugelassenen Elektrofahrzeuges eine Prämie von bis zu 6750 Euro zustand. Hier wurde schon zwischen reinen E-Autos und Hybridfahrzeugen differenziert. Wobei Hybridfahrzeuge schon ab 2023 nicht mehr gefördert wurden, kam das Ende der Förderung für reine E-Fahrzeuge mit dem Ende des Jahres 2023. Die Durchführung von geplanter Förderung, im Jahr 2025, ist noch ungewiss, aufgrund der anstehenden neuen Bundesregierung [72].

Ein weiterer finanzieller Vorteil von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen sind die steuerlichen Vergünstigungen. Es gilt nach wie vor eine Befreiung von der Kfz-Steuer, für Besitzer eines Elektrofahrzeuges, bis zum 31.12.2030 [73]. Außerdem werden Arbeitnehmer, welche ein Fahrzeug von ihrem Arbeitgeber gestellt bekommen, von der Besteuerung des geldwerten Vorteils profitieren. Wo Verbrennungsmotoren mit den bekannten 1% des Bruttolistenpreises monatlich besteuert werden, fallen für Eigentümer eines elektrischen Fahrzeuges nur 0,5% an, bis zu einem Wert von 60000 Euro. Bei einem Wert über 60000 Euro bis 70000 Euro sogar nur 0.25 %. Dies bringt eine gewisse Attraktivität für die Wahl eines elektrischen Fahrzeuges mit sich.

Allerdings können lange Auslieferungszeiten und die damit möglichen Preiserhöhungen seitens der Hersteller dazu führen, dass ein Fahrzeug die 70000 Euro Marke überschreitet und somit dieses, genau wie ein Verbrenner, besteuert werden muss. Denn entscheidend ist der Wert bei der Zulassung und somit wird der Betrag der Steuererklärung gefährdet [74].

Diese zwei finanziellen Vorteile enden jedoch im Jahr 2030 und die Herausforderung der Attraktivität von Elektrofahrzeugen, vor allem preislich, bleibt für den Gesetzgeber bestehen.

Im April 2019 wurde die Verordnung *EU 2019/631* verabschiedet. Diese legt den CO<sub>2</sub> Flottengrenzwert fest und schränkt den CO<sub>2</sub> Wert aller in der EU hergestellten Personenkraftfahrzeuge ein. Der Wert gilt für den Durchschnitt aller zugelassenen Fahrzeuge eines Herstellers und wird in gCO<sub>2</sub>/km angegeben. Von 2015 bis 2019 lag dieser bei 130 gCO<sub>2</sub>/km nach dem alten Prüfungsverfahren (NEFZ) und wurde im Jahr 2020 auf 95 gCO<sub>2</sub>/km ebenfalls nach dem alten Prüfverfahren, verschärft. Hierbei zählen die schlechtesten 5 % der Neuwagen jedoch nicht dazu. Seit 2021 gilt der Wert jedoch für die gesamte Flotte. Ziel der Verordnung war es, eine verpflichtende Verminderung der CO<sub>2</sub>-Werte von 15 % für die Hersteller in den Jahren 2025 bis 2029 gegenüber den Werten von 2021 zu erzielen [75].

Mit der Einführung von Umweltzonen kamen erste Maßnahmen dafür zustande. In Kapitel 2.2 werden die unterschiedlichen Schadstoffgruppen erläutert. Diese spielen eine bedeutende Rolle bei den sogenannten Umweltzonen. Als europaweite Maßnahme gegen die Bekämpfung von schlechter Luftqualität werden diese von betroffenen Städten eingerichtet. 2018 richtete die Stadt Hamburg als erste Stadt Dieselfahrverbote ein [76]. Die Umweltzonen untersagen das Befahren mit Fahrzeugen, welche bestimmte Bedingungen nicht erfüllen. In erster Linie geht es hierbei um Partikel- und Stickstoffdioxidemissionen. Folglich war das Befahren solcher Zonen nur Fahrzeugen der Schadstoffgruppe 4 gestattet. In Deutschland wurden mittlerweile viele Umweltzonen aufgehoben und aktuell sind nur noch 37 in Betrieb. Die Aufhebung erfolgt in der Regel nach Messungen, welche keine Grenzwertüberschreitungen bei bestimmten Tages- und Jahresmittelwerten in der Luft aufweisen [77].

Jene Umweltzonen sind jedoch auf bestimmte Gebiete begrenzt und teilweise in Städten wie Hamburg gar nicht mehr vorhanden. So kommt es auch dazu, dass Fahrzeuge mit niedrigem Emissionsstandard, wie der Schadstoffklasse Euro-1, nach wie vor am Straßenverkehr teilnehmen. Es gibt kein Gesetz, welches diese Teilnahme untersagt, und so kommt es häufig vor, dass Fahrzeuge mit alten Dieselmotoren und dunkelqualmendem Rauch weiterhin Teil des Verkehrs sind. Die Gültigkeit der Plaketten ist ebenfalls nicht befristet. Sie muss nur erneuert werden, wenn das Kennzeichen des Fahrzeugs nicht mehr mit dem auf der Plakette angebrachten übereinstimmt [77]. Lediglich bei der Abgasuntersuchung wird überprüft, ob das Fahrzeug der Schadstoffklasse entsprechend Abgase ausstößt. Es gibt also keinen allgemeinen Grenzwert, der für jedes Fahrzeug gilt. Eine Aufrüstung der Fahrzeuge in eine emissionsärmere Schadstoffklasse ist möglich, jedoch nicht verpflichtend. Sie beruht allein auf dem Interesse des Fahrzeughalters, um umweltschonendere oder evtl. finanzielle Vorteile zu erzielen. Ein möglicher Lösungsansatz wäre beispielsweise eine verpflichtende Nachrüstung für Fahrzeuge aus niedrigen Schadstoffklassen. Die Umsetzung, in Anbetracht des Aufwands, wäre jedoch fraglich.

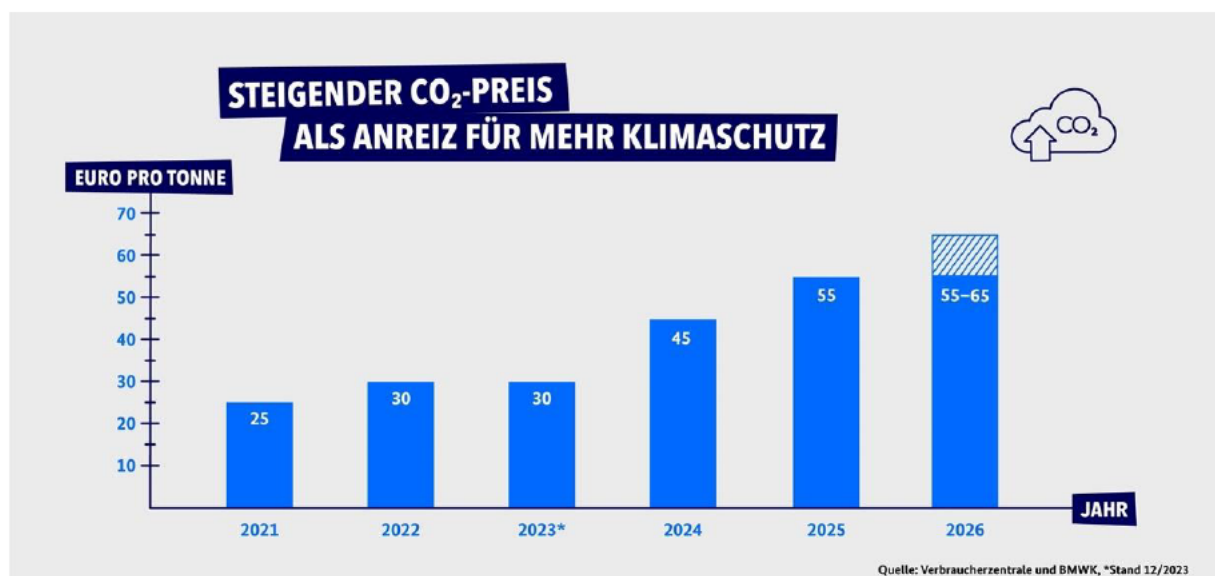
Fahrverbote wären ebenfalls schwer umzusetzen. Vor allem weil es laut einigen Juristen gegen den Bestandsschutz verstoßen würde, da die Fahrzeuge den Normen und Gesetzen entsprechend zugelassen wurden. Außerdem würde das Rückwirkungsverbot, welches besagt, dass eine Tat nur strafbar ist, wenn sie zum Zeitpunkt der Tat durch das Gesetz bestimmt ist, gelten [78, 79]. Dies ist hierbei allerdings nicht der Fall.

### 4.3 Sanktionierung

Um sicherzustellen, dass die Hersteller den neuen Anforderungen gerecht werden und dazu beitragen, jegliche Emissionsziele zu priorisieren, sind einheitliche Sanktionierungen seitens der Gesetzgebung notwendig, beziehungsweise zielführend. Die Einhaltung der Emissionsziele spielt zwar eine sehr bedeutende Rolle, allerdings ist die Unterstützung der Industrie, bei jener Umstellung, nicht außer Acht zu lassen.

*Emissionszertifikate* (kurz: ETS) tragen aktuell dazu bei, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß in der Herstellung und Produktion zu regeln. Je höher der Ausstoß, desto höher die Strafen. Ein mögliches Umgehen dieser Strafen ist der zwingende Erwerb von noch mehr Zertifikaten. Jede Tonne ausgestoßenes Kohlenstoffdioxid benötigt ein Zertifikat, jede überschrittene Tonne kostet die Unternehmen 100 Euro [80]. Bei wiederholten Überschreitungen der CO<sub>2</sub>-Ausstoßgrenzen und potenzieller Weigerung der Bezahlung der Strafen, kann es zu einem Verbot oder einer Einschränkung der Produktion kommen.

Die Besteuerung des Kohlenstoffdioxidausstoßes pro Tonne, gelten zwar nicht als direkte Sanktion, haben dennoch Auswirkungen auf die Überlegung, zur Elektromobilität umzusteigen. Die Verminderung der, zur Verfügung stehenden Emissionszertifikate, hat eine Erhöhung des Preises vom CO<sub>2</sub>-Ausstoß zufolge. Dies spiegelt sich unter anderem sichtlich in den Tankkosten des Endverbrauchers wider und schafft gesellschaftliche Anreize.



[Abbildung 4.3: Steigender CO<sub>2</sub>-Preis]



Direkte Sanktionierung hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Problematik gibt es allerdings schon. Gemeint ist der, in Kapitel 4.2 erwähnte, Flottengrenzwert. Überschreitet ein Hersteller diesen festgesetzten Grenzwert, drohen Strafen in Höhe von 95 Euro pro überschrittene Gramm, je zugelassenes Fahrzeug [75].

Auch der Endverbraucher kann auf direkte Strafen stoßen. Beispielsweise beim Befahren von Umweltzonen ohne entsprechende Umweltplakette. Punkte im Verkehrsregister gibt es zwar nicht mehr, dafür aber eine Strafe von 80 Euro für den Verstoß. Auch hier nimmt die Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen Einfluss auf den Verkehr und bestärkt ein umweltschonenderes Bewusstsein [77].

Dicht bevölkerte Großstädte leiden meistens an Parkplatzmangel. Das Einrichten von Parkplätzen für Elektrofahrzeuge und den dazu kommenden Strafen in Höhe von 55 Euro oder sogar dem Bezahlen der Abschleppkosten, beim widerrechtlichen Parken von Verbrennungsmotoren, hat auch hier einen positiven Einfluss auf die Umstellung der Bevölkerung auf die Elektromobilität [81]. Außerdem sind Elektrofahrzeuge, beispielsweise in Hamburg, von den Gebühren der Parkscheinzonen befreit, welche keine direkte Sanktion von Nicht-Elektrofahrzeugen ist, aber dennoch einen Vorteil mitbringt [82].

Sanktionierungen werden also größtenteils anhand des Emissionsausstoßes unterschieden. Schwerwiegende Sanktionsunterschiede zwischen emissionsarmen Benzinmotoren und Elektrofahrzeugen gibt es jedoch nicht.

#### **4.4 Subventionierung für Prüforganisationen und Hersteller**

Mit der Umstellung kommen auch erhöhte finanzielle Lasten für Automobilhersteller einher. Diese müssen nicht nur das angestrebte Produkt, also das Fahrzeug und alle Komponenten, sondern auch die Produktionsmethoden umstellen. Die Rede ist hierbei nicht nur von erforderlichen alternativen Technologien. Auch die Umstrukturierung der Lieferketten stellen eine Herausforderung für Automobilhersteller dar. Hinzu kommt außerdem der Druck der Gesetzgebung, hinsichtlich der schon häufig erwähnten Emissionsziele und der damit einhergehenden Sanktionierungen.

Subventionierungen könnten diesen, für die Wirtschaft bedeutenden Unternehmen, die Last ein wenig nehmen und die Umstellung beschleunigen.

Zum einen könnten Unterstützungen bzw. Förderungen für den Ausbau der Ladeinfrastruktur für mehr Akzeptanz sorgen. Wichtig ist jedoch auch die Subventionierung für Forschungen und Entwicklungen neuer Technologien, um in erster Linie eine anhaltende Wettbewerbsfähigkeit gewährleisten zu können. Der Import chinesischer Elektrofahrzeuge gibt die Auswirkungen der Wettbewerbsfähigkeit deutlich wieder. Dieser hat sich laut dem *Statistischen Bundesamt* von 2020 auf 2023 nämlich verzehnfacht, wobei der Export deutscher Fahrzeuge nach China weiter sinkt [83]. Dies ist möglicherweise auch auf vorherige Wissensvorsprünge gegenüber der deutschen Automobilindustrie zurückzuführen.

Gerade im Bereich der Batterieproduktion gab es in Deutschland noch vor einigen Jahren deutliche Nachteile gegenüber der Produktion in China. Aufarbeitungen dieser Rückstände wären nur gepaart mit notwendigen großen Investitionen möglich [84].

Letztendlich lässt sich sagen, dass nicht nur die Förderung von Umstrukturierungen der Infrastruktur für die Attraktivität und Akzeptanz von Elektrofahrzeugen, sondern auch die Förderung der Hersteller immens wichtig für eine langhaltende Wettbewerbsfähigkeit sind.

Auch Prüforganisationen bzw. Überwachungsvereine sollten von Subventionierungen profitieren. Förderungen der Organisationen könnten dafür sorgen, dass Vorbereitungen für die Prüfungen und neue Prüfungsverfahren, bei der steigenden Anzahl an Elektrofahrzeugen, getroffen werden könnten. Subventionierung könnten die Kapazitäten der Prüfungen erweitern und eine vorrausschauende Basis für zukünftige Verfahren stellen. Weitgehende Schulungen und Weiterbildungen des Prüfpersonals könnten hierbei von Bedeutung sein.

#### **4.5 Transparenz und Nachvollziehbarkeit von Algorithmen der Hersteller**

Die Transparenz sowie die Nachvollziehbarkeit der potenziellen Nutzer eines Elektrofahrzeuges könnten einen großen Einfluss auf die Entwicklung des CO<sub>2</sub>-freien Verkehrs haben. Mit steigendem Interesse steigen auch die damit aufkommenden offenen Fragen der Gesellschaft. Abgesehen von der Gesellschaft sind die Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Algorithmen auch für die Gesetzgebung, Zulassungsstellen und technische Überwachungsvereine ein entscheidender Faktor. Genaue Überprüfungen der verwendeten Technologien sowie die Auswirkungen auf die Umwelt stehen im Vordergrund und sind somit unumgänglich.

Im Bereich der Gesetzgebung ist es von hoher Bedeutung, dass Hersteller den Emissionsausstoß nachweisen müssen, um die Vorgaben der EU einzuhalten. Vor allem bei Hybridfahrzeugen sind die tatsächlich eingesparten Emissionen von hoher Bedeutung. Optimierungsalgorithmen bestimmen hier den Energiefluss aus dem Zusammenspiel des Verbrennungsmotors mit der Batterie [85]. Die Offenlegung und Transparenz dieser Algorithmen tragen zur verbesserten Untersuchung durch Prüfungsvereine bei.

Jede Batterie wird transparenter und rückverfolgbar, aufgrund der Batterieverordnung von 2023. Durch die Verpflichtung des Batteriepasses ab dem 01.01.2026 (siehe Kap. 4.2) lassen sich Informationen zur Produktion und Herstellung, zur Zusammensetzung, zur Lebensdauer, zur Recyclingfähigkeit, zu erfüllten Standards, zu Zertifikaten und zu einer Batterie-ID, welche eine eindeutige Seriennummer für die Batterie ist und sie somit rückverfolgbar macht, abrufen. So versucht der Gesetzgeber, die Transparenz der Hersteller zu erhöhen und ein gewisses Umweltbewusstsein durchzusetzen [71].

Auch die Aufklärung über das Ladeverhalten der Batterien ist ein wichtiger Bestandteil in Bezug auf Transparenz und Nachvollziehbarkeit sowie den Schutz vor Unfällen durch elektrische Komponenten.

In vorherigen Kapiteln wurde die erforderliche Aufklärung der Nutzer über das richtige Ladeverhalten angesprochen. Batteriebrände sind zwar selten, die Nachvollziehbarkeit aber dennoch von hoher Bedeutung. Kurzschlüsse innerhalb der Batterie können zu Bränden führen. Ein möglicher Grund dafür könnte das Laden bei Temperaturen unter null Grad Celsius durch das Lösen von Lithium sein. Genauso wie das übermäßige Entladen einer Batterie, welches auch bei unbenutzten Batterien vorkommen kann. Neben erhöhten Temperaturen in unmittelbarer Nähe des Akkus (bei Lithium-Ionen-Batterien über 180 Grad Celsius) kann auch das Überladen einer Batterie durch defekte Ladeeinrichtungen zu Batteriebränden führen [65].

Batteriemanagementsysteme spielen dabei eine erhebliche Rolle. Zum einen für die Aufklärung bzw. Transparenz der Nutzer und zum anderen für die Nachvollziehbarkeit der Überprüfungen. Wartungen und Optimierungen können durch die Transparenz dieser Systeme ermöglicht werden [86].

Die neuen Batterietechnologien werden anhand ihrer Effizienz und Umweltfreundlichkeit gemessen. Die Transparenz der Algorithmen könnte auch einen direkten Einfluss auf die Akzeptanz von potenziellen Kunden haben.

#### **4.6 Zusammenspiel zwischen Regulierung und technischen Überwachungsvereinen bei technologischen Entwicklungen**

Unabdingbar für den Straßenverkehr, ist das perfekte Zusammenspiel der Mobilität mit den technischen Überwachungsvereinen. Diese garantieren das Einhalten von aktuellen Standards, vor allem in Form von Emissionsausstoß, sowie die Sicherheit des Betriebs eines Fahrzeuges. Entwicklungen des Automobilmarktes sind somit idealerweise in Einklang mit technischen Überwachungsvereinen zu bringen.

Schon im Bereich der Infrastruktur ist ein Zusammenspiel von Gesetzgebung und technischen Überwachungsvereinen ein wichtiger Bestandteil. Die Verbreitung von nötigen Ladestationen und zukünftige Pläne über Schnellladesysteme müssen überwacht und geprüft werden. Die reibungslose Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladeinfrastruktur, sowie die Überprüfung von Sicherheitsstandards dieser, gelten als Aufgabe der Überwachungsvereine [87]. Zudem ist die Steuerung einer Ladesäule, wie zum Beispiel der *Ionity-COO*, deutlich komplexer als die von herkömmlichen Tanksäulen [88].

Fahrzeuge haben immer mehr mit Integrationen von Software und Elektronik zutun. Die ständige Zunahme dieser Eigenschaften erhöht logischerweise auch die Komplexität der Fahrzeuge. Gerade die Diversität und Vielfalt dieser Technologien erschwert eine einheitliche Regulierung seitens der Überwachungsvereine. Ebenso herausfordernd für Überprüfungen sind die voranschreitenden Digitalisierungen der Fahrzeuge. Für immer mehr Interesse sorgt die Künstliche Intelligenz. Nicht nur beim autonomen Fahren, welches für sich schon für extreme Herausforderungen sorgt, sondern auch bei Batterien. KI-basierte Batterie-Technologien sollen einen Fortschritt bei der Batterieüberwachung hergeben.



Aktuelle Überwachungsmechanismen wie zum Beispiel das Batteriemanagementsystem können nur gegenwärtige Zustände einer Batterie analysieren. Die Verwendung von Künstlicher Intelligenz soll vorausschauender agieren und die Lebensdauer der Batterie erweitern. Außerdem soll es frühere Warnungseingriffe, welche gerade für Hersteller und Überwachungsvereine von hoher Bedeutung sind, ermöglichen. Brandgefährdungen sollen mit verkürzter Reaktionszeit erkannt und Ladesteuerung, zum verlängerten Erhalt, besser gesteuert werden [89]. Viele mögliche Vorteile mit steigender Komplexität.

Wichtig bleibt jedoch die Balance zwischen Innovation und Sicherheit sowie der Erhalt des Zusammenspiels von Innovation, technischer Überwachung und gesetzlichen Anpassungen bei technologischem Fortschritt.

#### **4.7 Sonderfall: Autonomes Fahren**

Noch deutlich entfernter als die vollständige Nutzung von Elektromobilität erscheint das autonome Fahren. Die Vorstellung eines perfekten autonomen Systems lässt auf einige mögliche Vorteile hoffen. Das autonome Fahren soll vor allem für eine Reduktion von Unfällen sorgen. Diese sind heutzutage auf Fehlverhalten von menschlichem Handeln zurückzuführen. Das automatisierte Anfahren, Beschleunigen sowie Bremsen lässt umweltschonendes Fahren, vor allem in Bezug auf Bremsabtrieb, Verschleiß, Verbrauch oder generelle Abnutzung, als erreichbar erscheinen. Allerdings kommt mit den ganzen positiven Aspekten eine große Menge an Anforderungen an die Gesetzgebung und Überwachungsvereine mit einher.

Neben all den erforderlichen infrastrukturellen Veränderungen, um das autonome Fahren zu verwirklichen, stehen insbesondere rechtliche Fragen sowie ethische Entscheidungen weiterhin im Vordergrund. Im sogenannten *Trolley-Problem* geht es darum, ob ein Zug seine Spur halten und fünf Menschenleben, oder die Spur wechseln und ein Menschenleben riskieren soll [90]. Ähnliche Szenarien sind auch auf den Straßenverkehr übertragbar. Doch die Frage, die sich hier stellt, ist: Wie soll das Fahrzeug reagieren und wie soll es programmiert werden?

Menschliches Fehlverhalten ist derzeit meist ausschlaggebend für einen Unfall. Die Ursache kann somit definiert und die Schuld zugesprochen werden. Beim autonomen Fahren ist dies jedoch nicht so klar erkennbar. Die Haftungsfrage steht somit aktuell noch offen und die Schuldzuweisung auf Fahrzeughalter, Fahrer oder Fahrzeughersteller ist nicht klar definiert. Dokumentationen sowie gespeicherte Daten zum Unfallzeitpunkt könnten bei der Klärung der Schuldfrage eine wichtige Rolle spielen [91].

Weitentwickelte Kameras und Sensoren, künstliche Intelligenz sowie komplexe Algorithmen sind Grundvoraussetzungen für das autonome Fahren. Sie dienen zur Wahrnehmung der Umgebung und Straßenverhältnisse. Außerdem sind sie ausschlaggebend für die Entscheidungen, welche selbstfahrende Autos treffen müssen. Heikel wird es jedoch, wenn die unterstützenden Systeme ausfallen, versagen oder sogar gehackt bzw. missbraucht werden und dies zu schweren Unfällen führt. Hersteller und Überwachungsvereine stehen somit vor großen Herausforderungen hinsichtlich der risikofreien Umsetzung. Prüfungsmethoden dieser unumgänglichen Sicherheitsrisiken stehen noch aus und müssten einen Teil in der Überprüfung von Fahrzeugen einnehmen.



## 5. Veränderungen bei technischen Überwachungsvereinen

Die technischen Überwachungsvereine (abgekürzt: TÜV) haben in Europa eine lange Tradition und Historie, welche eng verwurzelt ist mit der vorangehenden Entwicklung neuer Technologien und ihrer einhergehenden Sicherheitsanforderungen. Die stetige Regulierung durch den Staat und die wachsenden Ansprüche an die Sicherheit und Emissionsgrenzen machen unabhängige Organisationen, welche diese Dinge kontrollieren, unabdingbar.

Dabei gibt es verschiedene internationale sowie nationale technische Überwachungsvereine, die länderspezifisch kontrollieren. In Deutschland sind vor allem der TÜV Süd, TÜV Nord und TÜV Rheinland und deren jeweiligen Unterfirmen bekannte Vertreter dieser Branche. Diese haben mittlerweile auch internationale Vertreter in verschiedenen Ländern und auf verschiedenen Kontinenten. Allgemein gilt eine Zertifizierung des TÜVs als ein Gütesiegel für gute Qualität und ausreichende Sicherheit. Da der Begriff *TÜV-geprüft* ein geschützter Begriff ist, dürfen nur technische Überwachungsvereine diesen verwenden. Die voranschreitende Liberalisierung brachte auch andere technische Überwachungsvereine auf den Markt, wie die Dekra oder KÜS. Alle TÜVs agieren dabei nach gesetzlichen Vorschriften, jedoch unabhängig vom Staat. Sie sind freiwirtschaftliche Unternehmen und stehen somit in direkter Konkurrenz zueinander [92, 93].

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Historie, die Aufgaben und die Anpassung an die Elektrifizierung näher beleuchtet.

### 5.1 Historische Entwicklung der technischen Überwachungsvereine in Europa

Der Ursprung der deutschen technischen Überwachungsvereine reicht bis in die Hälfte des 19. Jahrhunderts zurück. Da es mit der zunehmenden Industrialisierung immer mehr Sicherheitsvorschriften benötigte, um Unfälle zu vermeiden, wurde die *Gesellschaft zur Überwachung und Versicherung von Dampfkesseln* in Mannheim im Jahr 1866 gegründet [92].

Dieser entstand auf Grundlage der Inspektion und Prüfung von Dampfkesseln, welche im Zuge der industriellen Revolution immer mehr an Bedeutung gewannen. Da es durch Explosionen der Kessel häufiger zu Unfällen kam, wurde eine Sicherstellung der Sicherheit gefordert. Da in Großbritannien bereits ein ähnliches Prinzip der Überwachung dieser Kessel und Dampfmaschinen stattfand, wurde in Deutschland eine unabhängige Überwachungsorganisation gegründet. Aufgrund des weiteren technologischen Fortschritts und des Erfolgs der ersten technischen Überwachungsorganisation entstanden weitere Vereine, um weitere Bereiche und Regionen innerhalb Deutschlands sowie in anderen Teilen Europas abzudecken. Auch weitere Technologien, wie beispielsweise Industriemaschinen und Fahrstühle, wurden Prüfungen unterzogen [92, 94].

Im 20. Jahrhundert bekamen diese Organisationen eine immer zentralere Rolle in der Industrie, da sie mehr Einfluss auf verschiedene Bereiche bekamen. Vor allem mit der Einführung von Kraftfahrzeugen wurden mehr sicherheitstechnische Faktoren relevant und geprüft. Die Fahrzeugprüfung gewann im frühen 20. Jahrhundert immer mehr an Bedeutung, und ab 1951 wurde es für alle Fahrzeughalter verpflichtend, dass ihre Kraftfahrzeuge einer regelmäßigen Untersuchung unterzogen wurden, um die nötige Verkehrssicherheit zu gewährleisten. Um sicherzugehen, dass die Untersuchungen auch wahrgenommen werden, wurden kurz darauf die heute allseits bekannten Plaketten eingeführt, die als ein Zertifikat für die bestätigte Verkehrssicherheit des Fahrzeugs gelten [95].

Bis heute dauert die Entwicklung an. Vor allem durch die Digitalisierung und die immer größer werdende Vielfalt von Fahrzeugen haben die technischen Überwachungsvereine stetig wachsende und differenziertere Aufgabenfelder abzudecken [96].

## 5.2 Überprüfung von Sicherheitsstandards

Es gibt verschiedene nationale und internationale Gesetze und Richtlinien, welche die Sicherheitsstandards bei Fahrzeugen definieren. Sie sind in erster Linie dafür gemacht, dass Fahrzeuge im Straßenverkehr die nötige Sicherheit aufweisen und den geregelten Emissionswerten entsprechen. Eine wichtige Instanz, welche Regelungen auf den Weg bringt, ist die Europäische Union. Diese hat mit der *EG-Verordnung* (Abkürzung für europäische Gemeinschaft) und den *ECE-Regelungen* (Abkürzung für Economic Commission for Europe) Vorschriften für die EU auf den Weg gebracht, welche die Sicherheitsanforderungen für Typgenehmigungen von Fahrzeugen sowie auch Einzelteilen festsetzen und regeln, welche Abgasnormen erfüllt werden müssen [97].

In Deutschland ist die *Straßenverkehrszulassungsordnung* (kurz: StVZO) das zentrale Gesetz, welches auf nationaler Ebene die Anforderungen an die Zulassung und Technik für Fahrzeuge, die am Straßenverkehr teilnehmen, definiert. Sie enthält Vorschriften für die Beleuchtungseinrichtung, die Bremsen, die Fahrwerke, die Abgasnormen und auch die Sicherheitssysteme. Jedoch wird die StVZO immer mehr abgebaut und in andere Verordnungen, wie die EG, überführt. Der TÜV muss sich an die Vorgaben der StVZO oder EG-Verordnung halten und die technischen Anforderungen prüfen. Die Sicherheitsstandards, die beim TÜV geprüft werden, basieren also auf den EU-Verordnungen, auf nationalen Gesetzen und auf internationalen Normen, wie der *Internationalen Organisation für Normung* (kurz: ISO) und dem *Deutschen Institut für Normung* (kurz: DIN) [98, 99, 100].

Die Prüfung durch die technischen Überwachungsvereine erfolgt in Form von wiederkehrenden Hauptuntersuchungen, welche mit Abgasuntersuchungen gekoppelt und für alle Fahrzeugarten verpflichtend sind. Dabei bestimmen die Fahrzeugklasse und das Gewicht die Untersuchungsintervalle. Für PKWs unter 3,5 t wird nach der Neuanschaffung der erste Termin für die Hauptuntersuchung ab dem dritten Jahr jedes zweite Jahr fällig. Gleiches gilt für Anhänger unter 3,5 t Leergewicht. Alle Fahrzeuge über 3,5 t, wie Lkw oder auch schwere Anhänger, müssen jährlich eine Untersuchung durchlaufen. Dies gilt auch für Mietfahrzeuge und Fahrzeuge zur Personenbeförderung. Zusätzlich werden bei schweren Fahrzeugen regelmäßige Sicherheitsprüfungen durchgeführt, die umfangreicher ausfallen als die normale Hauptuntersuchung. Bei Fahrzeugen mit LPG-Antrieb wird eine gesonderte Prüfung des verbauten Systems durchgeführt. Bei Wohnmobilen und Wohnanhängern mit einer ausgestatteten Gasanlage wird eine Gasprüfung durchgeführt. Alle Vorschriften und Gültigkeiten sind der *StVZO Anlage VIII* und weiteren zu entnehmen [101]. Nachfolgend werden die wichtigsten Abläufe bei der Haupt- und Abgasuntersuchung vorgestellt. Hier muss erwähnt werden, dass es bei Einzelfällen auch zusätzliche Prüfungen und Abläufe gibt.



### 5.2.1 Hauptuntersuchung

Die wiederkehrende *Hauptuntersuchung* (kurz: HU) verläuft bei allen Fahrzeugklassen ähnlich und hat den Zweck, die Einhaltung der vorgeschriebenen Sicherheitsstandards nachzuweisen. Der Ablauf dieser Prüfungen ist je nach Fahrzeug standardisiert, erfolgt in mehreren Schritten und lässt sich bei allen Prüforganisationen durchführen. Zur Prüfung werden die Fahrzeugdokumente benötigt: die Zulassungsbescheinigung Teil 1 bei angemeldeten Fahrzeugen und die Zulassungsbescheinigung Teil 2, wenn das Fahrzeug stillgelegt bzw. abgemeldet wurde. Man benötigt weitere Dokumente, falls man zusätzliche Prüfungen durchführen muss, wenn man nichtserienmäßige Umbauten am Fahrzeug hat, mit welchen man diese eindeutig identifizieren kann. Hier braucht man Bestätigungen vom *Kraftfahrtbundesamt*, dass diese Teile verbaut werden dürfen. Einige technische Veränderungen an Fahrzeugen können durch amtlich anerkannte Sachverständige abgenommen werden und bekommen dadurch die Genehmigung, verbaut zu werden. Eine anschließende Korrektur des Fahrzeugscheins ist dennoch erforderlich.

Bei einer externen Sichtprüfung stellt der Prüfenieur fest, dass die Beleuchtung vorschriftsmäßig angebracht ist und auch richtig funktioniert. Die Karosserie wird auf größere Beschädigungen geprüft, welche Verletzungsgefahr oder Sicherheitsrisiken darstellen könnten. Eine Prüfung der Scheiben und Spiegel auf Beschädigungen, welche die Sicht während des Fahrens beeinträchtigen könnten, ist erforderlich. Dabei dürfen auch tragende Teile wie die Schweller keine Durchrostungen oder andere Materialschwächungen aufweisen.

Zusätzlich werden die Reifen auf gleichmäßige Abnutzung, Verschleiß und Beschädigungen durch beispielsweise Fremdkörper kontrolliert. Zur eindeutigen Identifizierung des Fahrzeugs werden die eingestanzte oder gelaserte Fahrzeugidentifikationsnummer und das angebrachte Typenschild auf mögliche Manipulationen geprüft und mit den Fahrzeugdokumenten verglichen.

Ein wichtiger Teil der Hauptuntersuchung ist die Prüfung des gesamten Bremssystems. Die Bremse wird auf einem Bremsenprüfstand oder während eines Fahrversuchs auf die erforderlichen Bremswerte, die Funktionsfähigkeit und gleichmäßige Kraftverteilung geprüft. Die Abweichungen dürfen die Vorschriften nicht überschreiten. Dabei werden sowohl die Betriebs- als auch die Feststellbremse achsenweise geprüft. Eine zusätzliche Überprüfung der einzelnen Bauteile des Systems, wie des Füllstands der Bremsflüssigkeit, des Verschleißes der Bremsbeläge und -scheiben sowie der Bremsleitungen, ist ebenfalls verpflichtend. Die Prüfung von schweren Anhängern und Lastkraftwagen erfordert zusätzlich die Prüfung des Druckluftsystems, da kein hydraulisches Bremssystem verbaut ist. Diese Prüfung erfolgt mit Hilfe von Manometern, um die erforderlichen Drücke zu prüfen, und in modernen Fahrzeugen kann sie mit einem *Truck-Trailer-Interface* (kurz: TTI) durchgeführt werden, welches ähnlich wie eine *On-Board-Diagnose* (kurz: OBD) funktioniert [102]. Dies ist Bestandteil der Sicherheitsprüfung.

Das Fahrwerk und die Lenkung müssen funktionsfähig sein. Man kontrolliert hierbei die Lagerungen auf Undichtigkeiten und übermäßiges Spiel, welche im schlimmsten Fall zum Ausfallen der Fahrzeugkontrolle während der Fahrt führen könnten. Die Schwingungsdämpfer und die Federn müssen funktionsfähig sein und dürfen keine Brüche oder Undichtigkeiten aufweisen, welche zu einem negativen Fahrverhalten führen könnten. Andere Teile wie Achskörper oder Längs- und Querlenker dürfen keine übermäßige Korrosion aufweisen. Die Abgasanlage wird auf Dichtigkeit geprüft, um unkontrollierte Abgasentweichung zu verhindern, und die erforderliche Befestigung wird kontrolliert, welche bei der Abgasuntersuchung relevant werden könnte.

Fahrzeuge, welche mit einem zusätzlichen LPG- oder CNG-System ausgestattet sind, müssen eine Gasanlagenprüfung durchlaufen. Geprüft wird auf Dichtigkeit und Funktionsfähigkeit.

Geprüft werden außerdem Aspekte der passiven Sicherheit zum Schutz der Insassen, wie Airbags und Sicherheitsgurte. Diese müssen einwandfrei funktionieren. Auch aktive Systeme wie das Antiblockiersystem, die Antriebsschlupfregelung und das elektronische Stabilitätsprogramm werden mittels OBD-Scans geprüft. Die Steuergeräte werden abgefragt und dürfen keine Fehler signalisieren. Im Motorraum werden Flüssigkeitsstände und Bauteile wie die Batterie auf ausreichende Befestigung geprüft. Durch eine kurze Testfahrt lassen sich Rückschlüsse auf Motorlauf und Fahrverhalten ziehen.

Der Prüfer muss die gesamte Untersuchung dokumentieren und eine Mängelliste erstellen. Die einzelnen Mängel werden dabei in erhebliche oder geringe Mängel kategorisiert. Die Bewertung der Mängel ist standardisiert und nur in wenigen Ausnahmen hat der Prüfer einen Entscheidungsrahmen über die Bewertung der Schwere der Mängel. Falls eine Verkehrsunsicherheit festgestellt wird, wie beispielsweise eine undichte Bremsleitung, kann der Prüferingenieur auf die Dringlichkeit der Reparatur hinweisen und die alte Plakette entfernen. Eine dringende Empfehlung an den Fahrzeughalter, das Fahrzeug nicht mehr im Straßenverkehr zu bewegen, muss ebenfalls ausgesprochen werden [103].

### 5.2.2 Abgasuntersuchung

Die *Untersuchung des Motormanagements und Abgasreinigungssystems* (kurz: UMA; auch Abgasuntersuchung (AU) genannt, früher Abgassonderuntersuchung) wurde 1985 in Deutschland als separate Prüfung eingeführt und ist seit dem 1. Januar 2010 integraler Bestandteil der Hauptuntersuchung. Sie dient zur Sicherstellung der Einhaltung der vom Fahrzeug abhängigen maximalen Emissionswerte [104].

Geregelt wird die Abgasuntersuchung in Deutschland durch die *2. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes* (kurz: BImSchV) und die EU-Emissionsnormen. Diese legen die maximal zulässigen Emissionen fest. Der Ausstoß von Schadstoffen wie Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Stickoxiden (NO<sub>x</sub>), Kohlenmonoxid (CO) und Rußpartikeln bei Dieselfahrzeugen wird für jedes Fahrzeug begrenzt [105]. Dabei findet eine Unterteilung in verschiedene Schadstoffklassen von Euro-1 bis Euro-6 statt. Diese wurden bereits im ersten Kapitel genauer beleuchtet.

Jedes Fahrzeug muss die geforderten Anforderungen der jeweils geltenden Norm erfüllen, welche bei der Neuzulassung zugeordnet wurde. Neuere Fahrzeuge, die beispielsweise der Euro-6-Norm unterliegen, haben geringere Grenzwerte als die unteren Euro-Klassen und müssen somit für geringeren Schadstoffausstoß sorgen. Die Normen betreffen alle Fahrzeuge, die motorisiert sind. Die Euro-7-Norm soll zusätzlich die Feinstaubemissionen berücksichtigen und strengere Grenzen setzen und wird somit noch umfassender.

Zum Prüfen werden verschiedene Geräte eingesetzt, welche die Abgaswerte ermitteln und analysieren. Diese Geräte sind mit Sonden ausgestattet, welche in das Endrohr der Abgasanlage geführt werden. Eine Untersuchung findet sowohl ohne Lasteinwirkung, im Leerlauf, als auch mit Lasteinwirkung, mit erhöhter Drehzahl, in einer festgesetzten Zeit statt. Um den Test positiv abschließen zu können muss das Fahrzeug über ein funktionierendes Abgasreinigungssystem verfügen.



Häufige Ursachen für negative Ergebnisse können defekte Katalysatoren oder verunreinigte Dieselpartikelfilter sein. Auch hier wird eine On-Board-Diagnose durchgeführt. Diese zeigt, ob und welche Fehler in Steuergeräten abgespeichert sind. Diese können auf einen Defekt hindeuten und die Abgaswerte beeinflussen [104].

Wenn sowohl die Hauptuntersuchung als auch die Abgasuntersuchung positiv abgeschlossen werden, bekommt das Fahrzeug für den festgesetzten Zeitrahmen eine Plakette zugeteilt. Falls jedoch erhebliche Mängel oder eine nicht bestandene Abgasuntersuchung vorliegen, hat der Fahrzeughalter die Möglichkeit, das Fahrzeug nach erfolgter Reparatur binnen eines Monats zur Nachuntersuchung vorzuführen, um einen positiven Abschluss zu erhalten. Andernfalls wird eine erneute Haupt- und Abgasuntersuchung fällig. Wie bereits erwähnt, sind alle zuvor genannten Vorschriften den *StVZO Anlagen* zu entnehmen.

### 5.3 Zertifizierung von Elektrofahrzeugen

Die Zertifizierung neuer Technologien und Bauteile, auch Homologation genannt, ist ein weiterer großer Bestandteil der Arbeit der technischen Überwachungsvereine. Eine Zertifizierung einer neuen Technologie kann das Vertrauen der Verbraucher bestärken und bestätigt die Konformität mit den gesetzlichen Regularien. Abhängig von der Art der Technologie, der Branche und den Anwendungsbereichen werden verschiedene Verfahren angewendet. Die Zertifizierung in der Automobilindustrie entsteht in enger Zusammenarbeit mit den Herstellern, welche durch den jeweiligen technischen Überwachungsverein beraten werden, um die Zulassung neuer Technologien erwerben zu können. Die gesetzlich vorgeschriebene Zertifizierung von Elektrofahrzeugen bezieht sich auf alle sicherheitsrelevanten Bauteile, die auch bei Verbrennungsfahrzeugen vorkommen, wird aber zusätzlich durch die spezifischen Komponenten erweitert, welche in Elektrofahrzeugen verbaut sind. Zu diesen zählen die Batterie, das elektrische Antriebs- und das Ladesystem [106, 107].

Auch bei elektrisch betriebenen Fahrzeugen findet der sogenannte *WLTP* statt, welcher von der *UNECE (Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen)* im Jahr 2017/2018 vorgeschrieben wurde. Dieser Test wird von geschultem Personal technischer Überwachungsvereine durchgeführt und ermittelt den Schadstoffausstoß und die Reichweite. Ein entscheidender Faktor bei Elektrofahrzeugen. Dabei werden die Fahrzeuge unter realen Fahrbedingungen auf Stadt-, Land- und Autobahnfahrten bewegt. Eine Laboruntersuchung auf Rollenprüfständen findet ebenfalls statt [113, 114].

Speziell auf die kommende Euro-7-Norm bezogen spielt die Zertifizierung von Bremsen und Reifen eine große Rolle. Wie bereits in Kapitel 2 erwähnt, soll der Abrieb der beiden Komponenten minimiert werden. So wird der Bremsenabrieb auf einem *Schwungmassen-Bremsen-Prüfstand* ermittelt. Die Radaufhängung und die Bremse werden in einer speziell angefertigten Röhre angebracht und die Bremse wird achsenweise betätigt. Durch ein spezielles System wird die Bremse von feinstaubfreier Luft umströmt und der entstandene Abrieb aufgesammelt. Dadurch lässt sich die Menge des Abriebs feststellen [116].

Der Prozess der Zertifizierung beginnt auf Initiative des Herstellers und findet während der Entwicklung der Technologie bzw. des Fahrzeugs statt. Es werden dabei die gesetzlichen und sicherheitsrelevanten Anforderungen geklärt, die Umsetzbarkeit der Normen und verschiedene Tests sind ebenfalls essenzieller Bestandteil dieses Prozesses.

Man führt Vibrationstests, Wärmeschock- und Zyklusprüfungen, Erschütterungssimulationen, Tests auf mechanische Unversehrtheit, Feuerbeständigkeit, externen Schutz vor Kurzschlüssen, Überladungsschutz, Überhitzungs- und Überstromschutz sowie Tests zum Schutz gegen übermäßiges Entladen und weitere Versuche durch. Eine umfangreiche Risikoanalyse liefert Aufschlüsse über potenzielle Gefahren, welche dann abgestellt werden können [108].

Der Hersteller muss technische Unterlagen vorweisen, welche technische Details zu Bauteilen wie Batterie, Antriebseinheit und Hochvoltssystemen liefern. Auch Konstruktionszeichnungen, Spezifikationen des Fahrzeugs und des Ladesystems (insbesondere Ladeleistung und Ladeschnittstellen) sowie das Batteriemanagementsystem, inklusive der Sicherheitsvorkehrungen, müssen klar definiert werden. Dokumentiert wird, ob die Elektrofahrzeuge den geltenden Normen und Vorschriften entsprechen, wie den ECE-Regelungen (hier besonders der *ECE-R100*-Regelung, welche zur Sicherheit der Fahrzeugbatterie gilt) und den ISO-Normen für elektrische Antriebe [108].

Die Prüfung auf *elektromagnetische Verträglichkeit* (kurz: EMV) ist ebenfalls gesetzlich vorgeschrieben und bezieht sich auf die Regelung *ECE-R10*. Diese liefert wichtige Erkenntnisse über die Zusammenarbeit verschiedener elektrischer Bauteile im Fahrzeug. Diese müssen fehlerfrei miteinander kommunizieren können. Dies betrifft auch die Kommunikation mit anderen elektrischen Teilen der Infrastruktur. Da jedes elektronische Bauteil elektromagnetische Wellen aussendet, muss geprüft werden, inwieweit diese Wellen zu Störungen führen. Dabei sind bestimmte Grenzwerte einzuhalten. Dies gilt auch analog für die Störfestigkeit des Gerätes durch die Störaussendungen anderer Bauteile [109, 110, 111].

Wie viele Produkte, welche EU-weit vermarktet werden und unter die Verordnung 765/2008 fallen, müssen auch die Fahrzeugbatterien *CE*-Kennzeichnungen (Abkürzung für: *Conformité Européenne*) vorweisen. Dabei werden bereits bei der Herstellung der Batterie die Konformität und ob die nötigen Anforderungen an die Sicherheit und Qualität erfüllt werden, geprüft [112]. Die Fahrzeugbatterie wird auf Sicherheit, Leistung und Lebensdauer kontrolliert. Eine mögliche Brandgefahr durch Überhitzung oder Kurzschluss wird dadurch möglichst minimiert. Das Batteriemanagementsystem, das die zentrale Steuereinheit der Batterie ist und diese auf Sicherheit und Effizienz überwacht, wird einer sorgfältigen Prüfung unterzogen. Dazu wird das Thermomanagementsystem, das die Temperaturkontrolle der Batterie steuert, durch Flüssigkeits- oder Luftkühlung auf seine Funktionsfähigkeit geprüft.

Da Elektrofahrzeuge Hochvoltantriebe verwenden, muss eine sichere Isolierung gewährleistet werden, um die Insassen zu schützen. So werden alle elektrischen Komponenten, wie Kabel und Stecker, geprüft. Dadurch kann der notwendige Isolierungswiderstand gewährleistet werden. Zusätzlich werden ausführliche Analysen und Tests für eine hohe Crashesicherheit durchgeführt. Dabei werden Verzögerungskräfte, Deformationen der Karosserie und die Funktionalität aller Sicherheitsstrukturen geprüft. Die nötige Knautschzone muss gewährleistet sein. Hier muss insbesondere die Batterie ausreichend gesichert sein, um eventuelle Brände oder das Auslaufen der Komponenten zu verhindern. Die Antriebstechnik und die Regelungssysteme zur Energieumwandlung, Fahrmodi und Fahrverhalten müssen den Normen entsprechen und zuverlässig und sicher arbeiten. Eine Prüfung der Ladesysteme stellt sicher, dass die Fahrzeuge über Ladeschnittstellen verfügen, welche mit der Ladeinfrastruktur kompatibel sind und den Vorschriften entsprechen. In Europa sind es die *Typ-2-Stecker* für das Wechselstromladen und die *CCS-Stecker* für das Gleichstromladen. Dabei ist es wichtig, dass das Laden des Fahrzeugs weder die Nutzer noch die Infrastruktur gefährden kann. Sichergestellt wird dies durch Sicherheitsvorkehrungen, die vor Überspannungen schützen und die Temperatur während des Ladevorgangs kontrollieren.



Der sogenannte *On-Board-Charger* (das Ladegerät des Fahrzeugs), der für die Verarbeitung der Wechselstrom-Ladeleistung zuständig ist, muss im Ladeprozess ebenfalls funktionsfähig sein. Die Fahrzeugsoftware und die elektronischen Steuergeräte sind ein wesentlicher Bestandteil des funktionierenden Fahrzeugs. Auch diese müssen zuverlässig und sicher sein. Dazu gehören auch die Verbindung mit Ladestationen und die Energieverwaltung. Bei der Kontrolle der Cybersicherheit können Sicherheitslücken aufgedeckt werden, um Manipulationen durch Dritte auszuschließen [110].

Abschließend kann das Fahrzeug bei einem positiven Durchlauf eine Zertifizierung vom TÜV erhalten, welche versichert, dass alle notwendigen Sicherheits-, Umwelt- und Qualitätsstandards den Normen entsprechen. Dadurch kann der Hersteller das Fahrzeug bei der zuständigen Straßenverkehrsbehörde zulassen und das Fahrzeug auf den Markt bringen. In Europa gilt dabei das *EG-Typgenehmigungsverfahren*, speziell in Deutschland ist es die Fahrzeugzulassung [115].

Wenn es Änderungen in der Produktion oder Softwareupdates gibt, ist eine erneute Zertifizierung dieser notwendig, durch verschiedene Testverfahren. Deshalb kommt es zu regelmäßigen Kontrollen und Audits seitens der technischen Überwachungsvereine, um sicherzustellen, dass die Anforderungen weiterhin erfüllt werden.

#### 5.4 Anpassung der (Prüf-)Abläufe in der technischen Überwachung

Aufgrund der voranschreitenden Elektrifizierung und der größer werdenden Sicherheitsanforderungen müssen die Abläufe bei der Prüfung der Fahrzeuge zwangsläufig angepasst werden. Auch die zunehmende Digitalisierung und Vernetzung tragen ihren Anteil an dieser Entwicklung bei. Es wird der Einsatz neuer Geräte und Prüfverfahren erforderlich, auch wenn einige Aspekte, vor allem das Fahrwerk, die Beleuchtung, die Bremsen und passive Sicherheitselemente wie beispielsweise Airbags und Sicherheitsgurte, voraussichtlich dieselben Anforderungen haben werden wie die herkömmlichen Verbrennungsmotoren.

Wichtig bei der Prüfung von Elektrofahrzeugen werden die Sicherheitsanforderungen der Hochvoltsysteme. Da diese die Batterie und den Antriebsmotor mit Hochspannung betreiben, muss man sicherstellen, dass keine Kurzschlüsse entstehen, durch Fehler der Isolierung.

Prüfungen durch Isolationswiderstandstests und spezielle Messgeräte sind demnach unabdingbar, um die Insassen vor eventuellen Stromschlägen zu schützen. Leckstrom-Messgeräte können das System auf Überspannung kontrollieren. Bei zu geringem Widerstand muss das System über Mechanismen verfügen, welche bei Unfällen automatisch reagieren und den Stromfluss beenden.

Die Batterie muss durch spezielle Tests auf ihre thermischen Eigenschaften prüfbar sein. Ein wichtiger Sicherheitsaspekt ist das Batteriemanagementsystem, welches auf Manipulation und Fremdeingriffe geprüft werden muss. Das Thermomanagement muss richtig funktionieren und über Kühlsysteme verfügen, welche der Prüfer kontrollieren kann. Der Schutz der verbauten Batterie muss bei Unfällen ausreichend gegeben sein und ein Auslaufen der Komponenten vermeiden. Die Prüfsingenieure müssen auf ausreichenden Schutz und auf äußerlich erkennbare Beschädigungen prüfen, welche die Funktionsweise beeinflussen könnten. Die richtige Montage der Batterie ist ebenfalls zu prüfen. Hersteller müssen den Prüfsingenieuren die Möglichkeit geben, die Batterie eindeutig zu identifizieren, damit man sicher sein kann, dass eine originale Batterie verbaut worden ist und keine nicht zugelassene Austauschbatterie.

Außerdem werden Testgeräte benötigt, die die Temperatur und Spannung der Batterie im Fahrbetrieb messen und auch die Ladezyklen überwachen können.

Solche Prüfungen gewährleisten für den Halter des Fahrzeugs ausreichend Sicherheit vor Bränden und können die Batterielebensdauer prognostizieren.

Es gibt bereits ein solches Prüfgerät auf dem Markt. Dieses nennt sich *AVILOO Flash Test* und wird von der Firma *AVILOO* betrieben. Bei diesem Prüfverfahren werden mithilfe eines OBD-Moduls die spezifischen Fahrzeugsysteme gemessen und analysiert. Dazu gehören die Batterietemperatur, die Abweichung der Zelltemperatur, die Batteriespannung, die Abweichung der Zellspannung, der Spitzenstrom während der Prüfung und der vom Hersteller ausgegebene *State of Health* (kurz: SoH, gemeint ist der Gesundheitszustand der Batterie). Zusätzlich findet eine Prüfung des Hochspannungsbatterie-Steuergeräts und der Fahrzeugkommunikationsschnittstelle statt. Alle diese Daten werden an AVILOO weitergeleitet und analysiert. Kurz darauf, laut AVILOO nach etwa 15 Minuten, bekommt der Nutzer einen ausführlichen Bericht zu den gesammelten Messdaten. Unterstützt werden alle gängigen Elektrofahrzeuge auf dem Markt. Unten abgebildet ist eine AVILOO-Box mit einem Beispiel für einen erstellten Bericht. Dieser Bericht beinhaltet einen sogenannten *AVILOO SCORE*, also eine Gesamtpunktzahl, welche maximal 100 betragen kann und auf Basis der gesammelten Daten und der Analyse dieser erstellt wird [117, 118].



[Abbildung 5.4: AVILOO FLASH TEST]



Auch die Ladesysteme müssen Prüfungen unterzogen werden. Prüfer müssen die Funktionsfähigkeit der Stecker und Schnittstellen kontrollieren und mit Prüfgeräten die Ladesicherheit feststellen, damit keine Überhitzung oder Überspannung während des Ladevorgangs entstehen kann. Abhilfe können Ladesimulationen schaffen, welche die Ladezyklen unter verschiedenen Bedingungen und die Kompatibilität mit Ladestationen sicherstellen. Eine ausreichende mechanische und elektrische Funktion muss vorhanden sein.

Die Prüfung der Ladegeräte findet bereits statt. So muss jeder Fahrzeughalter ein geeignetes Ladegerät bei der Hauptuntersuchung mitführen, welches vom Prüfer an das Fahrzeug angeschlossen werden kann. Somit wird kontrolliert, ob die Stecker oder Kabel beschädigt sind und ob der Ladeprozess einwandfrei stattfindet.

Da Elektrofahrzeuge geringe Geräuschemissionen haben, müssen zum Schutz von Radfahrern und Fußgängern Geräusche simuliert werden, die das sich nähernde Fahrzeug erkennbar machen. Die Prüferingenieure müssen auch diese Systeme prüfen.

Neben dem Batteriemanagementsystem sind diverse weitere Softwareeinrichtungen und Steuergeräte in Elektrofahrzeugen verbaut. Die Prüfung dieser muss eine funktionierende Energieverteilung ergeben.

Durch Sicherheitsprotokolle könnte der Prüfer mithilfe von Simulationen mögliche Fehler in diesen Systemen diagnostizieren, welche ebenfalls sicherheitsrelevant sind. Auch eventuelle Manipulationen zum Erhöhen der Leistung, ähnlich wie Manipulationen im Motormanagement durch sogenanntes *Chip-Tuning*, könnten zukünftige Faktoren sein, welche geprüft werden müssen, um Defekten vorzubeugen.

Auch die Cybersicherheit muss prüfbar sein, da durch die zukünftige Vernetzung Sicherheitslücken auftreten könnten. Hier sind vor allem der Missbrauch von Daten durch Hacking und auch Fremdeingriffe relevante Themen. Zukünftig könnten Phishing-Angriffe auf Fahrzeuge durch manipulierte Updates vorstellbar sein. Die technischen Überwachungsvereine müssen die Möglichkeit haben, durch das Verbinden von Diagnosegeräten die Sicherheitssysteme auf Sicherheitslücken zu prüfen. Schwachstellen bei der Kommunikation des Fahrzeugs mit der Ladeinfrastruktur und der Umwelt könnten durch sogenannte *Penetrationstests* offengelegt werden. Diese werden von IT-Unternehmen durchgeführt. Dabei wird durch Simulationen und verschiedene Techniken versucht, die Sicherheitssysteme zu durchdringen und Lücken aufzudecken, welche Fremdeingriffe ermöglichen könnten [119]. Man muss also prüfbare Cybersicherheitstools haben.

Da in Zukunft auch das Thema autonomes Fahren eine größere Rolle spielen wird, müssen sich die Überwachungsvereine auch darauf einstellen. Hier werden sehr umfangreiche Prüfungen der Sensorik, der Kameras und Radare der autonomen Fahrzeuge notwendig. Hier müssen die Prüfer durch Testfahrten oder Simulationsprogramme ein durchgehend richtig funktionierendes System sicherstellen, damit es zu keinen Unfällen kommen kann.

Auch der Einsatz der künstlichen Intelligenz scheint nicht mehr in weiter Zukunft zu liegen. Diese könnten die Prüfer entlasten, indem sie Simulationen eigenständig durchführen und dokumentieren. So könnte vor allem das autonome Fahren getestet werden, indem man prüft, ob es in simulierten Verkehrssituationen richtig reagiert. Hier muss jedoch sichergestellt werden, dass diese KI-Systeme einwandfrei funktionieren. Der TÜVIT arbeitet aktuell an Prüfungsmethoden von Künstlicher Intelligenz. Hierbei wird sich stets bemüht, nach Schwachstellen einer KI zu suchen und diese anhand von erstellten Datensätzen und anschließenden Datenanalysen zu überprüfen. Die Qualität der erlernten Informationen sowie die Sicherheit vor Angriffen in Sachen Datenschutz stehen hier im Vordergrund [120].

Hierbei geht es allerdings eher um verwendete KI bei Anbietern, vergleichbar mit *Chat-GPT*. Diese Art der Überprüfung müsste auch auf die Künstliche Intelligenz in der Automobilbranche übertragen werden. Die Frage, die sich hier stellt, lautet: Ist es aktuell überhaupt umsetzbar, die künstliche Intelligenz zeitnah im Automobilsektor zu überprüfen? Und wie bleibt man am besten auf dem aktuellen Stand der Lage bei einem sich so schnell verändernden Sektor?

## 6. Analyse/Fazit

Wie in den letzten Kapiteln verdeutlicht wurde, müssen in nächster Zeit viele Veränderungen sowohl bei der Gesetzgebung als auch bei den technischen Überwachungsvereinen stattfinden, um die voranschreitende Elektrifizierung zu unterstützen.

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass technische Überwachungsvereine auch zukünftig eine Daseinsberechtigung haben werden. Ihr Beitrag ist sehr bedeutend, denn durch sie wird das Vertrauen von Verbrauchern in eine neue Technologie deutlich verstärkt. Für die Hersteller ist die Zusammenarbeit mit den Vereinen durch ihre Expertise unabdingbar. Denn die Vereine entscheiden auf Grundlage der bestehenden Gesetze und Anforderungen, ob eine Technologie verkauft werden darf, und prüfen diese. Gerade deshalb haben Sie einen direkten Einfluss auf die Produktion und Herstellung von Elektrofahrzeugen. Sie haben somit auch einen direkten Einfluss auf die Marktfähigkeit von Fahrzeugen. Jedoch gibt es viele ungeklärte Fragen und Probleme, die in diesem Zusammenhang auftreten.

Jeder technische Überwachungsverein ist in erster Linie ein unabhängiges, privates Unternehmen, welches eine Dienstleistung verkauft. Hier kommt das Problem der umsatzorientierten Arbeit auf. Gerade deshalb gibt es häufig Vorwürfe, dass Prüfer nicht nach Qualität, sondern nach Quantität prüfen, um möglichst viel Umsatz zu generieren. Dadurch, dass viele Prüforganisationen die Mitarbeiter am Gewinn des Unternehmens beteiligen, verstärkt sich dieser Effekt automatisch. Dies kann zu Fehlern bei der Prüfung führen, durch Übersehen von Mängeln, um in möglichst kurzer Zeit viele Prüfungen zu schaffen. Um dem entgegenzuwirken, führen die Vereine unangekündigte Nachprüfungen durch, um die Berichte der Prüfer zu kontrollieren. Zusätzlich werden auch stichprobenartig Berichte aus dem System gezogen und auf Richtigkeit kontrolliert. Jedoch bleibt dieses Problem bestehen.

Ein weiteres Problem der Überwachungsvereine ist der Zeitaspekt. So muss vor allen Dingen die Zusammenarbeit aller Beteiligten weiter verstärkt werden und technische Überwachungsvereine müssen stärker in Gesetzesentwürfe mit einbezogen werden, um eine realistische Umsetzung und anschließende Prüfung zu ermöglichen. Wenn der Gesetzgeber nach eigenem Ermessen Gesetze auf den Weg bringt, wie beispielsweise, dass Verbrennungsfahrzeuge ab dem Jahr 2035 nicht mehr zugelassen werden dürfen, führt dies in der Umsetzung zu massiven Hürden für alle Beteiligten. Prüfstandards sollten in diesen Gesetzesentwürfen beachtet werden, damit die Prüfer realistische Chancen haben, alle Sicherheitsaspekte zu prüfen. Der Zeitfaktor ist von entscheidender Bedeutung. Im Moment schreiben Prüforganisationen für eine Hauptuntersuchung bei PKWs unter 3,5 t eine halbe Stunde, inklusive Abgasuntersuchung, vor. Auch wenn die Abgasuntersuchung zukünftig entfallen könnte, müssen sehr viele weitere Systeme geprüft werden und die gesetzten Zeiten sind auch aus eigenen Erfahrungswerten sehr knapp. Wenn zusätzlich weitere Prüfungen relevant werden, wie das Kontrollieren aller Assistenzsysteme, verstärkt sich dieser Effekt. Ein Lösungsansatz wäre die Einführung einer gesonderten Prüfung für Elektrofahrzeuge.

Der Zeitaspekt ist auch für die Gesetzgeber ein relevantes Thema. Hier betrifft es vor allem die Zeit, die es braucht, um Gesetze einzuführen. Auch hier müssen Gesetzgeber und die Überwachungsvereine eine engere Zusammenarbeit haben. Der Gesetzgeber muss die Hersteller zu Transparenz in der Entwicklung drängen, um möglichst frühzeitig Gesetze entwerfen zu können. Zurzeit ist der bürokratische Aufwand der hauptsächliche Grund, warum Gesetze meistens deutlich später in Kraft treten. Jedoch könnten zu schnell eingeführte Gesetze, ohne gute Absprache in Bezug auf die Umsetzbarkeit, bei den Prüfungsvereinen und Herstellern zu weiteren Problemen führen. Zusätzlich ist auch die gesellschaftliche Akzeptanz bei neuen Gesetzen entscheidend. Eine verlängerte Anlaufzeit unterstützt diese.



Andersherum ist die technologische Entwicklung deutlich schneller und man würde dieser hinterherlaufen. Unserer Meinung nach ist eine deutliche Planung und Absprache aller Beteiligten entscheidend.

Vor allem könnte das autonome Fahren, auch beim Zeitaspekt, ein großes Problem darstellen. Man müsste, um dieses zu prüfen, sowohl die Software auf Fehler untersuchen als auch in realistischen Fahrversuchen die Funktionalität prüfen. Wie genau so eine Prüfung ablaufen soll, bleibt zurzeit ungeklärt. Hier muss man auf die Transparenz der Hersteller plädieren, durch entsprechende Gesetze, und dass diese eine Möglichkeit zur Verfügung stellen, um die verbaute Soft- und Hardware prüfen zu können. Diese muss im selben Moment aber auch geschützt sein vor Manipulationen durch beispielsweise Hacking oder Phishing-Angriffe. Es müsste also eine separate Möglichkeit geben, mit bestimmten Prüfgeräten in die Steuergeräte zu gelangen und diese zu testen. Hier stellt sich die Frage, was genau getestet werden soll. Sollen Simulationen durchgeführt werden? Oder werden bestimmte Fehler abgespeichert, welche durch die Diagnose offengelegt werden können? Solche Fehler zu kategorisieren könnte schwierig sein, da beim autonomen Fahren jeder Fehler zu einem Totalausfall führen könnte. Die Hersteller müssten demnach dafür sorgen, dass jede Kamera und jeder Sensor eine automatische Fehlererkennung bieten, welche wiederum auch geprüft werden müsste. Dazu könnten auch weitere zukünftige Assistenzsysteme die Frage der Prüfbarkeit aufwerfen. Dies sind nur einige der ungeklärten Probleme bei diesem Thema. Da es zurzeit kaum standfeste Ansätze zu diesem Thema gibt, halten wir eine sichere, zeitnahe Umsetzung für sehr unwahrscheinlich.

Der Wegfall der Abgasuntersuchungen könnte auch zu Einbrüchen im Umsatz führen. So werden durch die Inflation und anhaltende Krisen auch die Untersuchungspreise, wie alles andere, weiter in die Höhe getrieben. Die Abgasuntersuchung macht laut dem aktuellen Preiskatalog des TÜV Nord (Stand 1.1.2025) etwa 36 % des Gesamtpreises der kombinierten Haupt- und Abgasuntersuchung aus. Eine Hauptuntersuchung ohne Abgasuntersuchung kostet in Hamburg demnach 102,90 €, während eine mit Abgasuntersuchung 159,90 € kostet [121].

Ähnliche Preise verzeichnen auch andere Vereine. Zwangsläufig müssten die Preise für Hauptuntersuchungen angepasst werden, damit die Unternehmen weiterhin ihre Betriebskosten decken können. Man muss jedoch dabei bedenken, dass die teuren Abgastestgeräte nicht mehr benötigt werden würden. Nur Hybridfahrzeuge müssten weiterhin eine Abgasuntersuchung durchlaufen. Es müssten jedoch andere Prüfgeräte angeschafft werden, welche die spezifischen Bauteile von Elektrofahrzeugen prüfen können. Da es derzeit nur wenige Prüfgeräte gibt, ist es schwer zu sagen, ob und inwieweit sich diese mit den entfallenen Kosten decken würden. Zusätzlich würde der Aspekt der Schulungen und Weiterbildungen des Personals eine Rolle spielen. Neue Prüfverfahren durch neue Prüfgeräte müssten in Fortbildungen durch Experten in diesen Bereichen an die Prüfer übermittelt werden, wodurch zusätzliche Kosten entstehen werden. Die Prüflingenieure von Überwachungsvereinen durchlaufen vor ihrer Zertifizierung zum Prüflingenieur eine Qualifizierung, um grundlegende Kenntnisse zu Gesetzen und Prüfverfahren zu erlernen. Diese müsste um die nötigen Themenfelder erweitert werden.

Ein positiver Aspekt, wenn Abgasuntersuchungen weniger Relevanz haben, könnte das Wegbleiben der Skandale in diesem Bereich sein. So ist beispielsweise der Dieselskandal von VW aus dem Jahr 2015 ein bekannter Fall. Dort wurde bei Dieselfahrzeugen die Software so manipuliert, dass die Fahrzeuge in Testsituationen besser abschnitten als im realen Fahrbetrieb. Nachdem der Skandal öffentlich wurde, wurden Strafen verhängt und eine große Rückrufaktion seitens VW für die betroffenen Modelle gestartet [123].



Einen ähnlichen Fall gibt es auch beim Hersteller *Mercedes-Benz*, welcher ebenfalls seit 2018 viele Rückrufe gestartet hat, aufgrund der Feststellung, dass in ihren Dieselfahrzeugen Abschaltvorrichtungen verbaut sind [124]. Um solche Manipulationen zu verhindern, muss man, wie bereits erwähnt, unter realistischen Testbedingungen prüfen, beispielsweise durch *Real Driving Emission Tests*. Der TÜV hat auf solche Skandale ebenfalls reagiert und die Abgasuntersuchungen verschärft. Neben der OBD-Messung wurde auch eine tatsächliche Abgasmessung vorgeschrieben, indem eine Sonde in den Auspuff geführt wird und reale Abgaswerte liefert.

Gerechtfertigt werden könnten die zu erwartenden Preisanstiege durch die zusätzlichen Prüfungsvorschriften, die entstehen. So sind die Batterie und das Hochvoltssystem im Allgemeinen wohl einer der wichtigsten sicherheitsrelevanten Faktoren in der Zukunft. Hier könnte es problematisch werden, diese zu prüfen. Grundsätzlich wird beim TÜV eine zerlegungsfreie Prüfung durchgeführt, was bedeutet, dass man keine Bauteile auseinanderbauen darf, sondern nur die prüft, welche im direkten Sichtbereich sind. Da die Batterien durch Abdeckungen und Verkleidungen unter den Fahrzeugen verbaut sind, fällt eine Sichtprüfung schwer. Auch die Verkabelung der Hochvoltssysteme ist meistens unter Abdeckungen verbaut, so dass die Leitungen und Kabel nicht umfassend prüfbar sind. Die Prüfer können demnach nur auf äußerliche Beschädigungen der Verkleidung oder auf ein Auslaufen der Batteriekomponenten in den sichtbaren Bereichen prüfen. Was jedoch innerhalb der Batterien passiert, kann nur mithilfe von Diagnosegeräten wie dem *AVILOO Flash Test* geprüft werden.

Solche Prüfverfahren sind zurzeit aber Dienstleistungen und somit nicht verpflichtend. Sie werden nur auf Eigeninitiative des Fahrzeughalters durchgeführt. Durch solche Verfahren könnten jedoch Manipulationen und Unregelmäßigkeiten festgestellt werden. Dies ist vor allen Dingen interessant beim Kauf eines gebrauchten Elektrofahrzeugs. So könnte der Käufer sich vergewissern, dass die Batterie einwandfrei und dem Alter entsprechend läuft. Denn gerade der Gebrauchtwagenmarkt birgt gewisse Risiken. Es könnten bereits alte oder teilweise defekte Batterien aufbereitet werden und somit äußerlich wie neue aussehen. Dazu könnten auch nicht zugelassene Nachrüstabatterien aus dem Ausland, welche keine Herstellerempfehlung haben, aber dennoch verbaut werden, ein realistisches Szenario in der Zukunft sein. Deshalb halten wir Konzepte wie den Batteriepass für sehr sinnvoll. Die Richtigkeit des Passes soll von nationalen Behörden wie dem *Umweltbundesamt* (kurz: UBA), der *Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung* (kurz: BAM) und den *Landesbehörden für Umwelt und Wirtschaft* durch regelmäßige Prüfungen kontrolliert werden [71]. Ob solche Prüfungen ausreichen und wie genau diese ablaufen sollen, wird sich in der Zukunft herausstellen. Inwieweit ein solcher Batteriepass manipulierbar ist, bleibt zurzeit ebenfalls ungeklärt. Eine weitere Möglichkeit wäre, Batterien mit individuellen Identifikationsnummern auszustatten, welche in den Fahrzeugpapieren aufgeführt werden. Diese könnte abgeglichen werden und das Risiko von falsch verbauten Batteriesystemen minimieren. Jedoch würde jeder Batteriewechsel eine Berichtigung der Fahrzeugpapiere erfordern. Hier stellt sich die Frage, ob der Aufwand sich lohnen würde und wie manipulationssicher ein solches Verfahren wäre.

Auch die Manipulation durch die Hersteller selbst ist denkbar. So hatte *TESLA* bereits mit Anschuldigungen dieser Art zu kämpfen. Es wurde behauptet, dass durch Updates die Kapazität von Batterien reduziert wurde, wodurch die Reichweite geringer wurde. Dies wurde wohl gemacht, um die Lebensdauer der Batterie zu erhöhen und Brände zu vermeiden. In solchen Fällen muss der Gesetzgeber klare Grenzen setzen und durch die Prüfvereine die Richtigkeit der Updates kontrollieren lassen [122].

Die Manipulation von Ladezyklen, ähnlich dem der Kilometerstände, könnte bald ebenfalls relevant werden. So könnte die Speicherung der Anzahl der Ladezyklen blockiert werden und die Batterie würde somit einen höheren Gesundheitszustand signalisieren, da die Ladezyklen einen enormen Einfluss auf die Langlebigkeit von Batterien haben. Hersteller sind in der Pflicht Sicherheitssysteme zu verbauen, welche dies verhindern.

Das Batteriemanagement ist auch ein wichtiger Faktor. Die Prüfer müssen Geräte haben, welche diese kontrollieren, sowohl während der Fahrt als auch während des Ladeprozesses. Zusätzlich muss eine Fehlerspeicherung erfolgen und auch die Lebensdauer der Batterie muss auslesbar sein. Eine Manipulation durch sogenanntes *Chip-Tuning* muss ausgeschlossen werden können. Da Elektrofahrzeuge regelmäßig mit *Over-the-Air-Updates* seitens der Hersteller versorgt werden, werden die Tuningmöglichkeiten minimiert. Die Software wird immer auf den aktuellen, vom Hersteller empfohlenen Stand gebracht. Jedoch muss es eine Möglichkeit geben, wie Überwachungsvereine kontrollieren können, dass das Fahrzeug auch tatsächlich mit einem aktuellen Update läuft. Die Frage wäre, ob die Nutzung eines veralteten Systems demnach einen erheblichen Mangel darstellt und inwieweit auch die Erkennung der Updates manipuliert werden kann, durch Programmierung oder Ähnliches. Auch hier müssten die Hersteller durch entsprechende Gesetze dazu gelehrt werden, genügend Transparenz in Bezug auf ihre Daten zu bieten.

Es gibt noch viele weitere unbekannte Probleme, die sich mit der schnell voranschreitenden Technologie ergeben könnten, durch beispielsweise neue Systeme. Eine engere Zusammenarbeit zwischen Gesetzgebern, Prüforganisationen und Herstellern ist demnach essenziell. Vor allem das Zusammenspiel zwischen den Überwachungsvereinen und der Gesetzgebung sollte überdacht werden. Da die Überwachungsvereine private Unternehmen sind, haben sie keine direkte Verbindung zum Gesetzgeber und somit auch keinen Behördenstatus.

Zurzeit werden Gesetzesvorschläge beispielsweise in der EU von einer Kommission in Umlauf gebracht und durch weitere politische Instanzen geprüft [125]. Gesetze, die den Automobilsektor betreffen, sollten mehr in Absprache aller Beteiligten erfolgen und auch mit der Hilfe von Experten und Technikern entstehen, damit eine Umsetzung leichter fällt. Auch im direkten Gespräch mit anderen Prüfsachverständigen wird diese Meinung von vielen bestätigt.

So wollte die EU-Kommission die Grenzwerte der Euro-7-Norm ursprünglich deutlich verschärfen. Das Vorhaben wurde jedoch von vielen Ländern und dem EU-Parlament abgelehnt, mit der Begründung, dass Hersteller ihre gesamten Kapazitäten in die Entwicklung von Elektrofahrzeugen investieren müssen, weil ab 2035 keine Verbrennungsfahrzeuge mehr zugelassen werden dürfen. Hier merkt man, dass der Gesetzgeber teilweise aus eigenem Ermessen Gesetze in Kraft treten lassen will und somit die Beteiligten vor große Herausforderungen stellt [116].

Viele Gesetze, die die Elektromobilität vorantreiben, betreffen zudem nur die Hersteller und die direkte Umsetzung, wie beispielsweise die Infrastruktur. Es werden zu wenige Gesetze verabschiedet, die eine langfristige Elektrifizierung, auch durch Prüfung der technischen Überwachungsvereine, gewährleisten. Denn diese tragen ihren Teil zur Integration dieser Technologie in den Straßenverkehr und die Gesellschaft bei.

Wir halten es für unwahrscheinlich, dass in naher Zukunft ausschließlich Elektrofahrzeuge bewegt werden, da die Politik immer mehr Andeutungen auf ein Zurückrudern der vollständigen Umsetzung der Elektrifizierung macht und der Bestand von Verbrennungsfahrzeugen um ein Vielfaches höher ist. Außerdem läuft die Verbreitung der Elektrofahrzeuge, aus den bereits in dieser Arbeit besprochenen Gründen, nicht wie erwartet.

Folglich sind wir der Meinung, dass Elektrofahrzeuge und Verbrennungsfahrzeuge für einen längeren Zeitraum in einer ähnlichen Verteilung stattfinden werden.

Dass die Gesetzgeber an ihren Vorhaben festhalten, die Elektromobilität voranzutreiben, ist sehr wahrscheinlich, jedoch gehen wir davon aus, dass die Zeitspanne der Umsetzung verschoben werden könnte. Eine Prognose für die mögliche Entwicklung in der Zukunft lässt sich somit schwer sagen. Dass alles in der aktuell geplanten Zeit machbar ist, bleibt offen. Es gibt im Moment viele Herausforderungen, die ungeklärt sind. Die zukünftige Entwicklung bleibt somit abzuwarten.



## 7. Literaturverzeichnis

[1] **Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 14.07.2020:**

<https://www.bmwk-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2020/08/Meldung/direkt-erklärt.html> (10.01.2025)

[2] **Deutsche Industrie- und Handelskammer, CO2-Grenzausgleich der EU – was kommt auf die Unternehmen zu? 03.05.2024:**

<https://www.dihk.de/de/themen-und-positionen/internationales/handelspolitik/cbam/co2-grenzausgleich-der-eu-was-kommt-auf-die-unternehmen-zu--93624#:~:text=die%20Unternehmen%20zu%3F-,CO2%2DGrenzausgleich%20der%20EU%20-%20was%20kommt%20auf%20die%20Unternehmen%20zu,der%20Europäischen%20Union%20hergestellt%20wurden> (11.01.2025)

[3] **European Union, Europäisches Klimagesetz, 29.07.2021:**

<https://eur-lex.europa.eu/DE/legal-content/summary/european-climate-law.html> (10.01.2025)

[4] **Umweltbundesamt, Pkw und leichte Nutzfahrzeuge, 09.06.2020:**

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr/emissionsstandards/pkw-leichte-nutzfahrzeuge#die-europaische-abgas-gesetzgebung> (03.04.2025)

[5] **Allianz Direct Versicherungs-AG, ALLES ZU SCHADSTOFF-KLASSE & EURONORM:**

<https://www.allianzdirect.de/kfz-versicherung/schadstoffklasse-ratgeber/#:~:text=Lkw%20und%20Busse%20mit%20dem,relevanten%20Schadstoffe%20wie%20Kohlenstoffmonoxid%20aus> (03.04.2025)

[6] **Autoscout24, Schadstoffklasse: Von D2 bis Euro 6, 29.08.2024:**

<https://www.autoscout24.de/informieren/ratgeber/autorecht/schadstoffklasse/> (12.01.2025)

[7] **Umweltbundesamt, Umweltzonen in Deutschland, 01.08.2024:**

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe/feinstaub/umweltzonen-in-deutschland#5-wie-werden-umweltzonen-eingeteilt> (03.04.2025)

[8] **ADAC, Kfz-Steuer: So wird sie berechnet 14.01.2025:**

<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/auto-kaufen-verkaufen/kfz-steuer/kfz-steuer-rechner/> (16.01.2025)

[9] **BMW AG, Motoren und technische Daten BMW 8er Coupe M Automobile:**

<https://www.bmw.de/de/neufahrzeuge/m/m8-coupe/bmw-8er-coupe-m-automobile-technische-daten.html/bmw-m850i-xdrive-coupé.bmw> (13.01.2025)

[10] **ADAC, Euro-7-Abgasnorm: Wann sie kommt und was sich ändert, 19.07.2024:**

<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/abgasnormen/euro-7/> (20.02.2025)

[11] **TÜV NORD, Neue Norm – Neue Regeln, 11.07.2024:**

<https://www.tuev-nord.de/explore/de/nachhaltigkeit/neue-norm-neue-regeln/#:~:text=Die%20Euro%207%20nimmt%20erstmals,2030%20um%2030%20Prozent%20reduzieren> (20.02.2025)

[12] **Wikipedia, Elektromobilität:**

<https://de.wikipedia.org/wiki/Elektromobilit%C3%A4t> (17.01.2025)

[13] **Wikipedia, Geschichte des Elektroautos:**

[https://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte\\_des\\_Elektroautos](https://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte_des_Elektroautos) (17.01.2025)

[14] **Vattenfall InCharge, Die Geschichte des Elektroautos: 1832 ging es los, 10.01.2020:**

<https://incharge.vattenfall.de/wissens-hub/articles/die-geschichte-des-elektroautos-1832-ging-es-los> (17.01.2025)

[15] **VEOMO Consulting GmbH, Vom ersten Elektroauto zum Tesla: Das ist die Geschichte der E-Mobilität, 12.03.2024:**

<https://veomo.com/blog/vom-ersten-elektroauto-zum-tesla-das-ist-die-geschichte-der-e-mobilit%C3%A4t> (04.04.2025)

[16] **Die Bundesregierung, EU-Umweltrat: Nur noch CO2-frei fahren:**

<https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/verbrennermotoren-2058450> (18.01.2025)

[17] **ADAC, Pkw-Neuzulassungen im März 2025: Bitterer Monat für Tesla, 03.04.2025:**

<https://www.adac.de/news/neuzulassungen-kba/> (04.04.2025)

[18] **Volkswagen AG, Modularer E-Antriebs-Baukasten:**

<https://www.volkswagen-newsroom.com/de/modularer-e-antriebs-baukasten-3677> (25.03.2025)

[19] **Electricar, Philipp Lumetsberger, Das kosten die Bauteile eines Elektro-Autos, 04.01.2024:**

<https://www.electricar-magazin.de/post/das-kosten-die-bauteile-eines-elektro-autos> (27.01.2025)

[20] **E.ON Energie Deutschland GmbH, Die Funktionsweise von Lithium-Ionen-Akkus – einfach erklärt:**

<https://www.eon.de/de/pk/e-mobility/elektroauto-batterie/funktionsweise.html> (22.02.2025)

[21] **Elektromobilität Grundlagen einer Fortschrittstechnologie: Kapitel 7, von Achim Kampker und Heiner Hans Heimes, 3.Auflage Springer Vieweg**

[21.2] **Elektromobilität Grundlagen einer Fortschrittstechnologie: Kapitel 5, von Achim Kampker und Heiner Hans Heimes, 3.Auflage Springer Vieweg**

[22] **Carwow, Technische Daten, Masse und Ausstattung des TESLA Model S Modells:**

<https://www.carwow.de/tesla/model-s/technische-daten#gref> (07.02.2025)

[23] **Handelsblatt GmbH, so funktioniert die Batterie eines Elektroautos, 23.01.2020:**

<https://www.handelsblatt.com/mobilitaet/motor/elektromobilitaet-so-funktioniert-die-batterie-eines-elektroautos/25464620.html> (05.02.2025)

[24] **TÜV NORD, Elektroauto Batterie - Lebensdauer erhöhen und Elektroautos richtig laden:**

<https://www.tuev-nord.de/de/privatkunden/verkehr/auto-motorrad-caravan/elektromobilitaet/elektroauto-batterie/#:~:text=Die%20durchschnittliche%20Lebensdauer%20einer%20Batterie,halten%20mindestens%201.000%20komplette%20Ladezyklen> (19.02.2025)

- [25] **Auto Motor und Sport, Batterien halten länger als Diesel und Benzin, 16.12.2024:**  
<https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/alternative-antriebe/elektroauto-akku-batterie-haltbarkeit-studie-v1/> (15.02.2025)
- [26] **Volkswagen AG, Akkus: Über die richtige Pflege und den Memory-Effekt:**  
<https://www.volkswagen.de/de/besitzer-und-service/magazin/elektromobilitaet/akkus-alles-ueber-die-richtige-pflege-und-den-memory-effekt.html> (20.02.2025)
- [27] **DEKRA, Brandgefahr bei E-Fahrzeugen, 10.04.2024:**  
<https://www.dekra.de/de/brandgefahr-bei-elektro-fahrzeugen/> (11.02.2025)
- [28] **ADAC, Feststoffbatterie: Ist das die Zukunft im Elektroauto? 03.03.2025:**  
<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/laden/feststoffbatterie/>  
(16.03.2025)
- [29] **Auto Motor und Sport, Toyota kooperiert für Feststoffakku mit Idemitsu, 14.10.2023:**  
<https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/alternative-antriebe/toyota-feststoff-batterie-super-akku-wie-weit-typen-idemitsu/> (20.02.2025)
- [30] **QuantumScape Battery, Inc., Delivering on the promise of solid-state technology:**  
<https://www.quantumscape.com/technology/> (20.02.2025)
- [31] **Vattenfall, Natrium-Ionen-Akkus: Ihre Rolle für E-Autos und PV-Speicher, 12.12.2024:**  
<https://www.vattenfall.de/infowelt-energie/e-mobility/natrium-ionen-batterie> (20.02.2025)
- [32] **Auto Motor und Sport, Die Herzen der Elektroautos, 12.09.2023:**  
<https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/elektroauto-akku-batterie-typ-uebersicht/>  
(22.02.2025)
- [33] **Ingenieur.de, Aluminium-Luft-Akku macht Elektroautos fit für Langstrecken, 11.06.2014:**  
<https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/verkehr/aluminium-luft-akku-elektroautos-fit-fuer-langstrecken/> (24.02.2025)
- [34] **Elektromobilität Grundlagen einer Fortschrittstechnologie: Kapitel 24, von Achim Kampker und Heiner Hans Heimes, 3.Auflage Springer Vieweg**
- [35] **Bundesnetzagentur, Elektromobilität Öffentliche Ladeinfrastruktur, 01.03.2025:**  
<https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/E-Mobilitaet/start.html> (13.03.2025)
- [36] **Norddeutscher Rundfunk, Induktion soll Laden von Elektroautos einfacher machen, 19.09.2024:**  
[https://www.ndr.de/nachrichten/niedersachsen/braunschweig\\_harz\\_goettingen/Induktion-soll-Laden-von-Elektroautos-einfacher-machen,induktivesladen100.html](https://www.ndr.de/nachrichten/niedersachsen/braunschweig_harz_goettingen/Induktion-soll-Laden-von-Elektroautos-einfacher-machen,induktivesladen100.html) (13.03.2025)
- [37] **EnBW Energie Baden-Württemberg AG, Induktives Laden bei E-Autos: Vielversprechende Technik mit großem Potenzial, 21.10.2024:**  
<https://www.enbw.com/blog/elektromobilitaet/laden/induktives-laden-bei-e-autos-vielversprechende-technik-mit-groessem-potenzial/> (27.02.2025)



[38] **ADAC, Das Elektroauto als Stromspeicher fürs Haus: So funktioniert bidirektionales Laden, 28.10.2024:**

<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/laden/bidirektionales-laden/>  
(24.02.2025)

[39] **Automobil-Produktion.de, V2G-Technik: Nissan Leaf als Kraftwerk vorqualifiziert, 24.10.2018:**

<https://www.automobil-produktion.de/technologie/v2g-technik-nissan-leaf-als-kraftwerk-vorqualifiziert-102.html> (20.02.2025)

[40] **ADAC, Rekuperation: So viel Bremsenergie holen Elektroautos wirklich zurück, 18.03.2024:**

<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/elektroauto/rekuperation-elektroauto/> (24.02.2025)

[41] **EnBW Energie Baden-Württemberg AG, Elektroauto mit AC oder DC laden: Wo liegt der Unterschied? 03.04.2023:**

<https://www.enbw.com/blog/elektromobilitaet/laden/grundwissen-was-ist-der-unterschied-zwischen-ac-und-dc-laden/> (02.03.2025)

[42] **ADAC, Elektroauto-Batterie: Lebensdauer, Garantie, Reparatur, 25.10.2022:**

<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/laden/elektroauto-batterie/>  
(02.03.2025)

[43] **TÜV NORD, Wie Fahrassistenzsysteme Sie unterstützen können:**

<https://www.tuev-nord.de/de/privatkunden/ratgeber-und-tipps/technik/fahrassistenzsysteme/>  
(02.03.2025)

[44] **ADAC, Autonomes Fahren Level 3: Freihändig durch den Stau, 21.01.2025:**

<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/autonomes-fahren/technik-vernetzung/autonomes-fahren-staupilot-s-klasse/> (04.03.2025)

[45] **TÜV NORD, Wirkungsgrad - Die Nutzbarkeit der Energie:**

<https://www.tuev-nord.de/de/privatkunden/verkehr/auto-motorrad-caravan/elektromobilitaet/wirkungsgrad/> (16.03.2025)

[46] **Statista, Vergleich der Energiekosten für Personenkraftwagen in Deutschland im März 2025, 14.03.2025:**

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1280993/umfrage/energiekostenvergleich-fuer-personenkraftwagen-in-deutschland/> (20.03.2025)

[47] **ADAC, Treibhausgas-Bilanz: Welcher Antrieb kann das Klima retten? 21.12.2022:**

<https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/alternative-antriebe/klimabilanz/>  
(04.03.2025)

[48] **Green Vision Solutions GmbH, CO<sub>2</sub>e: Die Bedeutung des CO<sub>2</sub>-Äquivalents einfach erklärt, 19.12.2023:**

<https://greenvisionsolutions.de/co2e-erklart/#:~:text=CO2-Äquivalente%20sind%20Maßeinheiten%2C%20die%20verschiedene%20Treibhausgase%20in%20einem,Beitrag%20zum%20Treibhauseffekt%20im%20Vergleich%20zu%20Kohlendioxid%20%28CO2%29> (05.03.2025)

[49] **VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V., VDI-ÖKOBILANZ Wann wird Autofahren grün?**

<https://www.vdi.de/themen/mobilitaet/vdi-oekobilanz-fuer-pkw-antriebe> (05.03.2025)

[50] **VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V., VDI-Analyse der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Pkw mit verschiedenen Antriebssystemen Dezember 2023:**

[https://www.vdi.de/fileadmin/pages/vdi\\_de/redakteure/themen/Mobilitaet/Dateien/3718\\_Publication\\_Factsheet\\_VDI-Analyse\\_der\\_CO2-Emissionen\\_Internet\\_\\_1\\_.pdf](https://www.vdi.de/fileadmin/pages/vdi_de/redakteure/themen/Mobilitaet/Dateien/3718_Publication_Factsheet_VDI-Analyse_der_CO2-Emissionen_Internet__1_.pdf) (05.03.2025)

[51] **Fraunhofer-Institut System- und Innovationsforschung ISI, Elektroauto versus Verbrenner – Kostenanalyse zeigt klaren Vorteil für E-Fahrzeuge 29. März 2023:**

<https://www.isi.fraunhofer.de/de/presse/2023/presseinfo-04-elektroauto-versus-Verbrenner-Kostenanalyse.html> (05.03.2025)

[52] **Statista, Weltweite Preisentwicklung für Lithium-Ionen-Akkus in ausgewählten Jahren von 2013 bis 2023, 05.07.2024:**

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/534429/umfrage/weltweite-preise-fuer-lithium-ionen-akkus/> (05.03.2025)

[53] **Statista, Anzahl der Ladepunkte für Elektrofahrzeuge in Europa nach Ländern im Jahr 2024:**

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1265922/umfrage/oeffentliche-ladepunkte-fuer-e-autos-in-europa-nach-laendern/> (18.02.2025)

[54] **Das Kraftfahrt-Bundesamt, Der Fahrzeugbestand am 1. Januar 2024, 04.03.2024:**

[https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Fahrzeugbestand/2024/pm08\\_fz\\_bestand\\_pm\\_komplett.html](https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Fahrzeugbestand/2024/pm08_fz_bestand_pm_komplett.html) (18.02.2025)

[55] **Parklio, Top 10 Städte in Europa mit den meisten Ladestationen für Elektrofahrzeuge:**

<https://parklio.com/de/blog/top-10-stadte-in-europa-mit-den-meisten-ladestationen-fur-elektrofahrzeuge> (19.02.2025)

[56] **ADAC, wo es nach dem Aus der KfW-Wallbox-Förderung noch Geld gibt, 02.12.2024:**

<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/laden/foerderung-wallbox/> (19.02.2025)

[57] **Wikipedia, Tesla Supercharger:**

[https://de.wikipedia.org/wiki/Tesla\\_Supercharger](https://de.wikipedia.org/wiki/Tesla_Supercharger) (19.02.2025)

[58] **Umweltbundesamt, Erneuerbare-Energien-Gesetz, 08.09.2023:**

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-gesetz#erfolg> (08.03.2025)

[59] **E.ON Energie Deutschland GmbH, Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG):**

<https://www.eon.de/de/eonerleben/eeg-erklart.html#:~:text=Mit%20der%20Novelle%202024%20will,Dächern%20und%20in%20Freiflächen%20erfolgen> (08.03.2025)

- [60] **Bundesnetzagentur, Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz (NABEG):**  
<https://www.netzausbau.de/Wissen/GesetzeVerstehen/NABEG/de.html> (25.02.2025)
- [61] **Car IT kompakt Reloaded Das Auto der Zukunft – Vernetzt und autonom fahren, Die Fahrzeugindustrie zwischen Tradition und Innovation 2024, Kapitel: 1.3.6, Roman Mildner, Thomas Ziller, Franco Baiocchi**
- [62] **DKE – VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V., Smart Grid: Intelligentes Stromnetz für die Energiewende, 27.11.2023:**  
<https://www.dke.de/de/arbeitsfelder/energy/smart-grid> (27.02.2025)
- [63] **Car IT kompakt Reloaded Das Auto der Zukunft – Vernetzt und autonom fahren, Die Fahrzeugindustrie zwischen Tradition und Innovation 2024, Kapitel: 1.3.7, Roman Mildner, Thomas Ziller, Franco Baiocchi**
- [64] **Ingenieur.de, Elektromobilität: Frühwarnsystem für brennende Akkus in Arbeit, 26.10.2023:**  
[https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/elektronik/elektromobilitaet-fruehwarnsystem-fuer-brennende-akkus-in-arbeit/#:~:text=Die%20Europäische%20Union%20\(EU\)%20hat,Juli%202023%20in%20Deutschland%20angemeldet](https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/elektronik/elektromobilitaet-fruehwarnsystem-fuer-brennende-akkus-in-arbeit/#:~:text=Die%20Europäische%20Union%20(EU)%20hat,Juli%202023%20in%20Deutschland%20angemeldet) (02.03.2025)
- [65] **Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, FAQs zur Sicherheit von Lithium-Ionen-Batterien in E-Autos:**  
<https://www.bam.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Energie/Elektrische-Energiespeicher/faq-sicherheit-lithiumbatterien-elektroautos.html> (04.03.2025)
- [66] **DEKRA, DEKRA Expertentipp: Homologation von Elektrofahrzeugen:**  
<https://www.dekra.de/de/expertentipp-homologation-elektrofahrzeuge/> (29.03.2025)
- [67] **Auto Motor und Sport, Pflicht-Sound für E-Autos, 11.06.2021:**  
<https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/sound-fuer-elektroautos/> (29.03.2025)
- [68] **BMUV, Ressourcenbilanz: Welchen Rohstoffbedarf haben Elektroautos?**  
<https://www.bmuv.de/themen/verkehr/elektromobilitaet/ressourcenbilanz> (05.03.2025)
- [69] **Europäisches Parlament, Neue EU-Vorschriften für nachhaltigere und ethisch bedenkenlose Batterien, 15.11.2023:**  
<https://www.europarl.europa.eu/topics/de/article/20220228STO24218/neue-eu-vorschriften-fur-nachhaltigere-und-ethisch-bedenkenlose-batterien> (07.03.2025)
- [70] **KPMG Law, EU-Batterieverordnung: Neue Pflichten für Hersteller und Industrie, 23.02.2024:**  
<https://kpmg-law.de/eu-batterieverordnung-neue-pflichten-fuer-hersteller-und-industrie/#:~:text=Bestimmte%20Industriebatterien%2C%20Batterien%20für%20Elektrofahrzeuge,Laufe%20der%20Zeit%20erhöht%20wird> (07.03.2025)



[71] **TÜV SÜD, EU-Batteriepass:**

<https://www.tuvsud.com/de-de/dienstleistungen/produktpruefung-und-produktzertifizierung/batteriepass> (29.03.2025)

[72] **ADAC, Förderung für E-Autos: Das ist der aktuelle Stand, 16.01.2025:**

<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/elektroauto/foerderung-elektroautos/> (09.03.2025)

[73] **ADAC, Kfz-Steuer: Das gilt 2025 bei Elektroautos, 14.01.2025:**

<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/elektroauto/kfz-steuer-elektroautos/> (20.03.2025)

[74] **ADAC, E-Auto als Firmenwagen: Geldwerter Vorteil und Ladekosten 2025, 12.02.2025:**

<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/elektroauto/elektroauto-firmenwagen-steuern/> (20.03.2025)

[75] **BMUV, Das System der CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge, 04.05.2020:**

[https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Luft/zusammenfassung\\_co2\\_flottengrenzwerte.pdf](https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Luft/zusammenfassung_co2_flottengrenzwerte.pdf) (15.03.2025)

[76] **Norddeutscher Rundfunk, Nach fünf Jahren: Hamburg hebt Diesel-Fahrverbote auf 13.09.2023:**

<https://www.ndr.de/nachrichten/hamburg/Nach-fuenf-Jahren-Hamburg-hebt-Diesel-Fahrverbote-auf,dieselfahrverbote110.html> (25.03.2025)

[77] **Umweltbundesamt, Umweltzonen in Deutschland, 01.08.2024:**

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe/feinstaub/umweltzonen-in-deutschland#1-wie-ist-der-aktuelle-stand-der-umweltzonen> (25.03.2025)

[78] **Mitteldeutscher Rundfunk, ADAC und Autoindustrie halten rückwirkendes Diesel-Verbot für unwahrscheinlich, 05.08.2024**

<https://www.mdr.de/nachrichten/deutschland/politik/diesel-verbot-eugh-unwahrscheinlich-100.html#:~:text=In%20der%20Frage%2C%20ob%20alte,nicht%20rückwirkend%20geändert%20werden%20könnten> (02.04.2025)

[79] **Bundeszentrale für politische Bildung, Rückwirkungsverbot:**

<https://www.bpb.de/kurz-knapp/lexika/recht-a-z/323973/rueckwirkungsverbot/> (02.04.2025)

[80] **Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, Wie funktioniert eigentlich der Europäische Emissionshandel? 14.07.2020:**

<https://www.bmwk-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2020/08/Meldung/direkt-erklaert.html> (18.03.2025)

[81] **Bussgeldkatalog.org E-Parkplatz: Wer darf dort parken und wer nicht?**

<https://www.bussgeldkatalog.org/e-parkplatz/> (15.03.2025)

[82] **Hamburg.de, Parkprivilegien für E-Fahrzeuge in Hamburg:**

<https://www.hamburg.de/politik-und-verwaltung/behoerden/bwi/932104-932104> (15.03.2025)

[83] **Statisches Bundesamt, 40,9 % der von Januar bis April 2024 importierten E-Autos kommen aus China, 18.06.2024:**

[https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2024/06/PD24\\_231\\_51.html#:~:text=Wie%20das%20Statistische%20Bundesamt%20\(Destatis,mengen%2D%20als%20auch%20wertm%C3%A4%C3%9Fig%20verdreifacht%20\(17.03.2025\)\)](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2024/06/PD24_231_51.html#:~:text=Wie%20das%20Statistische%20Bundesamt%20(Destatis,mengen%2D%20als%20auch%20wertm%C3%A4%C3%9Fig%20verdreifacht%20(17.03.2025)))

[84] **Zum E-Auto gezwungen, Kapitel 6: Die Konkurrenz: Asien und vor allem China geben den Ton an, Dr. Achim Brunnengräber, 2020**

[85] **Hybridbetriebsstrategien mit elektronischem Horizont ñ ein Gemeinschaftsprojekt der Daimler AG, der Volkswagen AG und dem ika, Kapitel 4.1 4.1 Versuchsergebnisse der Daimler AG, Aachen Kolloquium:**

[https://www.aachen-colloquium.com/images/tagungsunterlagen/2008\\_17.\\_ACK/29\\_E6.2\\_toepler.pdf](https://www.aachen-colloquium.com/images/tagungsunterlagen/2008_17._ACK/29_E6.2_toepler.pdf)

[86] **Wikipedia, Batteriemangagementsystem:**

<https://de.wikipedia.org/wiki/Batteriemangagementsystem> (26.03.2025)

[87] **TÜV SÜD, Infrastruktur für Elektromobilität:**

<https://www.tuvsud.com/de-de/branchen/mobilitaet-und-automotive/automotive/elektromobilitaet/infrastruktur-fuer-elektromobilitaet> (27.03.2025)

[88] **Ecomento.de, Ionity-COO: Steuerung einer Ladesäule im Vergleich zu einer Tanksäule „ziemlich komplex“, 30.11.2022:**

<https://ecomento.de/2022/11/30/ionity-steuerung-einer-e-auto-ladesaeule-ziemlich-komplex/> (27.03.2025)

[89] **Cloud-gestützte KI-Analytik beschleunigt die E-Mobilität, Lennart Hinrichs**

[90] **Handbuch Maschinenethik, Oliver Bendel 2019, Kapitel: Autonomes Fahren aus Sicht der Maschinenethik, Kapitel 2: Maschinenethische Herausforderung des autonomen Fahrens, Claudia Brändle & Armin Grunwald**

[91] **ADAC, Gesetz zum autonomen Fahren: Diese Regeln gelten, 05.03.2025:**

<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/autonomes-fahren/recht/gesetz-zum-autonomen-fahren/> (01.04.2025)

[92] **Wikipedia, TÜV:**

<https://de.wikipedia.org/wiki/T%C3%9CV> (26.02.2025)

[93] **TÜV NORD, FAQ:**

<https://www.tuev-nord-group.com/de/unternehmen/fragen-und-antworten/> (26.02.2025)

[94] **WDR, 1. Dezember 1951 - TÜV-Untersuchung für Autos wird Pflicht, 01.12.2016:**

<https://www1.wdr.de/stichtag/stichtag-tuev-untersuchung-auto-pflicht-100.html> (27.02.2025)

[95] **TÜV SÜD, über uns – Geschichte – wir erweitern unser Portfolio:**

<https://www.tuvsud.com/de-de/ueber-uns/geschichte/wir-erweitern-unser-portfolio> (15.03.2025)

[96] **TÜV SÜD, über uns – Geschichte – digitale Transformation:**

<https://www.tuvsud.com/de-de/ueber-uns/geschichte/digitale-transformation> (15.03.2025)

- [97] **Gesetze im Netz, Verordnung über die EG-Genehmigung, 03.02.2011:**  
[https://www.gesetze-im-internet.de/eg-fgv\\_2011/BJNR012600011.html](https://www.gesetze-im-internet.de/eg-fgv_2011/BJNR012600011.html) (01.03.2025)
- [98] **StVZO.de, 26.11.19:**  
<https://www.stvzo.de/stvzo/> (01.03.2025)
- [99] **Gesetze im Netz, Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO), 26.04.12:**  
[https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo\\_2012/BJNR067910012.html](https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/BJNR067910012.html) (01.03.2025)
- [100] **Wikipedia, Richtlinie 2007/46/EG:**  
[https://de.wikipedia.org/wiki/Richtlinie\\_2007/46/EG](https://de.wikipedia.org/wiki/Richtlinie_2007/46/EG) (02.03.2025)
- [101] **Gesetze im Netz, Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) Anlage VIII:**  
[https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo\\_2012/anlage\\_viii.html](https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/anlage_viii.html) (01.03.2025)
- [102] **Igema, TTI - Truck Trailer Interface:**  
<https://www.igema.com/de/produkte/diagnose-und-testsysteme-fuer-nutzfahrzeuge/pruefsysteme/tti-truck-trailer-interface/tti-truck-trailer-interface> (07.03.2025)
- [103] **ADAC, HU und AU: Alles Wissenswerte zum "TÜV", 05.03.2025:**  
<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/reparatur-pflege-wartung/hu-und-au/hu-und-au/>  
(07.03.2025)
- [104] **TÜV NORD, Abgasuntersuchung:**  
<https://www.tuev-nord.de/de/privatkunden/verkehr/auto-motorrad-caravan/abgasuntersuchung/> (08.03.2025)
- [105] **welt, Schadstoffe im Autoabgas, 29.09.2015:**  
<https://www.welt.de/motor/news/article147006432/Schadstoffe-im-Autoabgas.html>  
(08.03.2025)
- [106] **TÜV NORD, Produktzertifizierung:**  
<https://www.tuev-nord.de/de/unternehmen/zertifizierung/produktzertifizierung/> (09.03.2025)
- [107] **DEKRA, DEKRA Expertentipp: Homologation von Elektrofahrzeugen:**  
<https://www.dekra.de/de/expertentipp-homologation-elektrofahrzeuge/> (10.03.2025)
- [108] **TÜV SÜD, Zulassung von Batterien nach ECE-R100:**  
<https://www.tuvsud.com/de-at/branchen/mobilitaet-und-automotive/automotive/pruefloesungen-und-compliance-services/sicherheitspr%C3%BCfungen-f%C3%BCr-batterien/zulassung-von-batterien-nach-ece-r100-02#:~:text=F%C3%BCr%20die%20Markteinf%C3%BChrung%20von%20Traktionsbatterien%20bzw.%20Hochvoltspeichern%20f%C3%BCr,%28Homologation%29%20der%20Traktionsbatterien%20bei%20einer%20nationalen%20Kraftfahrzeugbeh%C3%B6rde%20erforderlich>  
(11.03.2025)
- [109] **TÜV NORD, Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV):**  
<https://www.tuev-nord.de/de/unternehmen/zertifizierung/produktzertifizierung/elektromagnetische-vertraeglichkeit-emv/> (09.03.2025)



[110] **VDE Prüfung und Zertifizierung, Mobilität und Ladeinfrastruktur - Prüfung und Zertifizierung im VDE Institut, 25.06.2024:**

<https://www.vde.com/tic-de/branchen/automotive-und-e-mobility> (11.03.2025)

[111] **TÜV NORD, EMV & Automotive:**

<https://www.tuev-nord.de/de/unternehmen/zertifizierung/produktzertifizierung/elektromagnetische-vertraeglichkeit-emv/emv-automotive/> (09.03.2025)

[112] **TÜV SÜD, CE-Kennzeichnung für die Zulassung in der EU:**

<https://www.tuvsud.com/de-de/dienstleistungen/produktpruefung-und-produktzertifizierung/ce-kennzeichnung> (10.03.2025)

[113] **ADAC, WLTP statt NEFZ: So funktioniert das aktuelle Messverfahren, 05.03.2024:**

<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/abgasnormen/wltp-messverfahren/> (12.03.2025)

[114] **Kraftfahrt-Bundesamt, WLTP:**

<https://www.kba.de/SharedDocs/Glossareintraege/DE/W/WLTP.html> (12.03.2025)

[115] **Kraftfahrt-Bundesamt, Typgenehmigungserteilung:**

[https://www.kba.de/DE/Themen/Typgenehmigung/Typgenehmigungserteilung/typgenehmigungserteilung\\_node.html](https://www.kba.de/DE/Themen/Typgenehmigung/Typgenehmigungserteilung/typgenehmigungserteilung_node.html) (12.03.2025)

[116] **TÜV NORD, Neue Norm – Neue Regeln, 11.07.2024:**

<https://www.tuev-nord.de/explore/de/nachhaltigkeit/neue-norm-neue-regeln/#:~:text=Die%20Euro%207%20ist%20am,November%202026> (05.04.2025)

[117] **AVILOO, Der Industriestandard für Batteriediagnostik:**

<https://aviloo.com/de/aviloo-business> (05.04.2025)

[118] **TÜV SÜD, Presse und Medien, 04.04.2022:**

<https://www.tuvsud.com/de-de/presse-und-medien/2022/april/tuev-sued-und-aviloo-bieten-tests-fuer-antriebsbatterien-an> (18.03.2025)

[119] **IBM, Was sind Penetrationstests?**

<https://www.ibm.com/de-de/topics/penetration-testing> (17.03.2025)

[120] **TÜV NORD, TÜV NORD GROUP macht LLMs/GPTs mit neuer Prüfmethode sicherer, 22.05.24:**

<https://www.tuev-nord.de/explore/de/entdeckt-erklaert-erzaehlt/folge-84-tuev-nord-group-macht-llms/gpts-mit-neuer-pruefmethode-sicherer/> (17.03.2025)

[121] **TÜV NORD, Preise Hamburg:**

<https://www.tuev-nord.de/de/privatkunden/verkehr/auto-motorrad-caravan/preise-und-gebuehren/hamburg/> (01.04.2025)

[122] **SPIEGEL Mobilität, Autofahrer verklagt Tesla wegen angeblich manipulierter Akkus, 09.08.2019:**

<https://www.spiegel.de/auto/aktuell/tesla-autofahrer-verklagt-tesla-wegen-manipulierten-akkus-a-1281151.html> (02.04.2025)

[123] **SPIEGEL Wirtschaft, Die wichtigsten Daten und Fakten zur Abgasaffäre, 23.09.2016:**

<https://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/volkswagen-skandal-die-wichtigsten-daten-und-fakten-zur-abgasaffaere-a-1058920.html> (02.04.2025)

[124] **ADAC, Abgasskandal: Diesel-Fahrzeuge von Mercedes betroffen, 20.06.2024:**

<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/auto-kaufen-verkaufen/abgasskandal-rechte/daimler/> (02.04.2025)

[125] **Die Bundesregierung, Wie entsteht ein EU-Gesetz?, 31.01.2025:**

<https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/eu-gesetzgebung-370498> (06.04.2025)

## Abbildungsquellenverzeichnis

[Abbildung 2.1] **Europäische Umweltagentur, 2022:**

<https://www.europarl.europa.eu/topics/de/article/20190313STO31218/co2-emissionen-von-pkw-zahlen-und-fakten-infografik> (11.01.2025)

[Abbildung 2.2.1] **Erstellt mit Canva, basierend auf: [4] Umweltbundesamt:**

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/bilder/dateien/tabelle\\_grenz\\_werte\\_fuer\\_schadstoffemissionen\\_von\\_pkw.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/bilder/dateien/tabelle_grenz_werte_fuer_schadstoffemissionen_von_pkw.pdf) (03.04.25)

[Abbildung 2.2.2] **Erstellt mit Microsoft Word & Excel, basierend auf: [4] Umweltbundesamt:**

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/bilder/dateien/tabelle\\_grenz\\_werte\\_fuer\\_schadstoffemissionen\\_von\\_pkw.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/bilder/dateien/tabelle_grenz_werte_fuer_schadstoffemissionen_von_pkw.pdf) (03.04.25)

[Abbildung 2.3] **ADAC:**

<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/auto-kaufen-verkaufen/kfz-steuer/kfz-steuer-rechner/> (13.01.2025)

[Abbildung 3.2] **Statista:**

<https://de.statista.com/themen/608/elektromobilitaet/#topicOverview> (20.01.25)

[Abbildung 3.3] **Volkswagen AG:**

<https://www.vw.com/en/newsroom/future-of-mobility/meb-v-mqb.html> (25.03.25)

[Abbildung 3.3.1] **E.ON Energie Deutschland GmbH:**

<https://www.eon.de/de/pk/e-mobility/elektroauto-batterie/funktionsweise.html> (22.02.2025)

[Abbildung 4.1.2] **SPIEGEL Gruppe 04.05.2024:**

<https://www.spiegel.de/auto/tesla-stoppt-supercharger-expansion-und-gibt-damit-seine-groesste-staerke-auf-a-3d6b23c1-3ffe-44fe-bfbd-39f653f1ce3c> (19.02.2025)

[Abbildung 4.3] **Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz:**

<https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/Dossier/co2-preis.html#:~:text=Ein%20CO2%20%2DPreis%20in%20Höhe,55%20Euro%20pro%20Tonne%20steigen.> (18.03.2025)

[Abbildung 5.4] **AVILOO, FLASH TEST**

<https://aviloo.com/flash-test.html> (05.04.25)





Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Hamburg University of Applied Sciences

### Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann -auch nachträglich- zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

<b><u>Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit</u></b>		
Hiermit versichere ich,		
Name:	<div style="border-bottom: 1px solid black; display: inline-block; width: 100%;">Henze</div>	
Vorname:	<div style="border-bottom: 1px solid black; display: inline-block; width: 100%;">Dennis</div>	
dass ich die vorliegende <span style="background-color: #e6f2ff; padding: 2px;">Bachelorarbeit</span> <span style="font-size: 0.8em;">▼</span> bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; min-height: 40px;">         Einleitung, Elektromobilität und ihre Innovationen, Veränderungen bei technischen Überwachungsvereinen, Analyse/Fazit       </div>		
ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.		
- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -		
Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der <span style="background-color: #e6f2ff; padding: 2px;">Bachelorarbeit</span> <span style="font-size: 0.8em;">▼</span> ist erfolgt durch:		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; min-height: 40px;">         Kennzeichnung in der Inhaltsangabe durch Nachnamen       </div>		
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Hamburg</div> Ort	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">07.04.25</div> Datum	<div style="background-color: black; width: 100px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div> Unterschrift im Original



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Hamburg University of Applied Sciences

### Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann -auch nachträglich- zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

<b><u>Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit</u></b>		
Hiermit versichere ich,		
Name:	<u>Taflan</u>	
Vorname:	<u>Sahin</u>	
dass ich die vorliegende Bachelorarbeit ▼ bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:		
Einleitung, Überblick über die EU-Emissionsvorschriften, Konsequenzen für die Gesetzgebung, Analyse/Fazit		
ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.		
- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -		
Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der Bachelorarbeit ▼ ist erfolgt durch:		
Kennzeichnung in der Inhaltsangabe durch Nachnamen		
Hamburg	07.04.25	
Ort	Datum	Unterschrift im Original