



Auf der Siegerstraße bleiben

Automotive Cluster der Zukunft bauen

Szenarien-Analyse und Studie

im Auftrag des Bundesministerium für Verkehr,
Innovation und Technologie (BMVIT) und der
Vereinigung der Österreichischen Industrie (IV)

Oktober 2019

Durchgeführt von:

Council4 GmbH (Economica Institut für Wirtschaftsforschung, Cognion
Forschungsverbund, FAS.Research, pantarhei advisors Unternehmensberatung)
in Kooperation

mit **Dr. Hans-Peter Kleebinder**, unabhängiger Mobilitätsexperte.

Executive Summary

Österreichs Automobilwirtschaft, mit einer direkter Wertschöpfung in Höhe von 16 Mrd. Euro, mehr als 177.000 Beschäftigten und einem Steueraufkommen von 8,5 Mrd. Euro, zählt heute zu den exportstärksten Schlüsselsektoren der heimischen Wirtschaft. Fraglich ist allerdings, ob diese Position mit dem fortschreitenden Wandel – weg vom Verbrenner- hin zu Elektromotor – künftig gefährdet ist oder ob man in Österreich bereits gut gerüstet ist und die sich bietenden Chancen in zusätzliche Wertschöpfung und Beschäftigung nutzen kann.

Realität heute ist: Weltweit befindet sich die Automobilindustrie bereits in einem tiefgreifenden Strukturwandel. Der Anteil an elektrisch betriebenen Fahrzeugen steigt stetig und zunehmend dynamisch. Intensität und Tempo der künftigen Entwicklung sind allerdings offen. Aufbauend auf internationalen Vergleichen, Meta-Analysen, Desk Research und Interviews mit unabhängigen Experten, wurden deshalb, im Rahmen dieser Studie, Szenarien entwickelt, welche realistische Entwicklungen bis zum Jahr 2030 beschreiben. Fünf unterschiedliche Antriebstechnologien – Verbrennungsmotoren mit Benzin/Diesel oder Gas, Elektromotoren mit Batterie oder Brennstoffzelle/H₂ sowie Hybrid-Systeme als Übergangstechnologie – bilden die Basis für diese, vom Elektrifizierungsgrad abhängigen, Mobilitätsszenarien.

Wie sich die Automobilindustrie in den kommenden Jahren entwickeln wird, ist von einer Vielzahl von Einflussfaktoren abhängig. Dekarbonisierung, getrieben durch Fahrzeugelektrifizierung und Emissionsregulierungen, sowie autonomes Fahren, neue Mobilitätskonzepte und die Nachfrageentwicklung sind nur einige der Themen, die es zu berücksichtigen gilt. Fest steht, dass der Automobilmarkt in Österreich, mit einem Weltmarkt-Anteil von nur 0,43%, nicht groß genug ist, um künftige Automobilrends selbst bestimmen zu können.

Grundlage aller Berechnungen bildet das sogenannte Basis-Szenario, in welchem die Strukturen aus 2018 für das Jahr 2030 fortgeschrieben und um die zu erwartende Nachfrageänderung angepasst werden. Der Mix der Antriebstechnologien bleibt daher, wie im Jahr 2018, bei 94,38% Verbrennungsmotor (Benzin/Diesel), 3,1% Verbrennungsmotor (Gas), 0,82% Hybrid-Systemen und 1,71% Elektromotor (Batterie). Im Real-Szenario, dem aus heutiger Sicht wahrscheinlichsten Szenario für 2030, haben Elektromotoren den Durchbruch geschafft (26% Batterie, 2% Brennstoffzelle/H₂). Verbrennerfahrzeuge werden zwar deutlich zurückgedrängt, bleiben aber mit einem Anteil von 37% noch immer die größte Gruppe. Übergangstechnologien (Hybrid-Systeme, mit 28%) sind von wesentlicher Bedeutung. Aufgrund der vielen unsicheren Parameter wurden neben dem Real-Szenario noch drei weitere Szenarien bestimmt, welche von einer sehr langsamen Elektrifizierung (Szenario 1) bis hin zu einem besonders raschen Wandel (Szenario 4) die gesamte Bandbreite der zu erwartenden Effekte abdecken.

Für jede Antriebstechnologie wurden Referenzfahrzeuge festgelegt und es wurde ermittelt, welche Fahrzeug-Komponenten benötigt werden, ob diese im Inland produziert oder importiert werden und wie sich deren Kostenstruktur bestimmt. Hier zeigt sich zum einen, dass es künftig zu einer deutlichen Komplexitätsreduktion in den Fahrzeugen kommen wird, wodurch viele Komponenten nicht mehr benötigt werden, zum anderen, dass einige der neu benötigten Komponenten nicht in Österreich produziert werden und daher zwangsläufig importiert werden müssen.

All dies wird im Rahmen der Berechnung der volkswirtschaftlichen Effekte berücksichtigt, ausgedrückt in Beiträgen zum Bruttoproduktionswert, zur Wertschöpfung und zur Beschäftigung.

Positive Effekte zeigen sich in allen Szenarien für die Entwicklung des Bruttoproduktionswerts, als dem Wert aller im Inland erzeugten Güter und Dienstleistungen. Dies ist im Wesentlichen auf die deutlich

höheren Herstellungskosten von Elektro- und Hybrid-Antrieben im Vergleich zu Verbrennungsmotoren zurückzuführen.

Ein Blick auf die Bruttowertschöpfung, die hinsichtlich Wirtschaftskraft aussagekräftigere Kennzahl, da die benötigten Vorleistungen vom Bruttoproduktionswert abgezogen werden, trübt jedoch dieses Bild, da viele der neu benötigten Komponenten häufig nicht in Österreich produziert, sondern importiert werden. Damit sinkt die Wertschöpfung in der Automobilwirtschaft – verglichen mit dem Basisszenario – in jedem der vier Szenarien und fällt umso stärker aus, je schneller die Elektrifizierung voranschreitet. Das Minus beträgt im extremsten Szenario 5,8% oder rund 2 Mrd. Euro. Aus der Automobilwirtschaft am stärksten betroffen, ist die Herstellung von Fahrzeugen und Fahrzeugteilen: hier würde sich das Minus sogar auf bis zu 14,9% belaufen.

Ein ähnliches Bild zeichnet sich auch für den Arbeitsmarkt ab: ausgehend von knapp 397.000 unmittelbar und mittelbar in der Automobilwirtschaft Beschäftigten im Basis-Szenario würden im Real-Szenario bereits 6.000 Arbeitsplätze wegfallen, was einem Minus von 1,5% entspricht. Im Szenario einer extremen Elektrifizierung würden bis zu 6,1% der Arbeitsplätze wegfallen, was 25.000 Beschäftigten (in Köpfen) entspricht.

Die vorliegende Studie zeigt, dass die batteriebetriebene Elektromobilität auch in der österreichischen Automobilindustrie Einzug hält und stark zum tiefgehenden Wandel beiträgt. Dabei ist der Grad der Elektrifizierung relevant. Extreme Elektrifizierung kann zu starken Einbußen bei Beschäftigung und Wertschöpfung führen und möglicherweise auch den Bestand kleiner und mittelständischer Unternehmen bedrohen.

Um das Tempo und die Intensität dieses Wandels mitbestimmen zu können, ist es erforderlich, die geeigneten Rahmenbedingungen zu schaffen. Grundgedanke muss sein, die negativen Auswirkungen für die Automobilindustrie und Österreich nicht nur zu begrenzen, sondern auch weiterhin an Wachstumsmärkten teilzuhaben. Technologieoffenheit, Innovationskraft und die angemessene Qualifikation der Beschäftigten sind, unter diesen Gegebenheiten, grundlegende Voraussetzungen für einen erfolgreichen Wandel. Auf diese Weise kann die österreichische Automobilindustrie auch weiterhin zu Beschäftigung und Wertschöpfung beitragen.

Inhaltsverzeichnis

Executive Summary	2
Inhaltsverzeichnis	4
1 Einleitung	6
2 Volkswirtschaftliche Bedeutung der österreichischen Automobilwirtschaft	9
2.1 Methodik.....	9
2.2 Abgrenzung der Automobilwirtschaft.....	10
2.3 Bruttoproduktionswert	12
2.4 Bruttowertschöpfung.....	13
2.5 Beschäftigungsbeitrag.....	14
2.6 Fiskalischer Beitrag der Automobilwirtschaft	15
3 Einflussfaktoren auf die Automobilindustrie bis 2030	17
3.1 Dekarbonisierung	17
3.1.1 Fahrzeugelektrifizierung.....	18
3.1.2 Globale Emissionsregulierung	20
3.2 Autonomes Fahren und alternative Mobilitätskonzepte.....	23
3.3 Entwicklungen der globalen PKW Neuzulassungen bis 2030.....	24
3.4 China: Der größte Fahrzeugmarkt der Welt.....	25
4 Antriebstechnologien und Referenzfahrzeuge	28
4.1 Definition der Referenzfahrzeuge und Herstellungskosten.....	30
4.2 Antriebstechnologie: Verbrennerfahrzeuge	35
4.2.1 Referenzfahrzeug 1: Verbrennungsmotor (Benzin/Diesel).....	36
4.2.2 Referenzfahrzeuge 2: Verbrennungsmotor (Gas)	36
4.3 Referenzfahrzeug 3: Hybrid-Systeme.....	37
4.4 Antriebstechnologie: Elektrofahrzeuge	38
4.4.1 Referenzfahrzeug 4: Elektromotor (Batterie)	40
4.4.2 Referenzfahrzeug 5: Elektromotor (Brennstoffzelle/H ₂).....	40
5 Definition der Antriebs-Szenarien 2030	42
5.1 Basis-Szenario.....	44
5.2 Real-Szenario.....	44
5.3 Szenario 1 – langsame Elektrifizierung.....	46

5.4	Szenario 3 – schnelle Elektrifizierung.....	47
5.5	Szenario 4 – extreme Elektrifizierung	48
6	Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Automobilwirtschaft 2030	50
6.1	Methodik.....	50
6.2	Effekte nach Antriebstechnologie	51
6.2.1	Bruttoproduktionswert	51
6.2.2	Bruttowertschöpfung.....	52
6.2.3	Beschäftigung.....	53
6.3	Basis- und Real-Szenario	54
6.3.1	Bruttoproduktionswert	54
6.3.2	Bruttowertschöpfung.....	55
6.3.3	Beschäftigung.....	55
6.4	Vergleich der Szenarien.....	56
6.4.1	Bruttoproduktionswert	56
6.4.2	Bruttowertschöpfung.....	57
6.4.3	Beschäftigung.....	60
7	Resümee und Handlungsableitungen.....	62
7.1	Globaler Strukturwandel in Richtung Elektromobilität – mit genügend Anpassungszeit.....	62
7.2	Automobilwirtschaft als Schlüsselsektor für Österreichs Wirtschaft.....	62
7.3	Partizipation am Wachstumsmarkt statt Schadensbegrenzung	64
	Abkürzungsverzeichnis	66
	Literaturverzeichnis.....	67
	Abbildungsverzeichnis	75
	Tabellenverzeichnis.....	76
	ANHANG A: Unabhängige Expertenliste	77
	ANHANG B: Stand der Forschung.....	78

1 Einleitung

Die Automobilindustrie steht weltweit vor einem tiefgreifenden Umbruch mit großen Herausforderungen. Der Strukturwandel hin zu nachhaltigen Antriebstechnologien und Digitalisierung sowie ein verändertes Konsumverhalten zeichnen nur einige der Trends ab, welche die Zukunft der Mobilität und somit der gesamten österreichischen Automobilwirtschaft bestimmen werden.

Unstrittig ist, dass es Veränderungen hin zu elektrisch angetriebenen Fahrzeugen geben wird. In welchem Ausmaß und in welchem Tempo sich dieser Wandel vollziehen wird, ist allerdings noch weitgehend unklar. Die Schwerpunktsetzung dieser Studie erfolgte insbesondere vor dem Hintergrund, die Auswirkungen der Elektrifizierung auf die österreichische Automobilindustrie zu ermitteln. Zu diesem Zweck wurden belastbare Szenarien entwickelt, die den Marktanteil der verschiedenen Antriebstechnologien im Jahr 2030 abbilden. Prämisse ist dabei Technologie-Offenheit, d.h. je nach Fahrzeug muss die passende Antriebsart gewählt werden, um die Herausforderungen in den unterschiedlichen Anwendungs-Szenarien meistern zu können. [1]

Diese Studie hat drei Aufgaben:

- Mittels Experteninterviews und Meta-Analysen sind, unter Berücksichtigung globaler Megatrends und der Entwicklung der globalen Nachfrage, belastbare Aussagen zur Zukunft der Automobilwirtschaft im Jahr 2030 zu entwickeln, die auf unterschiedlichen Antriebstechnologien basieren. Da angesichts der zahlreichen unsicheren Parameter, die diesen Strukturwandel determinieren, ein Denken in Alternativen als der geeignetste Weg erscheint, um einen Blick in die Zukunft zu werfen, werden hierfür, neben einem realistischen Szenario für 2030 noch drei weitere Szenarien entwickelt, die von einem sehr langsamen Wandel bis hin zu einem besonders raschen Wandel die Bandbreite aller zu erwartenden Effekte abdecken sollen.
- Abschätzung der wirtschaftlichen Implikationen, die sich durch den Strukturwandel für die österreichische Automobilwirtschaft ergeben werden.
- Aus den volkswirtschaftlichen Effekten auf Wertschöpfung und Arbeitsmarkt und vor dem Hintergrund der sich ändernden Rahmenbedingungen und Trends sollen Ableitungen für die Automobilwirtschaft Österreichs im Allgemeinen und die Automobilindustrie im Besonderen getroffen werden, welche es bei der Gestaltung der künftigen Rahmenbedingungen zu beachten gilt. Diese Ableitungen sind in konkrete Maßnahmen und Handlungsempfehlungen zu überführen.

Um die im Jahr 2030 zu erwartenden Effekte in der Automobilwirtschaft berechnen zu können, macht es Sinn, zunächst die Bedeutung der Automobilwirtschaft in Österreich – ausgedrückt in Wertschöpfung- und Beschäftigungsgrößen – für das letztverfügbare Jahr 2018 zu quantifizieren (Kapitel 2). Methodisch erfolgt dies mittels eines Satellitenkontos Automobilwirtschaft, welches einerseits die Erfassung der Automobilwirtschaft als Querschnittsmaterie ermöglicht, andererseits die direkten, indirekten (entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette) und induzierten Effekte (sogenannte Einkommens-Effekte) berücksichtigt. Diese Werte, fortgeschrieben auf das Jahr 2030, bilden in weiterer Folge das sogenannte Basis- oder Referenzszenario (keine Veränderungen im Mix der Antriebstechnologien), zu welchem hin die Veränderungen festgestellt werden.

Die tatsächliche Entwicklung bis 2030 hängt von einer Vielzahl von Einflussfaktoren ab. Um entsprechende Szenarien ableiten zu können, wie sich der weltweite Fahrzeugmarkt und die

Antriebstechnologien von Fahrzeugen voraussichtlich entwickeln werden, wurden zunächst in Kapitel 3 die relevanten Megatrends identifiziert und bewertet sowie die Nachfrage nach Fahrzeugen im Jahr 2030 bestimmt. Hierfür wurde nicht nur eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt, sondern darüber hinaus eine Vielzahl von Experteninterviews durchgeführt.

Da der Wandel im Wesentlichen durch die Art der Antriebstechnologie determiniert wird, werden in Kapitel 4 insgesamt fünf Referenzfahrzeuge definiert, welche die im Jahr 2030 zu erwartenden Antriebstechnologien repräsentieren: das sind zum einen die Verbrennungsmotoren mit Benzin/Diesel (Referenzfahrzeug 1, Kapitel 4.2.1) oder Gas (Referenzfahrzeug 2, Kapitel 4.2.2), zum anderen die Elektromotoren mit Batterie (Referenzfahrzeug 4, 4.4.1) oder Brennstoffzelle und Wasserstoff (Referenzfahrzeug 5, Kapitel 4.4.2) sowie Hybrid-Systeme (Referenzfahrzeug 3, Kapitel 4.3), welchen als Übergangstechnologie bis 2030 ebenfalls noch große Bedeutung zukommen wird. Für jede dieser Antriebstechnologien wurden auch die Herstellungskosten abgeschätzt. Diese Werte fließen wiederum in das ökonomische Modell zur Berechnung der einzelnen Szenarien ein.

Aufbauend auf den Ergebnissen aus Kapitel 3 und 4 werden im darauffolgenden Kapitel 5 insgesamt vier Szenarien für die Entwicklung von Angebot und Nachfrage bis zum Jahr 2030 dargestellt, differenziert nach Antriebstechnologien. Der Fokus liegt auf dem wahrscheinlichsten, dem sogenannten Real-Szenario (Kapitel 5.2), in welchem Elektrofahrzeuge den Durchbruch geschafft haben. Verbrennerfahrzeuge werden dadurch zwar zurückgedrängt, bleiben aber noch immer die größte Gruppe. Deutlich langsamer als im Real-Szenario wäre der Strukturwandel in Szenario 1 (Kapitel 5.3), rascher in Szenario 3 (Kapitel 5.4) und besonders ambitioniert in Szenario 4 (Kapitel 5.5).

Die Berechnung der volkswirtschaftlichen Effekte für die Automobilwirtschaft im Jahr 2030, getrennt nach den vier Szenarien, erfolgt schließlich in Kapitel 6. Methodisch bildet hier zwar das Satellitenkonto Automobilwirtschaft die Grundlage, da allerdings das Basis-Szenario fast zur Gänze auf den Verbrennungsmotor Benzin/Diesel abstellt, ist hier eine Erweiterung um die neuen Antriebstechnologien durchzuführen. Auch die vor- und nachgelagerten Sektoren sowie die Außenhandelsverflechtungen sind in diesem Rahmen entsprechend anzupassen. Im Ergebnis liefert dieses Kapitel daher nicht nur die Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte, die in der Automobilindustrie (Sektor 29) zu erwarten sind, sondern, wie es ein ganzheitlicher Blick auf das Thema erfordert, in der gesamten Automobilwirtschaft, die eine Vielzahl weiterer Sektoren (Werkstätten, Handel, Versicherungen etc.) umfasst.

Schlussfolgerungen sowie politische Maßnahmen und Handlungsempfehlungen für eine aktive und wirkungsvolle Gestaltung der Rahmenbedingungen schließen die Studie ab.

Abbildung 1.1 zeigt das Untersuchungsdesign und die einzelnen Schritte der Vorgehensweise.

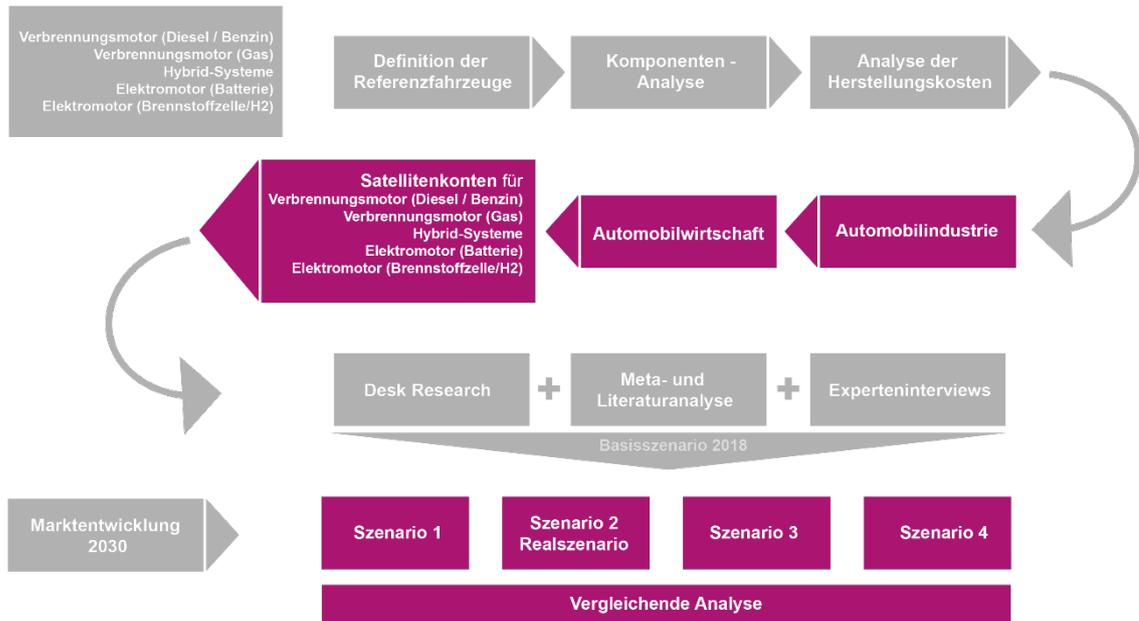


Abbildung 1.1: Untersuchungsdesign

Quelle: Council 4 und Kleebinder, Semmer 2019

2 Volkswirtschaftliche Bedeutung der österreichischen Automobilwirtschaft

Im vorliegenden Kapitel wird der volkswirtschaftliche Beitrag der Automobilwirtschaft in Österreich in Hinblick auf ihre Wertschöpfungs- und Beschäftigungswirksamkeit sowie fiskalische Effekte für das Jahr 2018 quantifiziert. Methodisch bedient man sich hierzu eines sogenannten Satellitenkontos Automobilwirtschaft, um nicht nur die Kernsektoren der Herstellung, des Handels und der Reparatur von Kraftwagen und -teilen, sondern darüber hinaus auch verbundene Sektoren (z.B. Versicherungen, Straßenbau, Fahrschulen etc.) und Vorleistungen berücksichtigen zu können.

2.1 Methodik

Da es sich bei der Automobilwirtschaft um eine sogenannte Querschnittsmaterie handelt, welche sich aus einer Vielzahl von Sektoren zusammensetzt, wird – wie auch bei anderen Querschnittsmaterien (z.B. Tourismus, Sport, Kultur,...) - methodisch auf ein *Satellitenkonto Automobilwirtschaft* abgestellt, das es ermöglicht, die Automobilbranche in ihrer Gesamtheit zu erfassen, und zwar im größtmöglichen Detailliertheitsgrad, getrennt nach den einzelnen Wirtschaftssektoren und angepasst an die tatsächlichen Vorleistungs- und Wertschöpfungskomponenten.

Dieses Satellitenkonto wird mit der nationalen Input-Output-Tabelle der Statistik Austria verknüpft, welche die Basis der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) darstellt, verknüpft. Eine Input-Output Tabelle ist eine Tabelle, in der sämtliche Wertschöpfungs- bzw. Güterströme einer Volkswirtschaft abgebildet sind. Eine derartige Tabelle weist eine Matrizenstruktur auf. Die Zeilen geben die Verteilung eines Outputs auf die Volkswirtschaft an, d.h. wie viel ein Sektor an die anderen Sektoren als Input und an die Endnachfrage liefert. In weiteren zusätzlichen Zeilen werden Wertschöpfung nach Wertschöpfungskategorien sowie Importe nach Inputsektoren vermerkt. Die Spalten geben an, wie viel Input zur Erzeugung des Outputs benötigt wird, d.h. wie viel ein Sektor an Input von anderen inländischen Sektoren oder aus dem Ausland als Vorleistung bezieht und wie viel Wertschöpfung im Laufe des Produktionsprozesses generiert wird. Verknüpft man nun das Satellitensystem Automobilwirtschaft mit der Input-Output-Tabelle, so werden für alle (Teil-)Sektoren mit Bezug zum Automobil zusätzliche Zeilen und Spalten hinzugefügt, um sämtliche Verflechtungen der gewünschten Branche abzubilden.

Im Ergebnis liefert diese *Input-Output-Tabelle Automobilwirtschaft* die Grundlage für die weiterführende Input-Output-Analyse, mittels derer sich insgesamt drei verschiedene Effekttypen (vgl. dazu auch Abbildung 2.1) unterscheiden lassen:

- Der **direkte Wertschöpfungs- bzw. Beschäftigungseffekt**: Dieser umfasst jenen Wert an Bruttowertschöpfung bzw. Beschäftigung, der direkt in der österreichischen Automobilwirtschaft erwirtschaftet bzw. an Beschäftigung generiert wird.

- Der sich aus den Zulieferbeziehungen (Vorleistungsverflechtungen) entlang der gesamten heimischen Wertschöpfungskette ableitende **indirekte Wertschöpfungs- bzw. Beschäftigungseffekt** (z.B. bei vorgelagerten Rohstoff- und Industriesektoren, die nicht Teil der Automobilindustrie sind)
- Die **aus der Einkommensverwendung resultierenden induzierten Effekte**: Die beim direkten und indirekten Effekt geschaffenen bzw. abgesicherten Arbeitsplätze generieren Einkommen, die einen höheren Konsum von Gütern und Dienstleistungen - verglichen mit der Situation ohne Arbeitsplatz - erlauben. Dieses zusätzliche Einkommen wird von den Beschäftigten, vor allem für Konsum- und Investitionszwecke, wieder ausgegeben und regt damit die Endnachfrage an, insbesondere im Einzelhandel und in der Gastronomie.

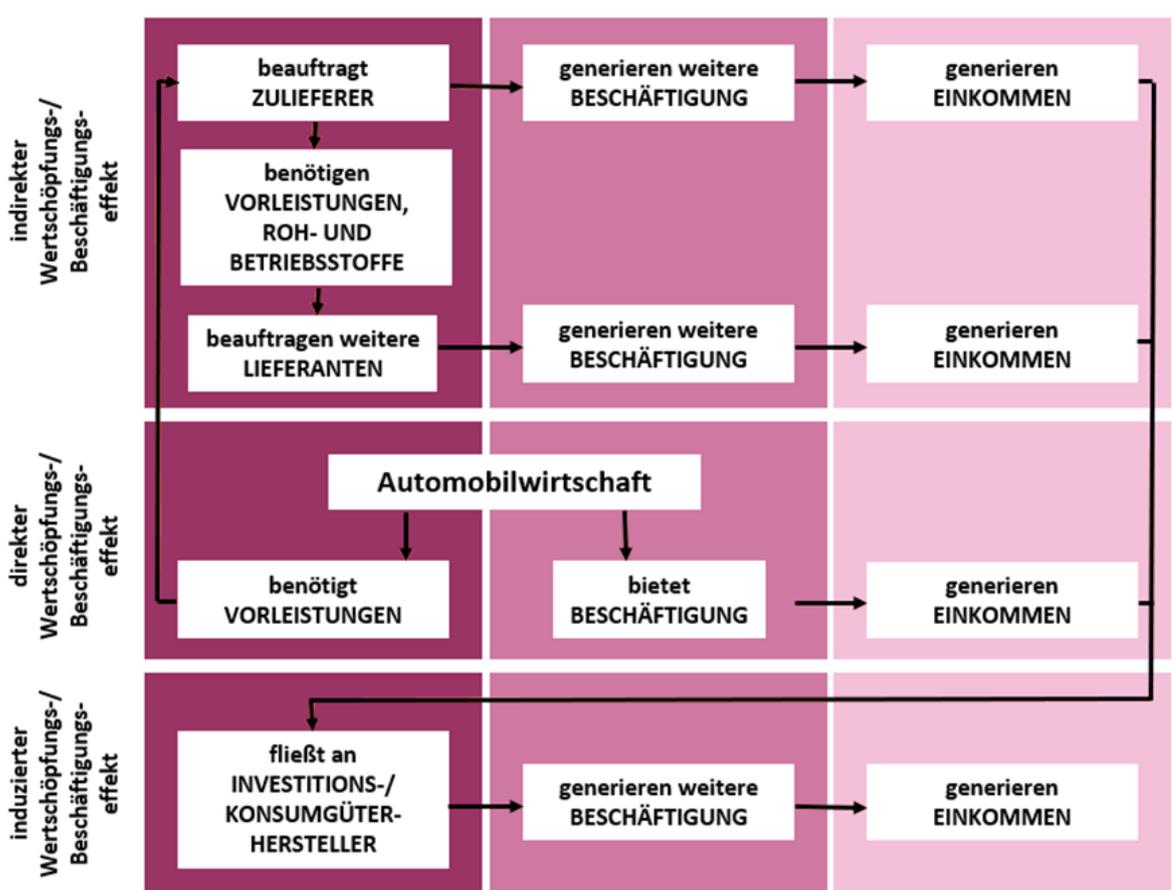


Abbildung 2.1: Die österreichische Automobilwirtschaft im Wertschöpfungsnetzwerk

Quelle: Council 4, 2019

2.2 Abgrenzung der Automobilwirtschaft

Definiert man die Automobilwirtschaft im weiteren Sinn, so umfasst diese nicht nur die Kernsektoren der Herstellung, des Handels und der Reparatur von Kraftwagen und -teilen, sondern darüber hinaus auch all jene nachgelagerten Sektoren, welche es ohne diese Kernsektoren nicht oder nur in wesentlich geringerem Ausmaß geben würde, sowie Vorleistungen, sofern diese nicht bereits als Vorleistungen in der Herstellung von Kraftwagen berücksichtigt werden. Exemplarisch angeführt seien Tankstellen, der Betrieb von Taxis, Versicherungen oder Autovermieter sowie der Straßenbau. Einen Überblick über alle inkludierten Sektoren (basierend auf der Klassifikation der Wirtschaftstätigkeiten ÖNACE) und ihre Anteile an der Automobilwirtschaft liefert die nachfolgende Tabelle.

Tabelle 1: Abgrenzung der Automobilwirtschaft nach ÖNACE-Kategorien

ÖNACE-Sektor	Anteil am 4-Steller
C 29 Herstellung von Kraftwagen und -teilen	
C 29.1 H. v. Kraftwagen und Kraftwagenmotoren	100%
C 29.2 H. v. Karosserien, Aufbauten und Anhänger	100%
C 29.3 H. v. Teilen und Zubehör für Kraftwagen	100%
G 45 Handel mit Kraftfahrzeugen; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen	
G 45.1 Handel mit Kraftwagen	100%
G 45.2 Instandhaltung und Reparatur von Kraftwagen	100%
G 45.3 Handel mit Kraftwagenteile und -zubehö	100%
C 28 Maschinenbau	
C 28.22 H. v. Hebezeugen und Fördermitteln	0,5%
F 42 Tiefbau	
F 42.11 Bau von Straßen	85%
F 42.13 Brücken- und Tunnelbau	54%
G 47 Einzelhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	
G 47.30 Tankstellenleistungen	100%
H 49 Landverkehr und Transport in Rohrfernleitungen	
H 49.31 Nahverkehr zu Lande (Personen)	40%
H 49.32 Betrieb v. Taxis	100%
H 49.39 Landverkehr a.n.g. (Personen)	37%
H 49.4 Güterbeförderung im Straßenverkehr, Umzugstransporte	100%
H 52 Lagerei sowie Erbringung von sonstigen Dienstleistungen für den Verkehr	
H 52.21 Erbringung von sonst. Dienstleistungen im Landverkehr	100%
K 65 Versicherungen, Rückversicherungen und Pensionskassen (ohne Sozialversicherung)	
K 65.12 Nichtlebensversicherungen	15%
K 65.20 Rückversicherungen	15%
M 71 Architektur- und Ingenieurbüros; technische, physikalische und chemische Untersuchung	
M 71.20 Technische, physikalische und chemische Untersuchung	3%
N 77 Vermietung von beweglichen Sachen	
N 77.11 Vermietung v. Kraftwagen ≤3,5t	100%
N 77.12 Vermietung v. Kraftwagen >3,5t	100%
N 81 Gebäudebetreuung; Garten- und Landschaftsbau	
N 81.29 Reinigung a.n.g.	50%
O 84 Öffentliche Verwaltung, Verteidigung; Sozialversicherung	
O 84.11 Allgemeine öffentliche Verwaltung	
P 85 Erziehung und Unterricht	
P 85.53 Fahrschulen	

Quelle: Council 4, 2019

2.3 Bruttoproduktionswert

Im Geschäftsjahr 2018 erwirtschafteten die Unternehmen der österreichischen Automobilwirtschaft einen Bruttoproduktionswert von 43,7 Mrd. Euro (siehe Abbildung 2.2). Rechnet man zu diesem direkten Effekt noch die indirekten Effekte entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette sowie induzierte Effekte (sogenannte Einkommenseffekte) hinzu, so ergibt sich für die Automobilwirtschaft ein gesamter Bruttoproduktionswert von knapp 67 Mrd. Euro. Dies entspricht einem Anteil von 6,1% (direkter Effekt) bzw. 9,3% (Gesamteffekt) am Bruttoproduktionswert der gesamten österreichischen Volkswirtschaft.

Bruttoproduktionswert (BPW)

Der Bruttoproduktionswert, eine der wichtigsten Kennzahlen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung, ist definiert als Gesamtwert aller im Produktionsprozess erzeugten Waren und Dienstleistungen. Als solcher bildet er die Grundlage zur Berechnung einer weiteren wichtigen Kenngröße: der Bruttowertschöpfung.

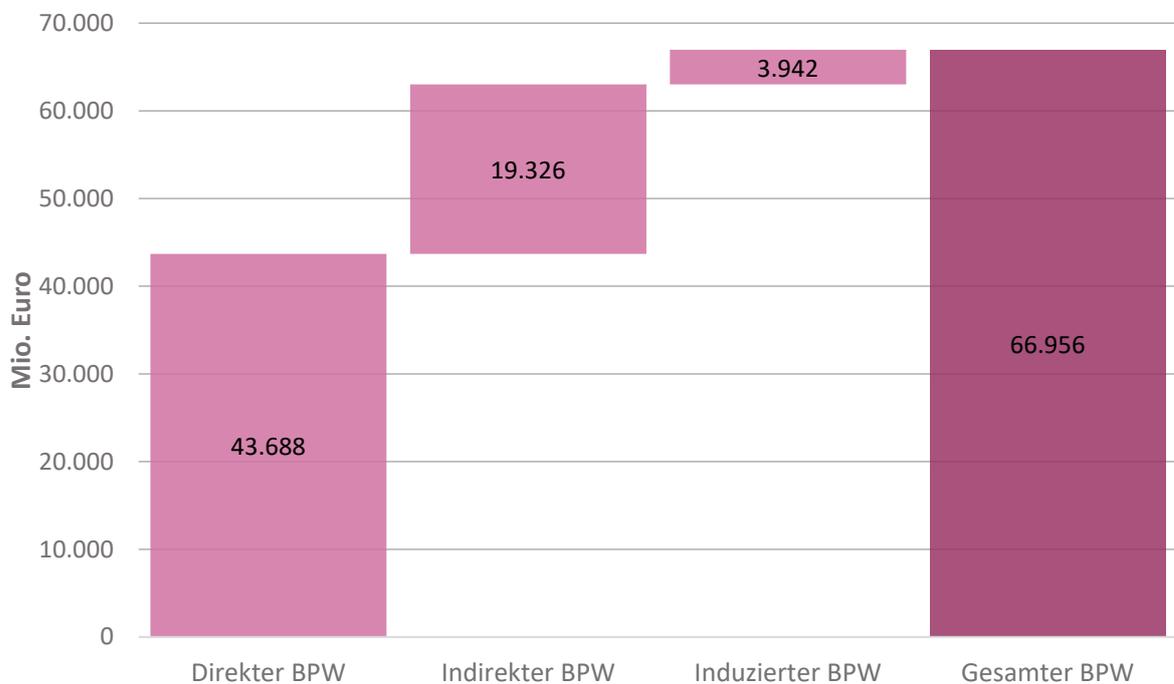


Abbildung 2.2: Bruttoproduktionswert (BPW) der österreichischen Automobilwirtschaft, 2018, Mio. Euro

Quelle: Council 4, 2019

2.4 Bruttowertschöpfung

Bruttowertschöpfung:

Diese berechnet sich aus dem Bruttoproduktionswert abzüglich des Wertes der im Produktionsprozess verbrauchten, verarbeiteten oder umgewandelten Waren und Dienstleistungen (Vorleistungen). Anders ausgedrückt, die Bruttowertschöpfung bemisst jenen Betrag, der für die Entlohnung der Produktionsfaktoren Arbeit (Löhne und Gehälter) und Kapital (Gewinn, Fremdkapitalzinsen und Abschreibungen) zur Verfügung steht.

Ausgehend vom Bruttoproduktionswert lässt sich, in Hinblick auf die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit einer Branche, eine aussagekräftigere Kennzahl berechnen: die Bruttowertschöpfung. Zieht man vom Bruttoproduktionswert die heimischen und importierten Vorleistungen ab, so steht die Automobilwirtschaft für unmittelbar 16 Mrd. Euro Wertschöpfung (siehe Abbildung 2.3). Dies entspricht einem Anteil von 4,6% der heimischen Bruttowertschöpfung. Inklusive indirekter und induzierter Effekte erhöht sich die Bruttowertschöpfung auf einen Betrag von 26,2 Mrd. Euro oder 7,6% der Bruttowertschöpfung Österreichs. Anders formuliert, jeder 13te Euro, der österreichweit erwirtschaftet wird,

lässt sich unmittelbar oder mittelbar auf die Automobilwirtschaft zurückführen.

Der Wertschöpfungsmultiplikator, definiert als Quotient aus gesamter und direkter Wertschöpfung, beläuft sich auf einen Wert von 1,64. Ein Multiplikator in dieser Höhe kann derart interpretiert werden, dass durch jeden in der Automobilwirtschaft erwirtschafteten Euro über Vorleistungs- und Zulieferstrukturen sowie über die Einkommensverwendung österreichweit weitere 0,64 Euro an Wertschöpfung in anderen Branchen generiert werden.

Wertschöpfungs- und Beschäftigungsmultiplikator

Der Wertschöpfungs- bzw. Beschäftigungsmultiplikator stellt dar, um wie viel der totale Effekt den ursprünglichen, direkten Effekt übersteigt. Je höher der Multiplikator, desto größer der volks- und regionalwirtschaftliche „Hebel“. Berechnet wird der Multiplikator als Quotient aus totalem Bruttowertschöpfungseffekt und direktem Bruttowertschöpfungseffekt.

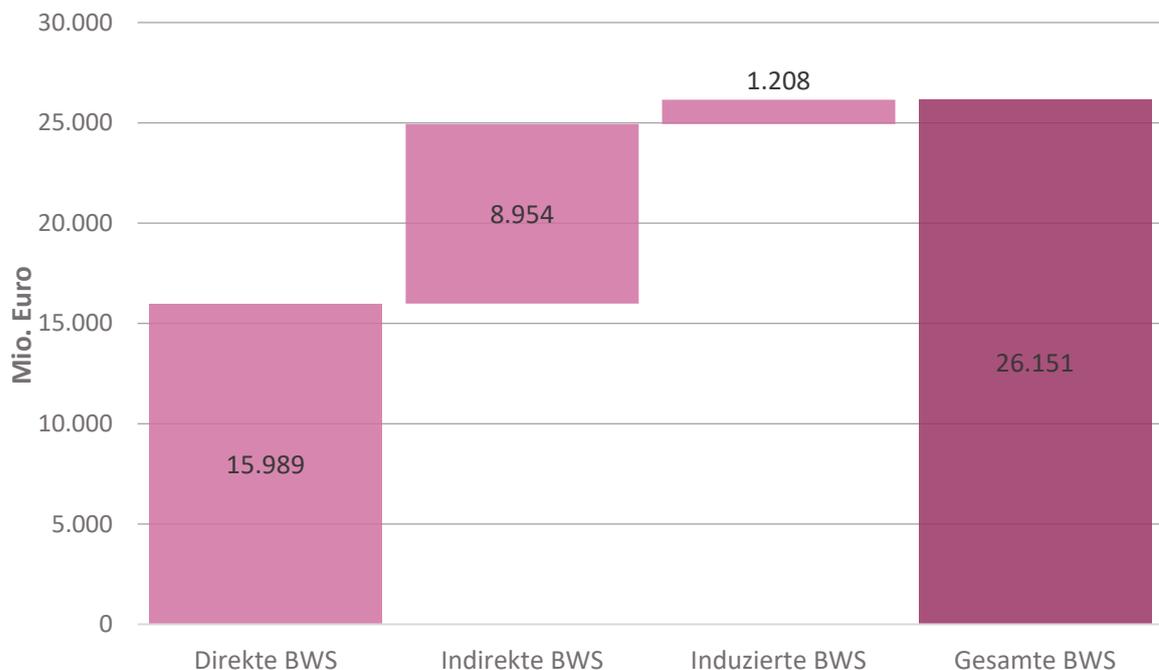


Abbildung 2.3: Bruttowertschöpfung (BWS) der österreichischen Automobilwirtschaft, 2018, Mio. Euro

Abbildung 2.4 zeigt die Top-10 Wirtschaftssektoren, bezogen auf die gesamte generierte Wertschöpfung. Demnach fällt mit 4,4 Mrd. Euro Wertschöpfung der größte Effekt im Sektor „Kfz-Handel und -reparatur“ an, was einem Anteil von rund 17% des Gesamteffekts entspricht. Es folgen die Sektoren „Kraftwagen und Kraftwagenteile“ mit 3,5 Mrd. Euro und „Dienstleistung der Vermietung von beweglichen Sachen“ mit knapp 2,7 Mrd. Euro. Insgesamt entfallen auf die Top-10 Sektoren rund 77% des generierten Gesamteffekts.

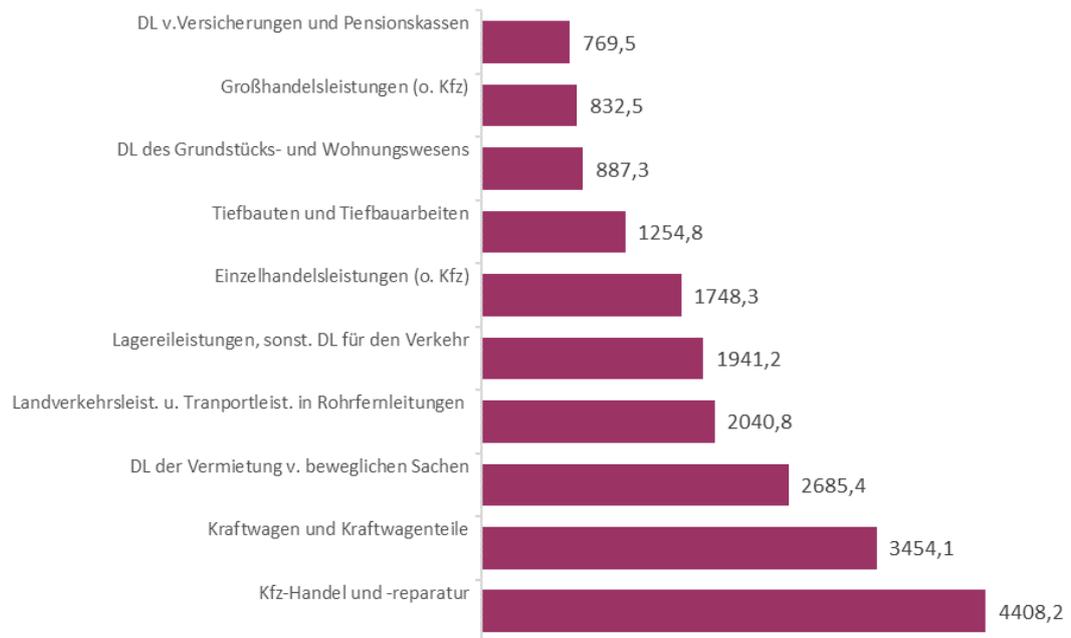


Abbildung 2.4: Totale Wertschöpfung, Top-10-Sektoren, 2018, Mio. Euro

Quelle: Council 4, 2019

2.5 Beschäftigungsbeitrag

Aufbauend auf den nationalen Wertschöpfungseffekten werden die korrespondierenden Beschäftigungseffekte aus dem Sektor bestimmt. Wie zuvor erfolgt dies ebenfalls nach direkten, indirekten und induzierten Effekten getrennt. Weiters kann zwischen Pro-Kopf-Größen und Vollzeit-äquivalenten unterschieden werden, da diese aufgrund von Teilzeitarbeitsverhältnissen typischerweise voneinander abweichen. *Mutatis mutandis* lässt sich auch bezüglich der Beschäftigung ein Multiplikator ausweisen, der den totalen Beschäftigungseffekt zum direkten Beschäftigungseffekt in Relation setzt.

Beschäftigung in Köpfen und Vollzeitäquivalenten (VZÄ)

Werden Beschäftigungseffekte in Köpfen ausgewiesen, dann gibt die Kennzahl darüber Auskunft, wie viele Personen, unabhängig vom Beschäftigungsmaß (Voll- oder Teilzeit), angestellt sind. Die Angabe in Vollzeitäquivalenten hingegen setzt alle Beschäftigte in Relation zu einem Beschäftigungsmaß von 100%.

Im Jahr 2018 waren insgesamt 177.608 Personen unmittelbar in der Automobilwirtschaft beschäftigt. Dies entspricht 163.025 VZÄ.

Der Gesamteffekt beläuft sich auf 314.106 Beschäftigte (278.869 VZÄ), wovon 106.630 (91.284 VZÄ) in der vorgelagerten Wertschöpfungskette und 29.868 (24.569 VZÄ) durch Einkommenseffekte entstehen.

Österreichweit sind somit knapp 89% der geschaffenen und gesicherten Arbeitsplätze VZÄ-Arbeitsplätze. Damit liegt die Automobilwirtschaft deutlich über dem Branchendurchschnitt von 76%. Noch höher liegt der Wert in der Automobilindustrie mit einem Anteil von 92% Vollzeitstellen.

Gemessen an der Zahl der Erwerbstätigen in Österreich beläuft sich der Anteil der Automobilwirtschaft auf 3,9% (direkt) bzw. 6,9% (gesamt). Der Beschäftigungsmultiplikator liegt bei 1,77 und damit noch etwas höher als der Wertschöpfungsmultiplikator.

Gemessen an der Zahl der Erwerbstätigen in Österreich beläuft sich der Anteil der Automobilwirtschaft auf 3,9% (direkt) bzw. 6,9% (gesamt). Der Beschäftigungsmultiplikator liegt bei 1,77 und damit noch etwas höher als der Wertschöpfungsmultiplikator.

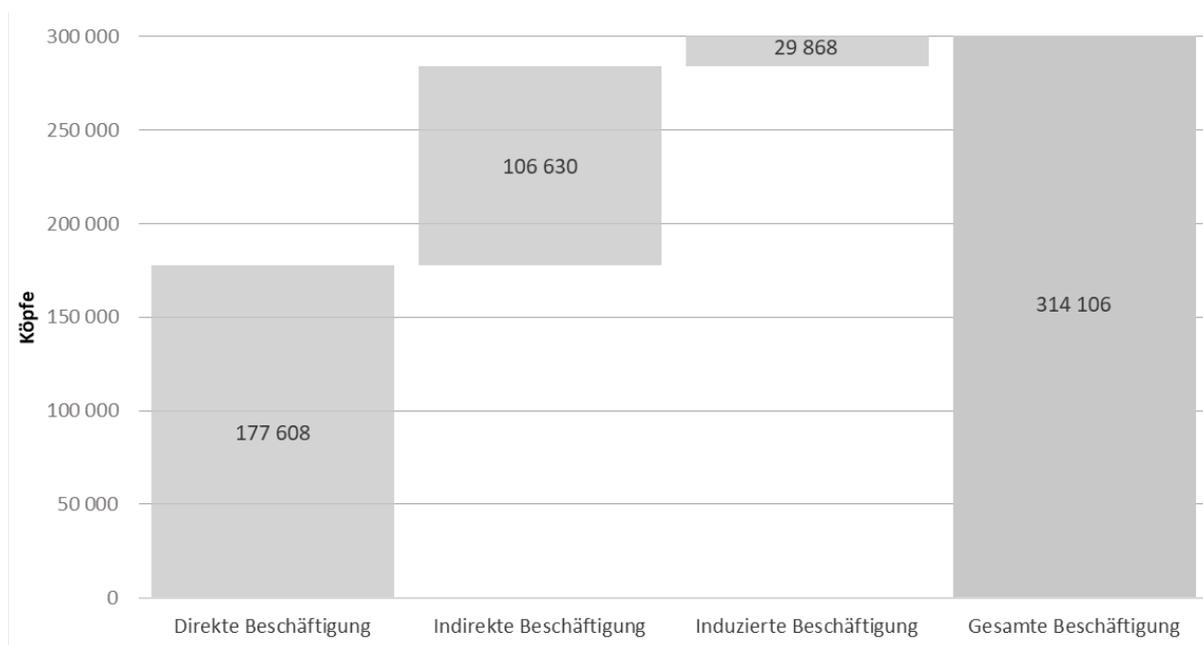


Abbildung 2.5: Beschäftigungseffekte, 2018, in Köpfen

Quelle: Council 4, 2019

2.6 Fiskalischer Beitrag der Automobilwirtschaft

Wertschöpfung und Beschäftigung dienen dem Fiskus als Steuer- und Abgabensubstrate. In Verbindung mit einer, an die Modelle zur Berechnung des ökonomischen Fußabdrucks angelagerten, Fiskalmatrix lässt sich deshalb auch das durch die Automobilwirtschaft ausgelöste Steuer- und Abgabenaufkommen ermitteln. Im Jahr 2018 betrug das direkt in der Automobilwirtschaft generierte Steuern und Abgaben, also der direkte fiskalische Effekt, 8.458,3 Mio. Euro. Davon entfallen knapp 50% (4.054,2 Mio. Euro) auf lohnabhängige Steuern und rund 30% (2.671,0 Mio. Euro) auf die Umsatz-

steuer. Berücksichtigt man auch indirekte und induzierte Effekte, so ergibt sich ein gesamter Fiskal-effekt von 12.952,3 Mio. Euro. Auch hier machen die lohnabhängigen Steuern etwa die Hälfte (6.135,4 Mio. Euro) und die Umsatzsteuer rund 30% (3.942,5 Mio. Euro) aus.

3 Einflussfaktoren auf die Automobilindustrie bis 2030

Mit 340.000 neuzugelassenen Fahrzeugen [2] im Jahr 2018 ist der österreichische Automobilmarkt gegenüber 79,72 Mio. Neuzulassungen weltweit [3-5] nicht groß genug, um Automobiltrends zu bestimmen. Vielmehr wird die österreichische Automobilwirtschaft von externen Einflüssen getrieben, deren dominanteste Treiber, wie Dekarbonisierung, autonomes Fahren und China in diesem Kapitel beschrieben werden. Diese Trends, gepaart mit Experteninterviews, bilden in weiterer Folge die Basis für die Definition von Antriebs-Entwicklungsszenarien im Jahr 2030.

Die Automobilindustrie ist stark von Innovationen getrieben. Dekarbonisierung, selbstfahrende Fahrzeuge und neue Mobilitätslösungen bergen bedeutsame Chancen, aber auch Risiken für die österreichische Automobilwirtschaft.

Um abschätzen zu können, wie sich die Antriebstechnologien im Jahr 2030 verteilen werden, wurden mittels Literaturrecherche [6–10] und unabhängigen Experteninterviews (siehe Anhang A) jene Einflussfaktoren bestimmt, welche die Einführung innovativer Fahrzeuge sowie deren Diffusion in den Märkten und damit die Entwicklung der weltweiten Automobilindustrie bestimmen werden.

3.1 Dekarbonisierung

Dekarbonisierung stellt die zentrale Herausforderung dar, um den weltweiten Temperaturanstieg zu begrenzen und den von Menschen verursachten CO₂-Ausstoß zu reduzieren [11]. Der Begriff – mitunter auch Entkarbonisierung genannt – bezeichnet die Reduzierung von Kohlenstoff, präziser die Umstellung auf eine Ökonomie, die den Ausstoß von CO₂ nachhaltig reduziert und kompensiert [12].

Die immer strengeren Ziele zur Reduktion der CO₂-Emissionen stehen jedoch in Konflikt mit dem fortschreitenden Wachstum der Ballungsräume und dem damit zunehmenden Verkehr. [13] Wenig verwunderlich ist daher, dass die CO₂-Emissionen des Verkehrs deutlich über dem Ausgangswert von 1990 liegen, während andere Sektoren die CO₂-Emissionen deutlich senken konnten (Abbildung 3.1). Wobei 80,7% der Treibhausgasemissionen aller 28 Mitgliedstaaten im Jahr 2017 dem Energiesektor zuzuordnen sind [14]. Davon ist rund ein Drittel auf den Transportsektor zurückzuführen. Die Akteure der Automobilindustrie und die Gesellschaft sind daher gefordert, Maßnahmen zu einem möglichst nachhaltigen Transport von Menschen und Gütern zu ergreifen.

Im Rahmen dieser Studie werden zwei Trends analysiert, welche die Dekarbonisierung in der Automobilindustrie fördern: zum einen die Fahrzeugelektrifizierung (Kapitel 3.1.1), zum anderen die globale Emissionsregulierung (Kapitel 3.1.2).

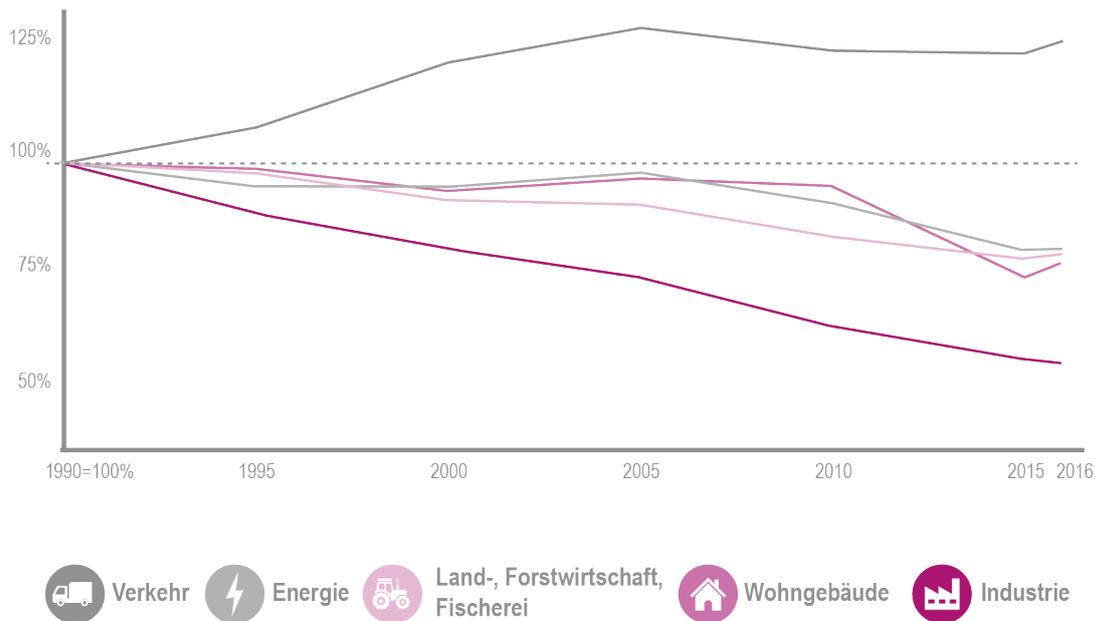


Abbildung 3.1: Entwicklung der CO₂-Emissionen in Europa nach Sektoren 1990-2016

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von [13]

3.1.1 Fahrzeugelektrifizierung

Der Begriff elektrischer Antrieb bedeutet, dass mindestens ein Teil der Traktion im Fahrzeug rein elektrisch ermöglicht wird. In Fahrzeugen ist Traktion die Fähigkeit des Fahrzeugs, die Antriebskraft des Motors in eine Vorwärtsbewegung umzuwandeln. Die Vielfalt der elektrischen Antriebskonzepte hängt hauptsächlich vom Grad der Fahrzeugelektrifizierung ab, wie in Kapitel 4.4 beschrieben.

Elektrofahrzeuge sind im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen desselben Segments teurer in der Anschaffung (in Österreich um ca. 10.000 Euro bei Kleinwagen), haben eine geringere Reichweite und sind im Ladeprozess derzeit noch zeitaufwendig. [15]

Dennoch zeigen die Neuzulassungen von reinen Elektrofahrzeugen eine deutlich positive Entwicklung. Wurden im Jahr 2007 weltweit knapp 100 Elektrofahrzeuge verkauft, so stieg diese Zahl im Jahr 2017 auf eine Million an und konnte sich im Jahr 2018 mit knapp über zwei Mio. verkaufter Einheiten, davon 1,36 Mio. rein batteriebetriebene Elektrofahrzeuge (BEV) und 650.000 Plug-in-Hybride (PHEV) [10, 11], sogar verdoppeln. Mit einem Anteil von 60,3% ist Asien der größte Markt, gefolgt von Europa mit 22,0%. In Österreich wurden 2018 immerhin 6.757 Fahrzeuge verkauft [2], für 2019 ist ein weiterhin starkes Wachstum zu erwarten, wurden doch bis August 2019 fast gleich viele Fahrzeuge verkauft wie im gesamten Jahr davor (siehe Abbildung 3.2).

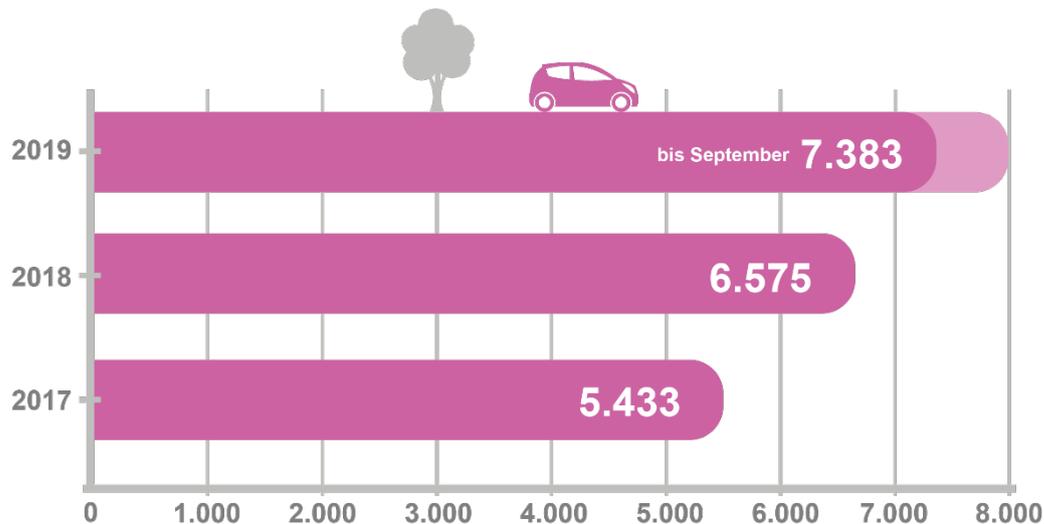


Abbildung 3.2: Neuzulassungen von batteriebetriebenen Elektroautos in Österreich bis September 2019

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von [2, 16]

Tesla entwickelte sich mit der Markteinführung des Modells 3 zum Marktführer. Mit rund 245.240 Einheiten [17] erzielte das Unternehmen den höchsten Absatz und erreichte 11,8% des Gesamtmarkts, dicht gefolgt vom chinesischen Hersteller BYD mit 227.364 Einheiten [17] im Absatz und einem Marktanteil von 11,3%.

Die Konsumenten profitierten von einer immer größeren Auswahl, so stieg die Zahl der Modelle von 165 (109 BEVs und 56 PHEVs) im Jahr 2017 auf fast 207 (143 BEVs und 64 PHEVs) im Jahr 2018 (+25%). Mehr als 43 neue Modelle (25 BEVs und 18 PHEVs) werden im Jahr 2019 auf den Markt kommen und das Wachstum weiter beschleunigen. [18]

Über 270 Start-Ups weltweit [18] arbeiten derzeit an neuen EVs, mit Reichweiten von über 500 Kilometern und autonomen Fahrfähigkeiten, und werden versuchen, die Marktdominanz der etablierten Automobilhersteller zu brechen. Diese Fahrzeuge werden sich auf das Luxus- und Sportsegment konzentrieren und direkt mit Premium-OEMs konkurrieren.

Neben den markttechnischen und kundenbezogenen Faktoren ist die **technologische Reife** der elektrischen Antriebe für weiteres Wachstum von entscheidender Bedeutung.

Im Moment bewegt sich der Markt in Richtung höherer Leistungsdichten und Batteriekapazitäten von über 60kWh. Die Erhöhung der Batteriekapazität wird sich auf die Nachfrage nach intelligenten aktiven Batterie-Wärmemanagementsystemen auswirken, die dazu beitragen, optimale Betriebstemperaturen zu halten. Auch höhere Qualitätsstandards bezüglich Sicherheit und Lebensdauer rücken mit dem Eintritt in den Massenmarkt in den Mittelpunkt. Unternehmen wie BYD, Wanxiang, LG Chem, Samsung SDI, Panasonic, Tesla und CATL, kämpfen um die Marktführerschaft der weltweiten Batterieproduktion. In Europa gibt es Bemühungen, eine eigene Batterie- und Zellfertigung aufzubauen, wie beispielsweise VW in Salzgitter/Deutschland, jedoch findet sich noch kein europäisches Unternehmen unter den größten Batterieproduzenten. Auch die Produktionsprozesse der neuen Komponenten in Elektrofahrzeugen bedürfen weiterer Optimierungen und stetiger Automatisierung, um die Zuverlässigkeit der Prozesse sicherzustellen und die Preise zu senken.

Eine der größten Herausforderungen für den EV-Markt sind langsame Ladesysteme. Der Einstieg der Premium-OEMs wie Audi, BMW, Daimler und Porsche wird die Entwicklung von 250kW+ ultrafast Ladestationen vorantreiben.

Neben technologischen Verbesserungen sind **Maßnahmen auf öffentlicher Ebene** zur Reduzierung von Verkehrsemissionen ebenfalls ein entscheidender Faktor, was die künftige Elektrifizierung anbelangt: Stadtfahrverbote, Einfahrbeschränkungen oder ein Zulassungsstopp für Fahrzeuge, die mit Diesel oder Benzin angetrieben werden, sind einer rascheren Elektrifizierung förderlich. [19]

Förderungen für Endkunden, wie beispielsweise Anschaffungsprämien, bevorzugtes Parken in den Innenstädten und steuerliche Anreize für umweltfreundliche Antriebe haben großen Einfluss auf die Kaufentscheidung der Kunden. Länder mit einem besonders hohen Anteil an Elektroautos wie China und Norwegen haben neu gekaufte Elektroautos besonders stark subventioniert. [20]

Exkurs: Subventionierungen in Norwegen:

In Norwegen wurden im Jahr 2018 mehr als 30% rein elektrische Neuwagen verkauft, schreibt der norwegische „Informationsbeirat für den Straßenverkehr“ (OFV)[20]. Während beim Kauf eines Verbrenners eine Steuer anfällt, die je nach Gewicht und Abgasen bis zu 10.000 Euro betragen kann, muss diese beim E-Auto nicht bezahlt werden – genauso wie die Kfz-Steuer und die Mehrwertsteuer, die in Norwegen 25% beträgt. [21]

2019 wurden einige dieser Förderungen für Elektroautos wieder zurückgenommen. Die Kosten waren durch die vielen Neuzulassungen für den Staat nicht mehr tragbar: so musste in die Ladeinfrastruktur investiert werden, während gleichzeitig die Summe der entfallenen Steuern, die üblicherweise bei einem Autokauf bezahlt werden müssen, anstieg. So dürfen beispielsweise Busspuren nicht mehr befahren werden, wenn man allein im Elektrofahrzeug sitzt, die gänzliche Mautbefreiung für Elektrofahrzeuge wurde aufgehoben und durch andere, immer noch stark subventionierte Lösungen ersetzt. Bei öffentlichen Ladestationen wird ein Stundentarif verrechnet, damit der Platz vor den Ladesäulen nicht gantztägig von einem Fahrzeug besetzt wird. [20-22]

3.1.2 Globale Emissionsregulierung

Emissionsgesetzgebungen haben wesentlichen Einfluss auf das Tempo des Transformationsprozesses hin zur Fahrzeugflotten-Elektrifizierung. Dieses Kapitel wird sich daher der Messung der Testzyklen und den Gesetzgebungen in den Hauptabsatzmärkten widmen.

Testzyklen

Wirkungsgrade, Reichweiten, Verbrauch und Emissionen werden mittels standardisierter Testzyklen ermittelt. Jedes neu entwickelte Fahrzeug muss diese Prüfung absolvieren und die Ergebnisse transparent für den Kunden ausweisen. Abhängig von der Region unterscheiden sich die Testzyklen durch unterschiedliche Fahrprofile und gesetzliche Bestimmungen.

In **Europa** wurde für alle neuzugelassenen Pkw's und leichten Nutzfahrzeuge der Neue Europäische Fahrzyklus (NEFZ) am 1. September 2019 ausnahmslos vom neuen Standard Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure (WLTP) abgelöst. Dieser hat ein deutlich realistischeres Fahrprofil

als auch striktere Definitionen zu Fahrzeugmasse, Rollwiderstand, Fahrzeugkonditionierung und Umweltbedingungen. Ergänzend zum WLTP wurde der Real Driving Emissions (RDE) Straßentest für Verbrenner eingeführt. Das Prüfverfahren misst zusätzlich den Feinstaub und NO_x Emissionen, die durch reale Fahrmanöver auf der Straße entstehen. Elektrofahrzeuge müssen den RDE Test nicht absolvieren. [23, 24, S. 23-24]

In den **USA** werden für realistische Bedingungen drei verschiedene Testzyklen verwendet: Der US City Zyklus bzw. Federal Test Procedure (FTP) und die zwei ergänzenden Supplemental Federal Test Procedures (SFTP). Diese setzen sich zusammen aus dem US06 mit erhöhter Geschwindigkeit und Beschleunigung und dem SC03 bei erhöhter Umgebungstemperatur (35°C) mit aktiver Klimaanlage. [24, S. 35-40]

China kombiniert die europäische und die US-amerikanische Methodik. Ab 2021 wird China den europäischen Testzyklus WLTP als Typ-I-Test und RDE als Typ-II-Test einführen. Aktuell arbeitet China jedoch an einem eigenen China Automotive Testing Cycle (CATC), welcher vermutlich 2025 eingeführt wird. [24, S. 40-41]

Japan verwendet seit September 2018 den WLTP Testzyklus. Der Straßentest RDE folgt ab 2022. **Südkorea** wendet für Ottomotoren die amerikanischen Testzyklen an. Seit September 2017 werden WLTP und RDE für Dieselfahrzeuge verwendet. **Indien** verwendet aktuell den WLTP Testzyklus und wird ab 2023 den RDE zusätzlich einführen. **Brasilien** verwendet eine Kombination der europäischen und US-amerikanischen Grenzwerte und Testzyklen. Durch die Anwendung von Flex Fuel (22–100% ethanolhaltiger Kraftstoff) wurden zusätzlich spezifische Grenzwerte eingeführt. [24, S. 42-43, 25]

Fazit: Die Emissionstestzyklen aus Europa und den USA werden in den meisten Weltregionen zumindest in abgewandelter Form wiederverwendet. China möchte in Zukunft unabhängiger von seinen westlichen Partnern werden und entwickelt ein eigenes Testverfahren. Allgemein werden sich die Fahrzeughersteller auf strengere Tests und Reglementierungen einstellen und ihre Motoren weiter optimieren müssen. So zeigen bereits die neuen Testzyklen einen um 20% höheren Kraftstoffverbrauch und CO₂-Emissionen. Modelle, die zuvor als umweltfreundlich galten, verloren dadurch Förderungen für Konsumenten und belasten die Flottengrenzwerte mit höheren Emissionen.

Treibhausgasemissionen

Treibhausgase beeinflussen das Weltklima. Für Kraftfahrzeuge werden hauptsächlich Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄), und Distickstoffmonoxid bzw. Lachgas (N₂O) betrachtet. Im Gegensatz zu Schadstoffemissionen werden die Gesamtemissionen in der Atmosphäre betrachtet. Aus diesem Grund werden die CO₂ Emissionen als Durchschnittswert für die in einem Jahr verkaufte Neufahrzeugflotte begrenzt, sodass kleinere Fahrzeuge mit geringeren Emissionen den höheren Ausstoß der größeren Fahrzeuge ausgleichen können. [24, S. 3-4] Strengere CO₂ Emissionsgrenzwerte können nur durch eine massive Steigerung der Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen und Hybriden erreicht werden.

In Europa wird für das Jahr 2021 ein Grenzwert von 95 g CO₂/km festgesetzt, der bis zum Jahr 2030 auf 59 g CO₂/km reduziert werden soll. Als Übergangsregelung werden Fahrzeuge mit einem CO₂-Ausstoß unter 50 g CO₂/km durch sogenannte „Super Credits“ belohnt und mehrfach in die Flottenbilanz des Herstellers eingerechnet (2020: 2-fach; 2021: 1,67-fach; 2022: 1,33-fach – Obergrenze 7,5 g CO₂/km). [26] Bis 2020 sollen auch die Emissionen in China mit 117 g CO₂/km, in Süd-Korea mit 97 g CO₂/km und

in Japan mit 122 g CO₂/km begrenzt werden. Japan hat diesen Wert schon 2013 erreicht und gilt, bezogen auf Treibhausgase, als eine der saubersten Flotten weltweit. Die USA und Canada werden 2025 die Grenzwerte auf 99 g CO₂/km herabsetzen. [27, S. 10]

PA Consulting analysiert jedes Jahr den CO₂ Flottenausstoß der größten Hersteller und hat für 2021 die voraussichtlichen Strafzahlungen in Europa prognostiziert. Um Strafzahlungen zu vermeiden oder zu reduzieren, müssen Fahrzeughersteller dringend handeln. [28]

AUTOHERSTELLER	ABWEICHUNG 2021 (g/CO ₂ /km)	STRAFSUMME 2021 (in Millionen €)	STRAFSUMME 2021 (in % of EBIT in 2017)
Volvo	-13,1		
Toyota	-8,0		
Renault-Nissan-Mitsubishi	-2,7		
Honda	-1,1		
Jaguar-Land-Rover	-0,5		
Daimler	1,8	190	1%
BMW	2,0	200	2%
Hyundai-Kia	2,1	300	5%
PSA	2,6	600	20%
Mazda	3,2	75	8%
Volkswagen	3,8	1400	10%
Ford	4,4	430	10%
Fiat-Chrysler (FCA)	6,7	700	10%

Abbildung 3.3: Prognostizierte CO₂ Zielverfehlung und mögliche Strafzahlungen laut PA Consulting, 2018

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von [28, S. 12]

Schadstoffemissionen

Schadstoffemissionen sind Luftschadstoffe, welche schädlich für die menschliche Gesundheit sind. Kraftfahrzeuge sind vor allem an den folgenden Schadstoffen beteiligt:

- Kohlenstoffmonoxid (CO); hochtoxisch
- Unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC); toxisch
- Stickstoffoxide (NO sowie NO₂, oft als NO_x bezeichnet); potentiell schädliche Auswirkungen auf die Atemwege
- Partikel (PM, Ruß und Asche); potenziell schädlich für Herz-, Kreislauf- und Atmungssystem

Diese Schadstoffe werden, abhängig von der Weltregion, durch unterschiedliche Gesetzgebungen und Testverfahren limitiert. Alle Vorschriften beinhalten die maximalen Emissionen pro Wegstrecke (mg/km oder mg/mile).

Im Gegensatz zu Treibhausgasemissionen muss jeder einzelne Pkw in **Europa** dieselben maximalen Schadstoffgrenzwerte einhalten, der Ausgleich durch die Flottenemissionen ist somit nicht möglich. Aktueller Emissionsstandard: Euro 6d (Temp) [24, S. 5].

In den **USA** werden Fahrzeuge in unterschiedliche Emissionsklassen zertifiziert und ein Flottengrenzwert für Schadstoffemissionen bestimmt, der von Jahr zu Jahr linear reduziert wird. Begrenzt werden die durchschnittlichen Emissionen aller Emissionsklassen. Die US-amerikanische Schadstoffregulierung ist aktuell die strengste. Aktueller Emissionsstandard: Tier 3 / LEVIII [24, S. 35-36]

China wird ab 2023 die Grenzwerte stärker regulieren als Europa. Unter anderem werden Kaltstart-Temperatur-Prüfungen und strengere Vorschriften für Verdunstungs- und Tankatmungsemissionen eingeführt. [24, S. 41]

Fazit: Derzeit haben die USA die strengsten Schadstoff-Emissionsvorschriften. China wird ab 2023 strengere Regulierungen als Europa erlassen. Damit werden künftig die beiden größten Fahrzeugmärkte der Welt den Standard für die Fahrzeughersteller setzen, nicht mehr Europa.

3.2 Autonomes Fahren und alternative Mobilitätskonzepte

Um die Fahrzeugnachfrage 2030 realistisch abschätzen zu können, ist es auch erforderlich, auf Trends wie beispielsweise autonomes Fahren oder alternative Mobilitätskonzepte einzugehen. Diese Entwicklungen sind zwar nicht Kern der vorliegenden Studie, sie werden jedoch die Mobilitätsindustrie in Zukunft maßgeblich beeinflussen und werden daher hier kurz beschrieben.

Die Automobilindustrie befindet sich in einem digitalen Transformationsprozess. Begriffe wie Connected Car, automatisiertes Fahren und Mobility-as-a-Service (MaaS) prägen die Industrie zunehmend mit unterschiedlicher Dynamik [29].

Fortschritte in Big Data, künstlicher Intelligenz, Cloud Computing und IT-Sicherheit treiben diese neuen technologischen Entwicklungen voran. Geschäftsmodelle mit neuen Services bieten neben dem klassischen Verkauf von Fahrzeugen zusätzliche Chancen für die Automobilindustrie. Eine Veränderung der Wertschöpfungskette durch neue Akteure birgt große Herausforderungen für etablierte Hersteller.

Die **Automatisierung des Fahrzeugs** stellt eine tiefgreifende Veränderung für die Nutzung des heutigen Verkehrssystems dar. [29] Insgesamt wird zwischen sechs Automatisierungsstufen unterschieden. Die Stufe (0) ist das konventionelle Autofahren ohne aktive Unterstützung und ohne eingreifende Fahrzeugsysteme. Der Grad der Automatisierung steigt mit jeder Stufe. In der letzten Stufe (5) werden Fahraufgaben vollumfänglich und zu jeder Zeit vom Fahrzeugsystem übernommen und zu keinem Zeitpunkt ist ein Fahrer erforderlich. Autonomes Fahren (Stufe 5) gehört aktuell zu den bedeutendsten Zukunftstrends. Die Technologie, die Autos auf den Straßen selbst fahren lässt, führt zu einer erhöhten Sicherheit im Straßenverkehr, zu einer verbesserten Umweltbilanz und zu einem völlig neuen Fahrerlebnis. [30] Bis es so weit ist, müssen allerdings noch zahlreiche Probleme hinsichtlich technologischer, rechtlicher und politischer Aspekte gelöst werden. Die Zwischenstufen des automatisierten

Fahrens haben das Potential, den Verkehrsfluss zu verbessern und die Sicherheit für alle Verkehrsbeteiligten zu erhöhen. Zusätzlich können durch höhere Automatisierungsstufen die Verbrauchseffizienz gesteigert und somit die Umweltbelastung gesenkt werden. [30]

Vernetzte Fahrzeuge (Connected Cars) können mittels entsprechender Soft- und Hardware über das Internet in seinem Umfeld vernetzt werden und können dadurch Informationen senden und empfangen. Die Verbindung zum Internet im Fahrzeug ermöglicht neben der Notrufunktionalität eine Vielzahl digitaler Dienstleistungen, wie beispielsweise das Streamen von Medieninhalten oder kollaboratives Parken zur Optimierung der Parkplatzsuche. Auch diese Technologie hat das Potential, Staus mittels intelligenter Verkehrsleitsysteme zu reduzieren und damit die Umweltbelastung zu senken. [31] Damit die Datenübermittlung gewährleistet werden kann, müssen Mobilfunkstandards wie 5G implementiert und die Infrastruktur flächendeckend ausgebaut werden. [32]

Das Smartphone und die voranschreitende Digitalisierung sind die Grundlage **alternativer Mobilitätskonzepte**, wie beispielsweise Carsharing, Ride-Hailing oder Ride-Sharing. 47% der Österreicher haben laut einer Studie von PWC mindestens einen Share Economy Service genutzt und auch weltweit ist ein starkes Wachstum geteilter Services erkennbar [33]. Sollte sich dieser Trend weiterhin fortsetzen, so ist, beginnend im urbanen Raum, mit starken Veränderungen der Nutzungsmuster zu rechnen. Statt des bisher üblichen Erwerbs würden Fahrzeuge zunehmend als Dienstleistung bereitgestellt. Durch alternative Mobilitätskonzepte ergeben sich Vorteile für die Kunden und Chancen für die Gestaltung der Mobilität im urbanen Raum. Besonders in Städten könnten die Anwender auf die Anschaffung eines eigenen Pkws verzichten und auch dem Parkplatzmangel in Großstädten könnte man dadurch entgegenwirken. [34] Neben dem Nutzerverhalten treibt dieser Trend auch die Geschwindigkeit der Elektrifizierung. Elektrische Fahrzeugflotten sind ideal für den Stop-and-Go-Verkehr in der Stadt und kostengünstiger in der Wartung. Neben diesen positiven Faktoren können alternative Mobilitätsangebote die Nutzung der Fahrzeuge in den Vordergrund stellen und der konventionelle Fahrzeugkauf würde an Bedeutung verlieren. Das würde sich in sinkenden Neuzulassungen widerspiegeln, die globale Fahrzeugproduktion senken und damit einen positiven Effekt auf die Erreichung der Klimaziele haben.

3.3 Entwicklungen der globalen PKW Neuzulassungen bis 2030

Die Prognose der globalen Fahrzeugmarktentwicklung erfolgt auf Basis umfassender Literaturrecherche und Experteninterviews und spiegelt sich in den jährlichen Neuzulassungen von Personenkraftwagen wider.

Im Jahr 2018 wurden weltweit gut 80 Mio. Personenkraftwagen verkauft. Dies entspricht einem Minus von 0,8% und dem ersten Rückgang seit der Finanzkrise 2008. Im ersten Halbjahr 2019 gingen die Autokäufe in Europa um 3,9% zurück, in den USA um 3,3% und in China, dem ehemaligen Wachstums Garant, um 14,4%. Der globale Absatzmarkt wird sich kurzfristig voraussichtlich um ca. 4-5% verkleinern. [5] Die negative Entwicklung des Absatzvolumens, bei gleichzeitig hohen Investitionen in die Elektromobilität, setzen die Automobilindustrie massiv unter Druck. Erst in drei Jahren ist eine Stabilisierung des Marktes zu erwarten und die Verkaufszahlen könnten erstmals wieder über dem Niveau von 2018 liegen. Erst gegen Ende des betrachteten Zeitraums wird eine Abflachung des Wachstums aufgrund alternativer Mobilitätslösungen erwartet. [35, 36]

In den Wachstumsprognosen sind (noch) nicht die Folgen eines Brexits und mögliche zukünftige Strafzölle für Fahrzeugexporte aus Europa in die USA berücksichtigt. Beides würde das weltweite Wachstum noch stärker bremsen und trotz der konservativen Annahmen, im Vergleich zu früheren Studien, den Automobilabsatz weiter senken.

Abbildung 3.4 zeigt die prognostizierte weltweite Entwicklung in den nächsten 10 Jahren. Die jährlichen Neuzulassungen werden unter diesen Annahmen auf knapp 93,4 Mio. im Jahr 2030 steigen.

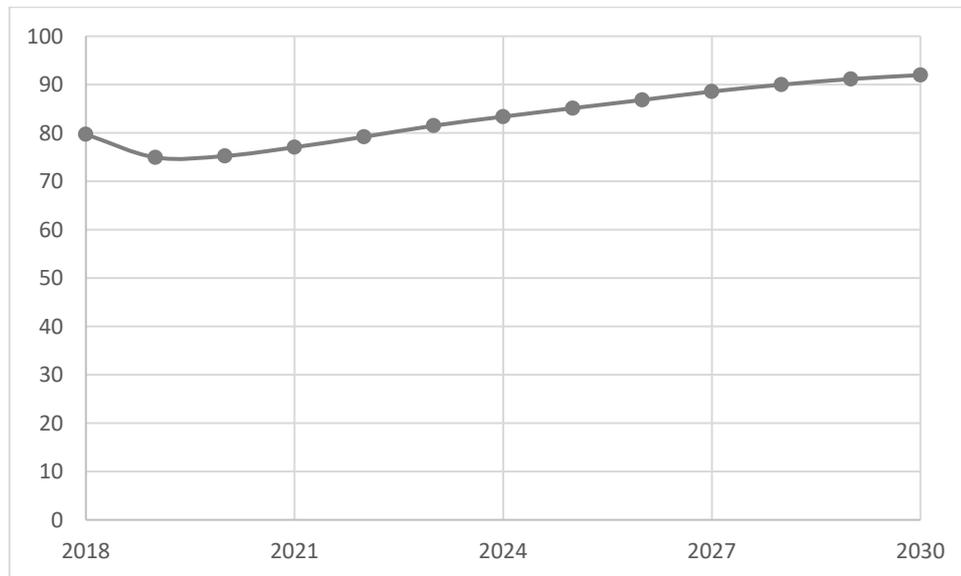


Abbildung 3.4: Prognostizierte weltweite Entwicklung der Fahrzeugneuzulassungen bis 2030

Quelle: Kleebinder, Semmer, 2019

3.4 China: Der größte Fahrzeugmarkt der Welt

Die Autoindustrie ist eine europäische Erfolgsgeschichte. Über 13 Mio. Menschen arbeiten für die Automobilwirtschaft in Europa und erwirtschaften 6% der Gesamtsteuereinnahmen in den EU-15 Staaten [37] (Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Großbritannien, Irland, Italien, Luxemburg, Niederlande, Österreich, Portugal, Schweden, Spanien). Diese Position ist allerdings in Gefahr: neben neuen Geschäftsmodellen und Trends wird vor allem Chinas Aufstieg zunehmend herausfordernd werden.

McKinsey prognostiziert, dass diese Position der Stärke und des Wohlstands in Gefahr ist. Die neuerdings dominante Stellung Chinas in der Automobilindustrie und neue Geschäftsmodelle wie Sharing und autonomes Fahren erfordern ganz andere Fähigkeiten als exzellente Fahrzeuge zu produzieren. [37] Als Beispiel werden datenbasierte Dienstleistungen und Shared-Mobility genannt, die bereits 2030 etwa 25% der Industrieumsätze generieren sollen, 2018 lag der Wert bei 0,2%.

China dominiert die Fahrzeug-Produktion:

1. China ist Weltmarktführer in der Fahrzeug-Produktion. [38]
2. China ist Weltmarktführer in der Elektrofahrzeug-Produktion. [38]
3. China ist Weltmarktführer in der Fahrzeugbatterie-Produktion. [39]

Die Joint-Venture-Strategie der chinesischen Regierung hat viele ihrer Ziele erreicht. Die Autos und Batterien in Peking tragen ausländische Abzeichen, werden aber in China hergestellt. Das Land produzierte im vergangenen Jahr ca. 23 Mio. Pkws und übertraf damit deutlich Europa und Nordamerika, siehe Abbildung 3.5 [38].



Abbildung 3.5: PKW-Produktion in China, Europa und USA, 2018, in Mio.

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von [40]

2018 wurde weltweit eine Batteriekapazität von 220,5 GWh hergestellt, davon wurden 134,5 GWh in China gefertigt. Für 2023 wird prognostiziert, dass sich sieben von zehn der weltweit größten Gigafabriken in China befinden werden. [39]

Chinesische Elektrofahrzeuge-Startups sind auch im Wettbewerb um Investitionskapital führend. Laut Pitchbook Data wurden von 2014 bis zum ersten Quartal 2019 mehr als 15 Mrd. US-Dollar investiert, verglichen mit etwas mehr als 6 Mrd. US-Dollar in Elektrofahrzeuge-Startups in den USA im gleichen Zeitraum.

China dominiert den Fahrzeug-Markt:

1. China ist der weltgrößte Fahrzeug-Markt. [3]
2. China ist der weltgrößte Elektrofahrzeug-Markt. [3]
3. China ist der weltgrößte Ride-Hailing der Welt. [41]

Chinas Aufstieg zum größten Automobilmarkt der Welt ging zügig voran. Nach dem Absatz von acht Mio. Neufahrzeugen im Jahr 2007 erreichte dieser 2017 einen Höchststand von 24 Mio. und lag 2018 bei 23,2 Millionen. [36] Die meisten dieser Verkäufe wurden von bekannten ausländischen OEMs geliefert. Im Jahr 2018 war der chinesische Markt für etwa über 40% aller weltweiten Verkäufe der Volkswagen Gruppe [42] verantwortlich.

Das Volumen neuzugelassener Elektrofahrzeuge in China stieg von 2013 bis 2018 jedes Jahr um mehr als 100%. [41] Im Jahr 2018 wurden in China bereits 1,1 Mio. Elektrofahrzeuge (BEV + PHEV) verkauft, 75% davon rein batteriebetriebene Elektroautos [18]. Abbildung 3.6 vergleicht Neuzulassungen von BEVs in den drei Hauptmärkten USA, Europa und China von 2014 bis 2017.

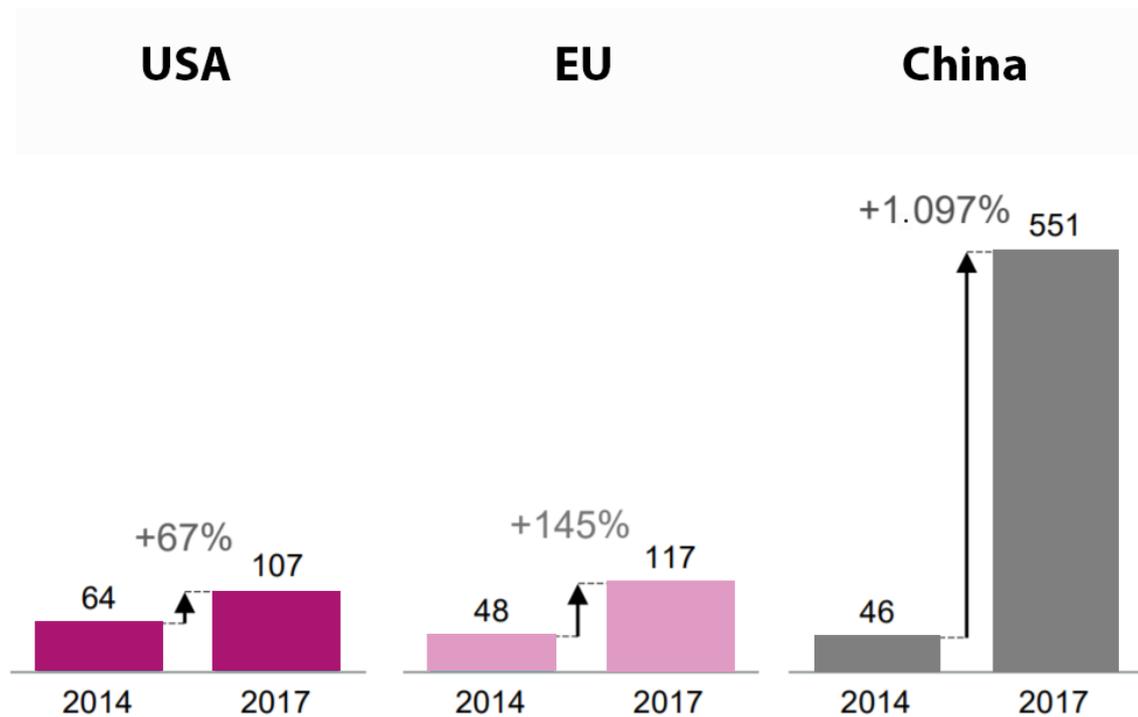


Abbildung 3.6: Neuzulassungen von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen in USA, EU und China 2014-2017

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von [37]

Darüber hinaus zeichnen sich auch strukturelle Änderungen im chinesischen Automobilmarkt ab. China ist der größte Ride-Hailing (Anforderung eines Fahrdienstes) Markt der Welt. Mit über 405,1 Mio. Kunden [43] und täglich ca. 35 Mio. Fahrten [41] in 2018 überholt China die USA mit 58,4 Mio. Anwendern und ist für fast die Hälfte der täglich 70 Mio. Fahrten [41] weltweit verantwortlich.

Fazit: Die Marktdominanz Chinas und die Weltmarktführerschaft in der Produktion wird dazu beitragen, dass sich Lieferketten für Elektrofahrzeuge in China ansiedeln und die Dominanz weiter ausgebaut werden kann. Gleichzeitig plant China – mit einem 11 Mrd. Euro-Impuls 2018 für die Brennstoffzellenforschung und die Wasserstoff-Energiewirtschaft – die Einführung von Wasserstofffahrzeugen voranzutreiben, um auch hier führend zu werden. [44] [45]

Auch die Qualität und das Design der lokalen chinesischen Automobilhersteller verbessert sich kontinuierlich. Experten schätzen, dass 2020 mehr Fahrzeug-Eigenmarken in China verkauft werden als ausländische Marken. [40] Durch das besonders hohe Absatzniveau der deutschen Fahrzeughersteller in China hat sich eine starke Abhängigkeit von diesem Markt entwickelt. Verschlechtern sich die Geschäfte in China, wirkt sich dies stark auf die Verkaufszahlen und somit indirekt auch auf die österreichische Automobilwirtschaft aus.

Einige chinesische Unternehmen prüfen derzeit den Export in den Westen: Die Automobilhersteller Geely, GAC und Great Wall sind in dieser Hinsicht besonders ambitioniert, wurden jedoch von den amerikanischen Strafzöllen gebremst. Geely, der in dieser Hinsicht ambitionierteste chinesische Automobilhersteller hat 2010 von Ford den Fahrzeughersteller Volvo gekauft und mittlerweile 9,7% der Daimler AG erworben (2018) und ist damit größter Einzelaktionär. [40]

4 Antriebstechnologien und Referenzfahrzeuge

Um die volkswirtschaftlichen Effekte auf die österreichische Automobilwirtschaft berechnen zu können, die durch einen Wandel der Antriebstechnologien ausgelöst werden, muss zunächst erhoben werden, welche Komponenten – abhängig von Referenzfahrzeug und Antriebstechnologie – künftig benötigt werden. Darüber hinaus ist festzustellen, ob diese im Inland produziert (oder importiert) werden und mit welchen Herstellungskosten und Verkaufspreisen zu rechnen sein wird. Dieses Kapitel erklärt die Antriebstechnologien der Referenzfahrzeuge und schlüsselt deren wichtigste Komponenten und Herstellungskosten auf.

Der Begriff „Antriebstechnologien“ umfasst Konzepte zum Antrieb von Fahrzeugen, die dem Transport von Personen oder Gütern dienen. Die vorliegende Studie befasst sich ausschließlich mit Antriebstechnologien für Personenkraftwagen (Pkw).

Abbildung 4.1 stellt vereinfacht die relevanten Verknüpfungen zwischen Primärenergien, Treibstoffen und Antrieben dar. Fahrzeuge können entweder durch einen Verbrennungsmotor, einen Elektromotor oder von einer Kombination der beiden Motoren in einem Hybrid-System angetrieben werden. Während die Auswahl der Antriebe limitiert ist, besteht mehr Vielfalt bei den möglichen Treibstoffen:

- Benzin / Diesel
- Compressed Natural Gas (CNG) / Liquefied Natural Gas (LNG)
- Synthetische Kraftstoffe
- Elektrizität
- Wasserstoff
- BIO – Kraftstoffe

Aus dem Schaubild geht hervor, dass eine Verbrennungskraftmaschine (VKM) alle Treibstoffe nutzen kann. Auch CO₂-frei hergestellte synthetische Kraftstoffe und Wasserstoff, hergestellt aus erneuerbarer Energie, können eingesetzt werden. Der Betrieb eines Verbrennungsmotors ist jedoch immer mit lokalen Emissionen verbunden. Diese können mittels moderner Katalysatoren und alternativer Kraftstoffe reduziert werden. [46, S. 94]

Soll die Reduzierung der ausgestoßenen Emissionen gegen Null gehen, so bietet die Einführung von Elektrofahrzeugen eine treibhausgas- und schadstofffreie Alternative, vorausgesetzt, der geladene Strom wird aus erneuerbaren Energiequellen bezogen.

Vom Rohstoff zum Antrieb

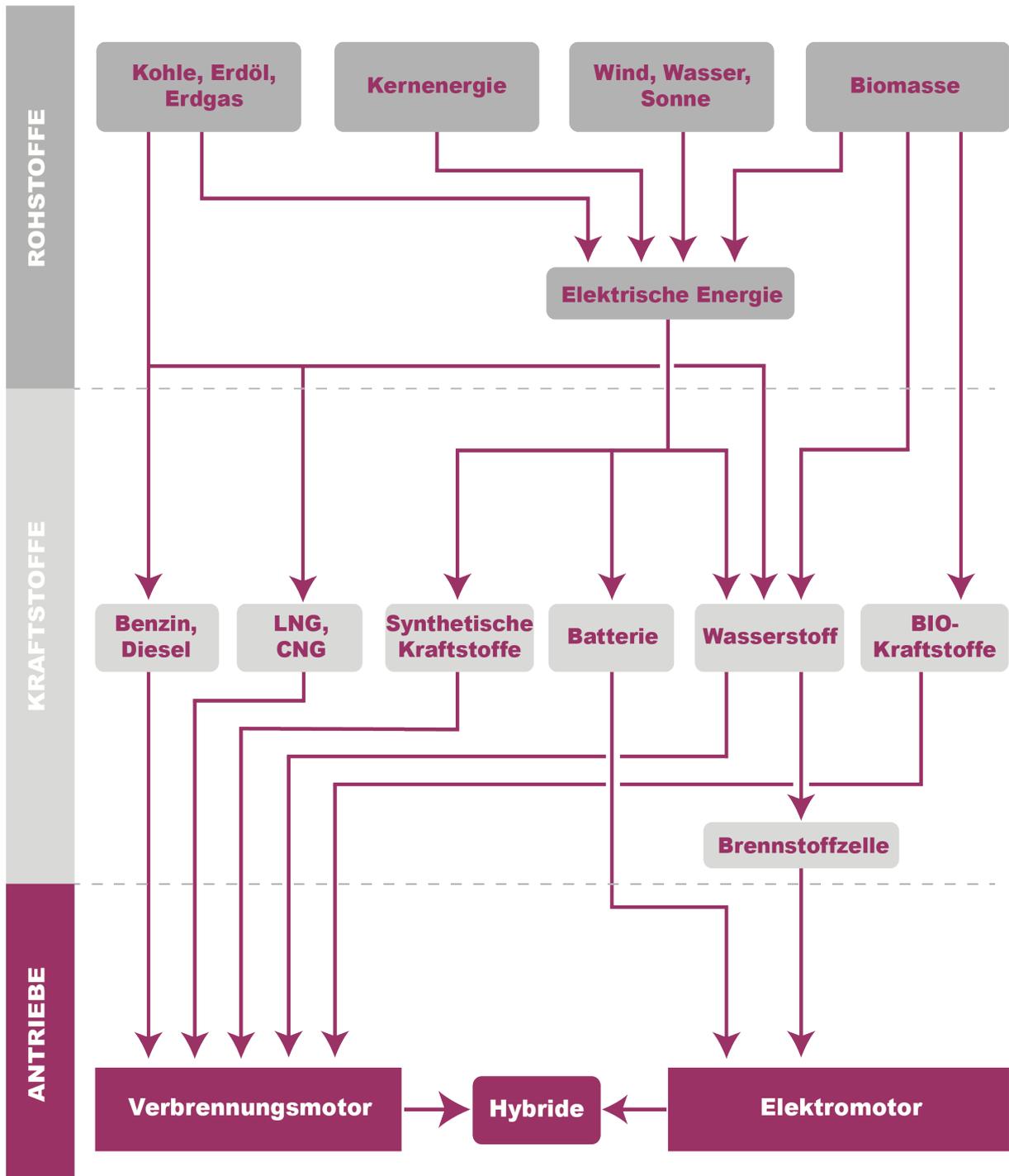


Abbildung 4.1: Primärenergiequellen verknüpft mit Antriebstechnologien (Eigene Darstellung)

Quelle: Kleebinder, Semmer, 2019

Abbildung 4.2 zeigt eine detailliertere Unterteilung in konventionelle Verbrennungsmotoren, Hybrid-Systeme und Elektromotoren. Bei rein elektrischen Antrieben wird zwischen batterieelektrischen Fahrzeugen und Brennstoffzellen-Fahrzeugen unterschieden.

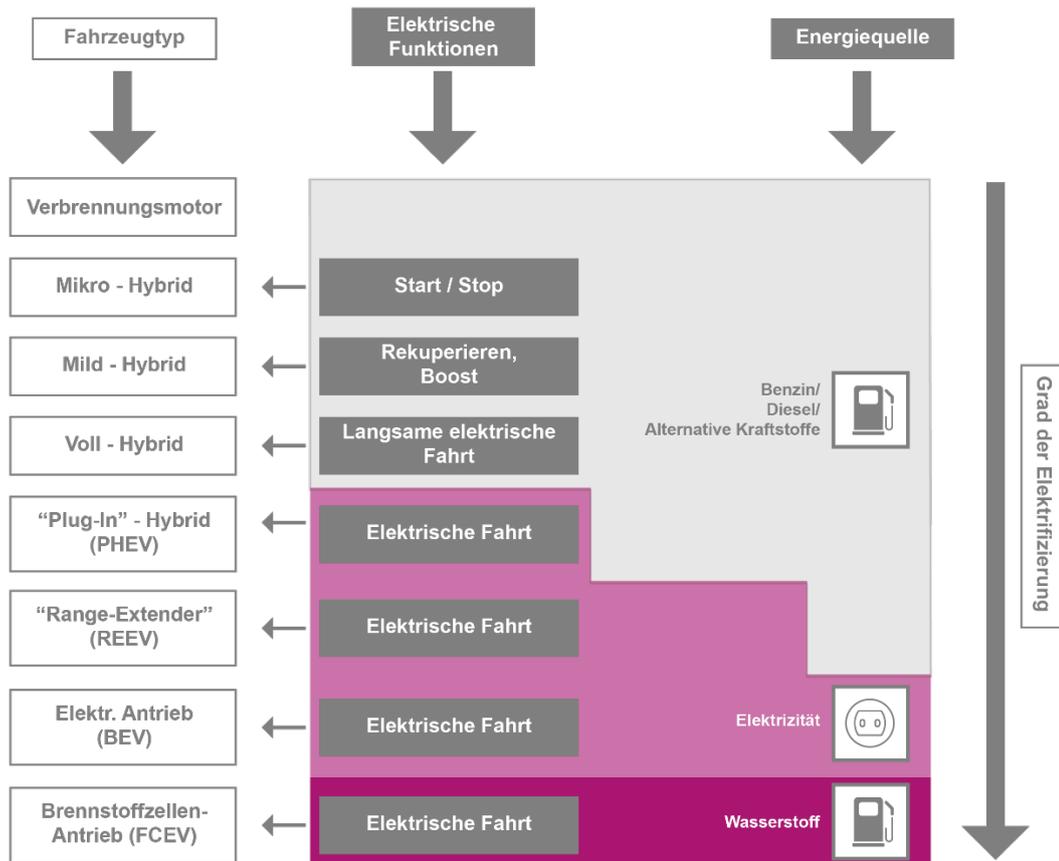


Abbildung 4.2: Klassifizierung der Antriebsarten und deren elektrische Funktionen

Eigene Darstellung auf Basis von [47]

4.1 Definition der Referenzfahrzeuge und Herstellungskosten

Referenzfahrzeuge können (Abbildung 4.1 folgend) entweder nach Treibstoffen oder Antriebs-technologien klassifiziert werden. Da die ökonomischen Effekte im Wesentlichen von den verbauten Antrieben abhängen, wurden, aufbauend auf einer Marktanalyse, den betrachteten automobilen Megatrend und unabhängigen Experteninterviews, insgesamt fünf Antriebskonzepte als Referenzfahrzeuge definiert, von welchen zu erwarten ist, dass sie 2030 eine relevante Marktdurchdringung auf globaler Ebene erreichen werden. Im Rahmen dieser Studie wurde für die Referenzfahrzeuge auch der Stand der Forschung der mittels Meta-Studien-Analyse evaluiert und in Anhang B dargestellt.

Im Wesentlichen werden die fünf Antriebstechnologien in Verbrenner- und Elektrofahrzeuge unterteilt.

Verbrennerfahrzeuge gliedern sich in:

- Verbrennungsmotor (Benzin/Diesel)
- Verbrennungsmotor (Gas)
- Hybrid-Systeme (PHEV)

Elektrofahrzeuge gliedern sich in:

- Elektromotor (Batterie)
- Elektromotor (Brennstoffzelle/H₂)

Verbrennungsmotoren (Benzin/Diesel) stehen für Internal Combustion Engines (ICE) mit Start-Stop-Funktion, die flüssige Kraftstoffe verwenden. **Verbrennungsmotoren (Gas)** stehen ebenfalls für ICEs mit Start-Stop-Funktion, werden jedoch mit gasförmigen Kraftstoffen betrieben. Ein Plug-In-Hybrid Electric Vehicle (PHEV) wird (im Rahmen dieser Studie) für das Referenzfahrzeug **Hybrid-Systeme** definiert.

Für das Referenzfahrzeug **Elektromotor (Batterie)** wurde ein Batterie Electric Vehicle (BEV), also ein rein batteriebetriebenes Elektrofahrzeug definiert. **Elektromotor (Brennstoffzelle/H₂)** steht für ein bereits im Markt erhältliches Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV), d.h. ein Brennstoffzellen-Fahrzeug, das Wasserstoff als Brennstoff verwendet.

Für einen Vergleich der eingesetzten Technologien wurden Referenzfahrzeuge mit ähnlichen Leistungsmerkmalen im Mittelklassesegment definiert. Jedes dieser Referenzfahrzeuge wurde in zwei Baugruppen unterteilt. Für jede dieser Baugruppen wurden die dazugehörigen Komponenten analysiert und bewertet. Auf Basis von umfangreichen Analysen und internationalen Experteninterviews konnten in einem zweiten Schritt die Herstellungskosten der einzelnen Komponenten und Baugruppen ermittelt werden. Nachfolgend werden diese in Kern-Komponenten und deren Kosten aufgeschlüsselt:

Baugruppe Antrieb:

- **Verbrennungsmotor:** Für Verbrennungsmotor (Benzin/Diesel) wurde ein Ottomotor als auch Dieselmotoren betrachtet und ein gewichteter Mittelwert für die Herstellungskosten ermittelt. Für Verbrennungsmotor (Gas) wurde ebenso wie bei den Hybrid-Systemen ein leicht modifizierter Ottomotor für den Vergleich verwendet. Die Leistung der Motoren wurde mit 90 bis 100 kW definiert.
- **Abgasanlage:** Bei diesem System wurden Abgasanlagen für Otto-, Diesel- und Gasfahrzeuge bewertet. Für die Herstellungskosten wurde ein gewichteter Mittelwert für die Referenzfahrzeuge berechnet. Für Abgasanlagen wird bis 2030 eine Preissteigerung durch die komplexer werdenden Abgasnachbehandlungen aufgrund von strengeren Emissionsregulierungen erwartet.
- **Getriebe:** Hier wurden drei unterschiedliche Getriebetypen analysiert. Konventionellen Verbrennern wurde ein Schaltgetriebe, Hybrid-Systemen ein komplexes Automatikgetriebe und Elektromotoren (Batterie + Brennstoffzelle/H₂) ein einfaches Übersetzungsgetriebe zugeordnet.
- **Kraftstoffanlage:** Es wurden drei verschiedene Speichersysteme für die Referenzfahrzeuge definiert. Einfache Benzin/Diesel Kraftstofftanks, anspruchsvolle Hochdrucktanks für Verbrennungsmotoren (Gas), mit einem maximalen Druck von 260 bar, und hochkomplexe Wasserstoffdrucktanks, mit einem maximalen Druck von 700 bar, für Elektromotoren (Brennstoffzelle/H₂). Zusätzlich wurden für Verbrennungsmotoren (Gas) als Bifuel-System und Hybrid-Systeme kleinere Kraftstofftanks als für Verbrennungsmotor (Benzin/Diesel) berücksichtigt.
- **Elektromotor:** Jeder elektrische Antrieb benötigt einen Elektromotor. Dem batterieelektrischen Fahrzeug wurde eine Motorleistung von 100 kW zugeteilt. Elektromotor (Brennstoffzelle/H₂) wurde mit einer elektrischen Maschine mit 120 kW und Hybrid-System (PHEV) mit 65 kW ausgestattet.
- **Leistungselektronik:** Dieser Komponente wurden Inverter und Ladetechnik zugeteilt. Zusätzlich wurden das Hochspannungsnetz mit den Komponenten Gleichspannungswandler

(12V) und die Absicherung der Verkabelungen der Leistungselektronikkomponenten dieser Gruppe hinzugefügt.

- Traktionsbatterie: Es wurde für alle elektrifizierten Antriebe eine Lithium-Ionen-Batterie als Basis definiert. Die Kapazität der Batterie variiert von (beispielsweise) Hybrid-Systemen mit 15kWh zu Elektromotor (Batterie) mit 60 kWh. Die Bestimmung der Herstellungskosten basiert auf der erwarteten Preisentwicklung einer Kilowattstunde.
- Brennstoffzelle: Als Brennstoffzelle wurde eine Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzelle (PEMFC) ausgewählt, mit einer Ausgangsleistung von 95 kW und einer Brennstoffzellenanzahl von 440.

Baugruppe Basisfahrzeug (ohne Antrieb):

- Fahrwerk: Die Komponenten Radaufhängung, Federn, Dämpfer und Bremssystem wurden dem Fahrwerk zugewiesen. Für elektrifizierte Antriebe wurde die Rekuperationsfähigkeit berücksichtigt und das Bremssystem angepasst.
- Karosserie: Die Fertigung der Karosserie ist mit bis zu 95% Automatisierungsgrad ein hochautomatisierter Prozess. Ein Großteil der Herstellungskosten wird durch Stahl und Aluminium verursacht.
- Elektronik: Hier wurden für Verbrennerfahrzeuge Niedervolt-Bordnetz, Steuergerätarchitektur, Motorenmanagement und Infotainment untersucht. Für elektrifizierte Antriebe wurde ergänzend Hochvolt-Bordnetz, Batteriemangement und die sich verändernden Komponenten Steuergerätarchitektur und Motorenmanagement betrachtet.
- Innenausstattung: Bestehend aus Verkleidung, Dämmung, Sitzen, Ergonomie und den Kombinationsinstrumenten, wie beispielsweise Tachometer und Kontrollleuchten. Die Herstellkosten der Dämmung wurden für reine Elektrofahrzeuge angepasst.
- Außenausstattung: Für die Herstellungskosten des Exterieurs wurde für alle Referenzfahrzeuge der gleiche Betrag approximiert.

Jedes Referenzfahrzeug besitzt einen unterschiedlichen Aufbau und Komponenten, damit auch eine unterschiedliche Kostenstruktur. Neben den Kosten für Material und Fertigung wurden auch die durchschnittlichen Personalkosten, Abschreibungen, Gewinn, Forschungs- und Entwicklungskosten für jedes Referenzfahrzeug bestimmt.

Interessant sind dabei vor allem die Herstellungskosten von Hybrid-Systemen (PHEV), diese liegen wegen der hohen Komplexität – der Verknüpfung von Verbrenner- und Elektromotoren – über den von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen.

Die zweite wichtige Erkenntnis betrifft das Referenzfahrzeug Elektromotoren (Brennstoffzelle/H₂). Es ist zum heutigen Zeitpunkt nicht möglich, mit diesen Fahrzeugen Profit zu machen. Durch die geringen Stückzahlen und die, durch einen geringen Automatisierungsgrad bedingten, hohen Personalkosten verlieren die Automobilhersteller mit jedem verkauften Fahrzeug einen fünfstelligen Euro-Geldbetrag [48]. Die Hersteller, die Brennstoffzellenfahrzeuge anbieten, nehmen diesen Verlust in Kauf, um die Fahrzeuge im Markt zu etablieren. Erst ab 2025 ist anzunehmen, dass sich die Stückzahlen steigern und mit einer weiterentwickelten Fahrzeuggeneration profitabel werden. Ein Beispiel dafür ist der Toyota Mirai, der wahrscheinlich in seiner dritten Generation ab 2025 mit einem wettbewerbsfähigen Verkaufspreis von ca. 45.000 Euro auf den Markt kommt.

Einen weiteren interessanten Einblick zeigt der Vergleich der zwei Baugruppen Antrieb und Basisfahrzeug ohne Antrieb. Für Verbrennerfahrzeuge sind Fahrwerk, Karosserie, Elektronik, Innenausstattung und Außenausstattung der entscheidende Kostenfaktor in der Herstellung. Mit Elektrofahrzeugen verschiebt sich dieses Verhältnis. Der Antrieb von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen ist durch die noch geringen Stückzahlen in der Produktion und die teure Traktionsbatterie (ca. 50% der gesamten Herstellungskosten) mehr als zwei Drittel teurer in der Herstellung als das Basisfahrzeug ohne Antrieb, siehe Abbildung 4.3.

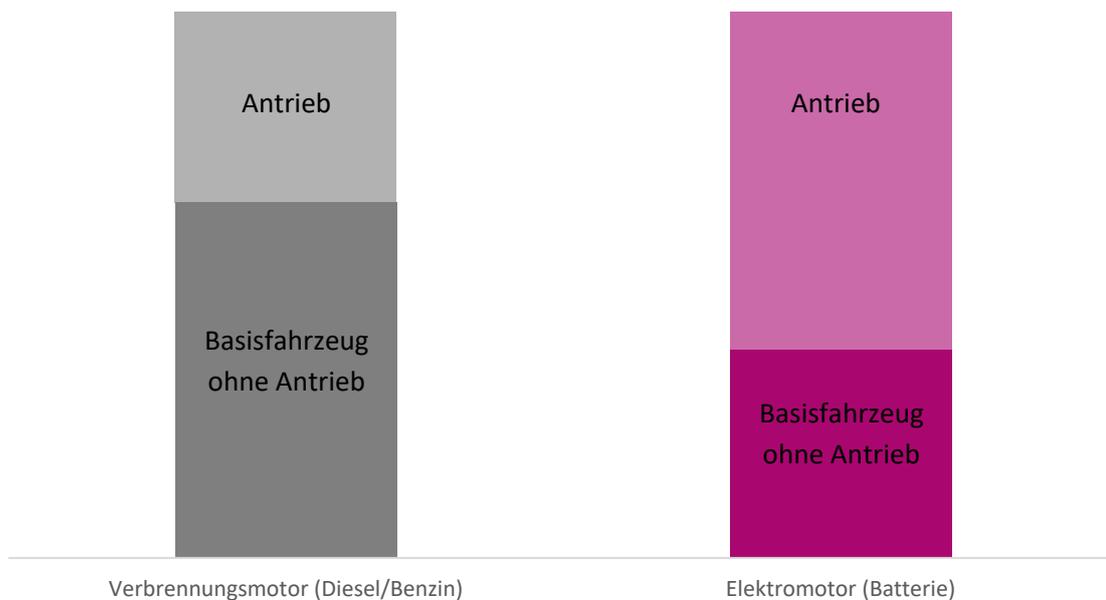


Abbildung 4.3: Vergleich der Herstellungskosten von Verbrennerfahrzeugen und Elektrofahrzeugen

Quelle: Kleebinder, Semmer, 2019

Im Vergleich zu den konventionellen Antrieben sind auch die Entwicklungskosten für die elektrifizierten Antriebe signifikant höher. Im Wesentlichen werden für Verbrennungsmotoren (Benzin/Diesel + Gas) ca. 6% des Netto-Kaufpreises für Forschungs- und Entwicklungskosten veranschlagt, für Hybrid-Systeme und Elektromotoren (Batterie + Brennstoffzelle/H₂) erhöht sich der Anteil.

Zulieferer und Hersteller stehen vor großen Herausforderungen. Mit der Einführung von reinen Elektrofahrzeugen ändert sich die Fahrzeugproduktion grundlegend. In Elektrofahrzeugen sind weniger Komponenten verbaut wie bei den Verbrennerfahrzeugen. Es entfallen hochkomplexe Bauteile wie Verbrennungsmotor und mehrstufige Getriebe, auch auf Abgas- und Kraftstoffanlagen kann beispielsweise verzichtet werden. Durch neu hinzukommende Kernkomponenten in Elektrofahrzeugen, wie beispielsweise Traktionsbatterie, Elektromotor oder Brennstoffzelle [49] ergeben sich jedoch Chancen für Unternehmen, Kompetenzen in anderen Geschäftsfeldern aufzubauen. [15] Aufgrund der noch nicht weit fortgeschrittenen Technologiereife hat sich bis jetzt noch keine ausgeprägte Marktmacht von etablierten und hocheffizient produzierenden Unternehmen gebildet. Durch die noch geringen Stückzahlen herrschen ähnliche Ausgangsbedingungen zwischen etablierten und neuen Zulieferern. Im Fall des Elektromotors ist jedoch zu erkennen, dass diese von den OEMs selbst gefertigt werden. Volkswagen und BMW haben bereits eigene Fertigungsstätten aufgebaut und produzieren die Elektromotoren für BEVs selbst. Bei den Plug-in-Hybriden wird der Elektromotor meist zugekauft. [15]

Die Veränderung der Komponenten im Antriebsstrang verursacht nicht nur eine Verschiebung der Herstellungskosten, sondern auch eine Verschiebung bei den Fertigungstechnologien. Insbesondere zerspanende Verfahren, wie Drehen, Fräsen, Bohren und Schleifen werden bei Elektrofahrzeugen deutlich weniger benötigt. Fügende- und umformende Verfahren, wie Pressen, Ziehen, Biegen, Stanzen und Schweißen gewinnen an Bedeutung. [15]

Abschließend wird durch die Elektrifizierung die Komplexität der Komponenten reduziert. Ein Elektromotor setzt sich beispielsweise aus wesentlich weniger Einzelteilen zusammen als ein Verbrennungsmotor, siehe Abbildung 4.4. Ein konventioneller Verbrennungsmotor kann sich aus ca. 1200 bis 2000 Einzelteilen zusammensetzen, ein Elektromotor hingegen nur mehr aus 100 bis 200 Teilen.

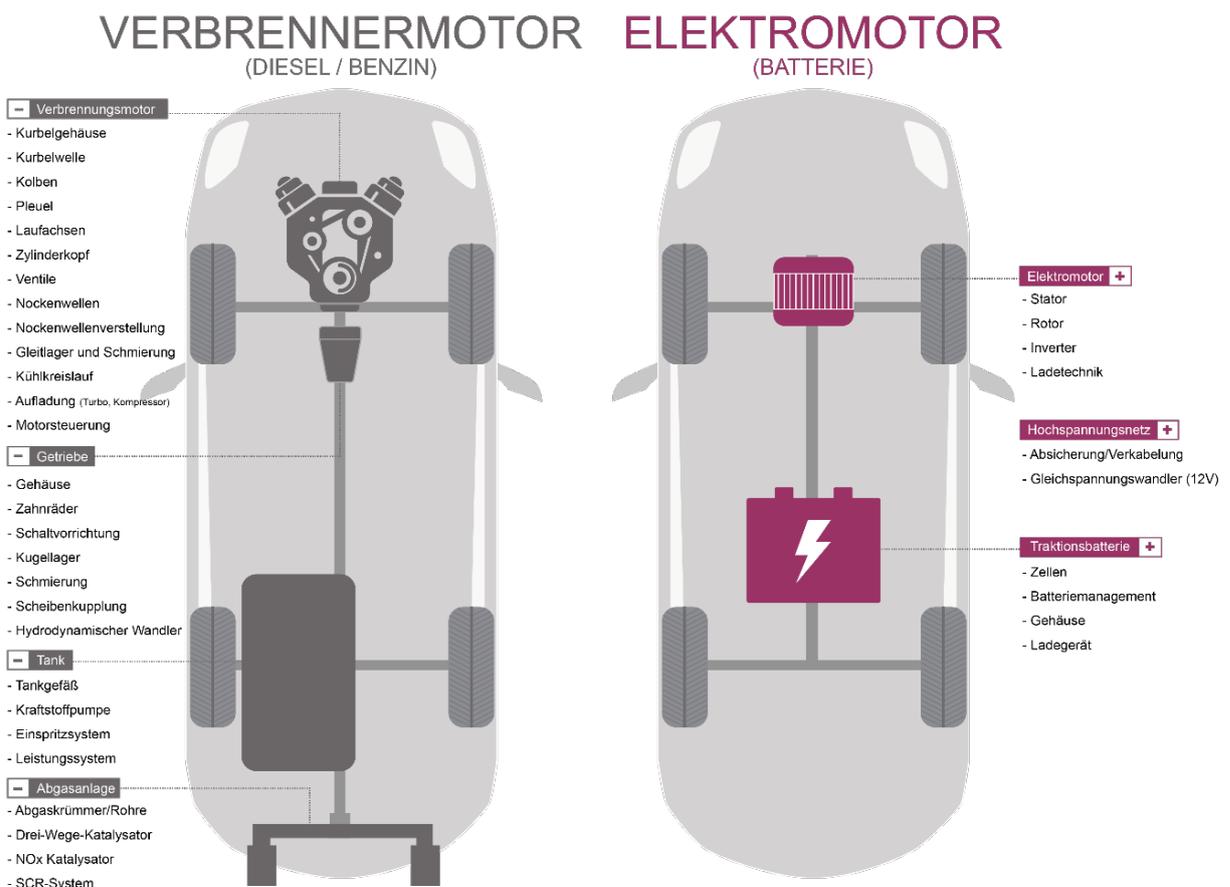


Abbildung 4.4: Komplexitätsreduktion vom Verbrenner- zum Elektromotor

Quelle: Kleebinder, Semmer, 2019

4.2 Antriebstechnologie: Verbrennerfahrzeuge

Trotz der strengeren Emissionsregulierungen [24], Einfahrbeschränkungen in über 250 europäischen Städten und möglichen zukünftigen Verboten von Verbrennern in großen EU-Städten, wie London, Amsterdam, Madrid, Paris und Brüssel [19] wird der Verbrenner weltweit bis 2030 und darüber hinaus ein wichtiger Teil der Strategie für Fahrzeughersteller sein. Ungeachtet dessen wird die Elektrifizierung der Antriebe weiter voranschreiten und besonders wegen der Plug-In Hybride behält der Verbrenner seine Bedeutung. Dennoch ist zu erwarten, dass dieser Markt in den kommenden Jahren an Stärke verliert.

Durch höhere Substituierungsquoten (Österreich 5,75%, Stand 2017 [50]) können auch BIO-Kraftstoffe dem Verbrenner helfen, umweltfreundlicher zu werden. Biokraftstoffe der zweiten Generation stehen nicht mehr in unmittelbarer Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion und können beispielsweise aus Pflanzenabfällen, landwirtschaftlichen Rückständen, Holzspänen und Altspeiseöl hergestellt werden. [35, 51, 52]. Neben BIO-Kraftstoffen werden synthetische Kraftstoffe gegenwärtig als Option für eine treibhausgasneutrale Mobilität diskutiert. [53] [54][55]

Exkurs: Synthetische Kraftstoffe

Sie können sowohl flüssig (Power-to-Liquid) als auch gasförmig (Power-to-Gas) hergestellt werden. Im ersten Schritt wird typischerweise Wasserstoffgas aus elektrischer Energie durch Elektrolyse erzeugt. Danach werden Wasserstoff und CO₂ zu Methanol verarbeitet. Daraus können Kraftstoffe mit ähnlichen Eigenschaften wie Diesel oder Benzin produziert werden. [52]

Unter dem Begriff E-Fuels werden synthetische Kraftstoffe klassifiziert, die aus grünem Strom und grünen Kohlenstoffquellen (z.B.: Biomasse oder Punktemissionen aus erneuerbarem Kohlenstoff) hergestellt wurden. Die Vorteile dieser künstlichen Kraftstoffe sind die Unabhängigkeit von fossilen Primärenergiearten, die Möglichkeit eines klimaneutralen Verbrennungsmotors, eine saubere Verbrennung mit höheren Verdichtungsverhältnissen und eine Reduktion der Energieabhängigkeit von instabilen Staaten. [53]

Herausforderungen bei der Einführung von E-Fuels:

- *Synthetische Kraftstoffe sind derzeit nicht attraktiv, da sie nicht als CO₂-Minderungsmaßnahme anerkannt werden. Einen positiven Beitrag zum Klimaschutz können sie nur leisten, wenn der CO₂ Ausstoß der Fahrzeuge dem zur Herstellung eingesammelten CO₂ entspricht und die Bindung und Emission innerhalb einer Generation erfolgt. Nur unter diesen Voraussetzungen können E-Fuels als klimaneutral gelten [54]. 2023 hat die EU Kommission, aufgrund einer Revisionsklausel, die eine Evaluierung der bestehenden Verordnung verlangt, die Möglichkeit, eine einheitliche Life-Cycle Methodik für CO₂ Emissionen zu erlassen. Dadurch könnte das CO₂, das bei der Produktion verwendet wird, angerechnet werden. [53]*
- *Die Produktion von E-Fuels wird durch den erheblichen elektrischen Energiebedarf, der über einen langen Zeitraum konstant zu Verfügung gestellt werden muss, erschwert. Eine Studie von PwC aus dem Jahr 2017 schätzt den zusätzlichen Energiebedarf in Deutschland auf 206%, in einem Szenario, bei dem alle deutschen Pkw's mit E-Fuels betrieben werden. [52]*

Verbrennerfahrzeuge können sowohl von flüssigen als auch von gasförmigen Kraftstoffen angetrieben werden. Für beide Systeme wurde ein Referenzfahrzeug entwickelt, das in den folgenden Kapiteln beschrieben wird.

4.2.1 Referenzfahrzeug 1: Verbrennungsmotor (Benzin/Diesel)

Verbrennungsmotoren haben in den letzten hundert Jahren weltweit eine große Verbreitung als Antrieb für Land- und Wasserfahrzeuge gefunden. Personen und Nutzfahrzeuge werden seitdem überwiegend von Benzin- und Dieselmotoren (Entwicklung: August Otto 1876 und Rudolf Diesel 1893) angetrieben.

Funktionsprinzip:

Trotz der vielfältigen Entwicklungsschritte und Optimierungen ist das Funktionsprinzip und der Grundaufbau von Verbrennerfahrzeugen seit deren Entwicklung gleichgeblieben. Kraftstoff wird im Verbrennungsmotor verbrannt, treibt mit einer komplexen Getriebeeinheit und Abgasnachbehandlung die Achsen an und setzt somit das Fahrzeug in Bewegung. [51]

Die Antriebe sind leichter und kleiner oder größer, leistungsstärker und betriebssicherer geworden, aber technisch wesentlich aufwendiger. Trotzdem ist es den Fahrzeugherstellern gelungen, die Motoren kostengünstig herzustellen und hohe Profite zu erzielen. Die Einführung von Hochdruck- und Common-Rail-Einspritzsystemen, ein- und zweistufiger Abgasturboaufladung sowie Downsizing und Downspeeding, ermöglichten eine bessere Kraftstoffeffizienz, geringere Schadstoffemissionen und ein niedrigeres Gewicht bei deutlich höherer Leistung.[51]

Wirkungsgrad:

Trotz dieser Entwicklungen ist der Verbrennungsmotor, im Vergleich zu alternativen Antrieben, nicht sehr effizient. Tank-to-Wheel Analysen beziehen sich auf die Umsetzung der Energie in Fahrzeugen von der Kraftstoffpumpe auf die Straße. Der Benzinmotor kann im Bestpunkt einen Wirkungsgrad von bis zu 35% erreichen, im instationären Fahrbetrieb (NEFZ Fahrzyklus) werden im Schnitt 20% erreicht. Der Dieselmotor erreicht im Bestpunkt ca. 45% und liegt im instationären Fahrbetrieb (NEFZ Fahrzyklus) bei ca. 28%. [49]

Für eine faire Analyse der Gesamteffizienz eines Antriebskonzepts muss jedoch die gesamte Energiekette untersucht werden. Diese Analyse wird als Well-to-Wheel, also von der Energiequelle bis zum Rad, bezeichnet. Der Gesamtwirkungsgrad wird dabei stark von der Energieproduktion beeinflusst. Bei Benzinmotoren liegt der Well-to-Wheel Wirkungsgrad zwischen 14% und 20%, der Dieselmotor erreicht noch 21% bis 26% Gesamtwirkungsgrad.

Nachteilig wirken sich auch die höheren Wartungskosten gegenüber den Elektrofahrzeugen und die immer mit lokalen Emissionen verbundene Verbrennung aus.

4.2.2 Referenzfahrzeuge 2: Verbrennungsmotor (Gas)

Der Gasmotor wurde 1858 von Étienne Lenoir noch vor dem Benzinmotor entwickelt. Gas wird in Fahrzeugen als Kraftstoff in Benzinmotoren verwendet. Dieser hat das gleiche Funktionsprinzip wie konventionelle Verbrennungsmotoren. Die höhere Klopfestigkeit (ROZ=130; Maß für die Neigung der unkontrollierten Verbrennung [56]) und die damit mögliche höhere Verdichtung bringen Vorteile bei Verbrauch und Leistung. Erdgas hat unter den fossilen Brennstoffen auch den geringsten Anteil an Kohlenstoff und den höchsten Wasserstoffanteil.

Dadurch werden bei der Verbrennung weniger Emissionen ausgestoßen. Besonders vorteilhaft ist die Rußfreiheit bei niedrigen Drehzahlen und hohen Drehmomenten sowie die Reduktion des CO₂ – Ausstoßes um 25%.

Heute erfährt Erdgas bei Fahrzeuganwendungen zunehmende Verbreitung, insgesamt jedoch mit niedrigem Wachstum. Ausnahme sind Länder wie beispielsweise China, Iran, Indien, Pakistan, Argentinien, Italien und Brasilien, [57] in denen Erdgasfahrzeuge und die benötigte Infrastruktur staatlich gefördert werden.

Gasfahrzeuge, die als Bifuel-Systeme ausgeliefert werden, besitzen einen Benzin- und einen Gastank. Beide Kraftstoffe können für die Verbrennung im Benzinmotor verwendet werden. Das volle Potential wird aufgrund der geringfügigen Adaption des Benzinbasmotors nicht erreicht. Bei Benzinmotoren, die mit CNG betrieben werden, ergibt sich ein ähnlicher Wirkungsgrad wie bei konventionellen Benzinmotoren.

Die vergleichsweise geringe Tankstellendichte stellt eine weitere Hürde für Gasfahrzeuge dar. In Österreich stehen ein Netz von 156 Erdgastankstellen (Stand: September 2019) [58] 2.699 konventionellen Zapfstellen gegenüber (Stand: Jänner 2019) [59]. In dieser Studie wurde ein Bifuel-System für das Referenzfahrzeug Verbrennungsmotor (Gas) definiert.

4.3 Referenzfahrzeug 3: Hybrid-Systeme

Ferdinand Porsche hat im Jahr 1900 den weltweit ersten Hybriden, die Lohner-Porsche-Kutsche, auf der Weltausstellung in Paris präsentiert. Laut Definition des europäischen Parlaments muss ein Hybridantrieb mindestens zwei verschiedene Energiewandler (z.B.: Benzinmotor u. Elektromotor) und zwei verschiedene Energiespeicher (z.B.: Kraftstoff u. Batterie) zu dessen Antrieb nutzen. [60] Ziel ist es, durch die Kombination der Antriebe, die Emissionen und den Energieverbrauch zu reduzieren.

Funktionsprinzip:

- Mikro-Hybride erfüllen die Funktionalitäten Start-Stopp und regeneratives Bremsen. Dazu wird die Generatorsteuerung im Fahrzeug angepasst. Der Generator arbeitet im Fahrbetrieb mit geringerer Leistung und erhöht die Leistung in Schubphasen, wie das Starten eines Motors. Die Räder des Fahrzeugs können damit nicht angetrieben werden. Laut Definition handelt es sich hierbei nicht um ein Hybrid-System.
- Mild Hybride verfügen über einen konventionellen und einen elektrischen Antriebsstrang. Beim Rollen und Bremsen wird der Elektromotor als Generator geschaltet und lädt Strom in eine 48V Batterie. Die gespeicherte Energie kann, unterstützend zum Verbrennungsmotor für beispielsweise Beschleunigungsvorgänge, zugeschaltet werden. Durch das permanente Mitschleppen des Verbrennungsmotors ist das rein elektrische Fahren mit diesem System nicht möglich.
- Voll-Hybride funktionieren ähnlich wie Mild-Hybride, allerdings ist der Elektromotor stark genug, das Fahrzeug über kurze Strecken (2-4 km) und mit langsamen Geschwindigkeiten (unter 50 km/h) rein elektrisch zu bewegen. Die Traktionsbatterie kann durch Rekuperation oder direkt durch den Verbrennungsmotor geladen werden.
- Plug-In-Hybride Electric Vehicles (PHEV) verwenden ebenfalls einen konventionellen Antriebsstrang mit Kraftstofftank sowie einen elektrischen Antriebsstrang mit Traktionsbatterie. Im Gegensatz zum Voll-Hybrid wird eine größere Batterie verbaut, welche nicht nur durch Rekuperation geladen werden kann, sondern auch extern, durch den Anschluss an das Stromnetz. Die Hauptenergiequelle bleibt der chemische Kraftstoff (z.B.: Benzin), die rein elektrische Reichweite beträgt zwischen 30 und 70 km, abhängig von der Batteriekapazität. Plug-in-Hybride fahren zunächst elektrisch, bevor der Verbrenner übernimmt.

- Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung oder Range Extender Electric Vehicle (REEV) können ebenfalls am Stromnetz aufgeladen werden. Im Unterschied zu PHEV besteht keine mechanische Verbindung zwischen Verbrennungsmotor und Rädern. Der konventionelle Antrieb dient lediglich zur Aufladung der Traktionsbatterie. Die Traktion erfolgt ausschließlich über den elektrischen Antriebsstrang.

In dieser Studie wurde ein PHEV für das Referenzfahrzeug Hybrid-Systeme definiert.

Hybrid-Systeme verbinden Vorteile und Nachteile von Batteriefahrzeugen und Verbrennerfahrzeugen. Das Auto kann mittels elektrischer Antriebe leise, lokal emissionsfrei und sparsam fahren, mit Strom aus der Batterie. Der Verbrennungsmotor (meist Benzinmotor) ermöglicht die Erhöhung der Reichweite, wenn die Batterie leer ist.

Auf der anderen Seite stehen die Nachteile. Vor allem die enorme Komplexität durch die zwei integrierten, voll funktionsfähigen, Antriebssysteme und die daraus resultierenden hohen Herstellungskosten. Auch die deutliche Steigerung des Fahrzeuggewichts senkt die Reichweite und erhöht somit den Verbrauch.

PHEVs spielen für die Fahrzeughersteller eine wichtige Rolle für die CO₂-Flottenemissionen. Hybrid-Systeme werden bei den in Kapitel 3.1.2 beschriebenen Testzyklen durch die Berechnung des CO₂-Anteils bevorzugt behandelt. Diese Fahrzeuge dürfen den Testzyklus mehrmals fahren. Gestartet wird mit voll aufgeladener Batterie und so oft wiederholt, bis die Batterie leer ist. Anschließend erfolgt noch eine Messung mit leerer Batterie, bei der die Antriebsenergie ausschließlich vom Verbrennungsmotor und der Bremsenergieerückgewinnung stammt. Aus diesen beiden Messungen werden mittels eines Faktors der CO₂-Ausstoß und der Wirkungsgrad berechnet.

4.4 Antriebstechnologie: Elektrofahrzeuge

Herausforderungen des Kraftfahrzeugverkehrs sind im Wesentlichen der große Flächenbedarf, Staus, Unfälle sowie die Gesundheitsgefährdung durch die Emissionen von Luftschadstoffen und Lärm. Die hohe Konzentration von Einwohnern, Arbeitsplätzen und öffentlichen Einrichtungen in der Stadt stehen in Zusammenhang mit dem großen Verkehrsaufkommen. Die Folge sind verkehrsbedingte Schadstoffe und bedenklich hohe Konzentrationen, die fast ausschließlich in Städten auftreten. [61]

Staus, Unfälle und der große Flächenbedarf können nicht durch alternative Antriebskonzepte gelöst werden. Dafür wird ein Strukturwandel hin zu alternativen Mobilitätsdiensten benötigt, beschrieben in Kapitel 3.2.

Elektrofahrzeuge haben jedoch das Potential, die Luftschadstoffe und den Lärm erheblich zu senken. Elektromotoren produzieren weder lokale Emissionen noch Lärm. [15] Elektrofahrzeuge benötigen aber elektrische Energie zum Aufladen der Batterie oder für die Erzeugung von Wasserstoff. Ob diese Energie aus erneuerbaren Energiequellen, wie Wasser, Wind, Solar und Biomasse stammt, entscheidet über die Nachhaltigkeit und Umweltfreundlichkeit des Antriebs.

Wirkungsgrade für die Energieerzeugung:

Die Well-to-Tank Analyse gibt Aufschluss über den Wirkungsgrad der Energieerzeugung (wie viel Energie z.B. bei der Stromerzeugung verloren geht). Die Erzeugung von Strom erfolgt, je nach Verfahren, bei Wirkungsgraden zwischen 15 und 90%. [49] In Ländern, die Strom großteils aus Kohlekraftwerken oder fossilen Energieträgern erzeugen, verschlechtert sich der Wirkungsgrad. Der Wirkungsgrad für den durchschnittlichen EU Strommix liegt bei ca. 48%, mit dem österreichischen Strommix wird ein Well-to-Tank Wirkungsgrad von 76% erreicht. [49]

Die Wirkungsgrade der Wasserstoffherstellung aus Elektrolyse ergeben für den EU Strommix ca. 38% und für den österreichischen Strommix etwa 61%. [49] Abgeleitet daraus ist die Energiewende, hin zu einer nachhaltigen Energiewirtschaft, eine zentrale Forderung der Elektromobilität.

Elektrofahrzeuge werden im Wesentlichen in batteriebetriebene Elektrofahrzeuge (BEV) und Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV) eingeteilt.

Die Betrachtung der Zukunftschancen von Elektromobilität muss ganzheitlich erfolgen. Dabei sind alle Verkehrsarten und Distanzbereiche zu untersuchen und im Hinblick auf ihre Anforderungen an die Elektromobilität zu charakterisieren. [15] In Zukunft werden beide Technologien nebeneinander koexistieren. Batteriebetriebene Elektrofahrzeuge sind hocheffizient bei kurzen Strecken und niedrigen Lasten. Dem gegenüber steht die Brennstoffzelle mit ihrer Stärke bei hohen Reichweiten und Lasten. Abbildung 4.5 zeigt die idealen Einsatzgebiete beider Technologien. [62]

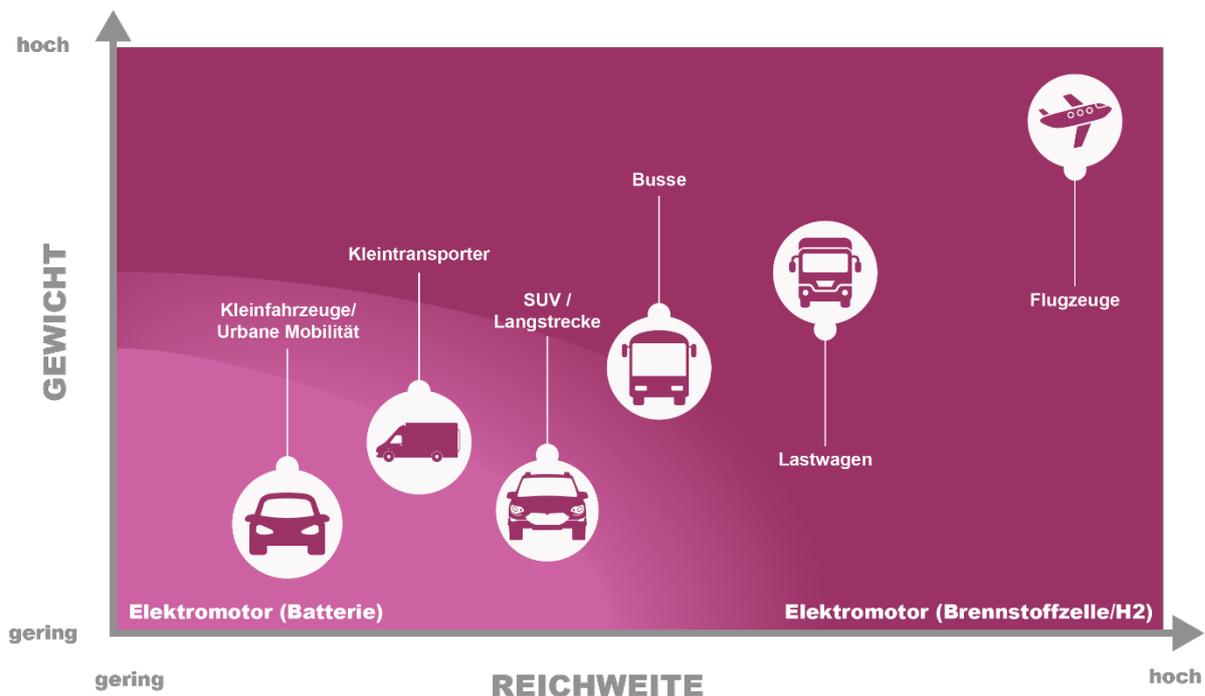


Abbildung 4.5: Einsatzgebiete von Batterie und Brennstoffzelle

Eigene Darstellung auf Basis von [62]

Für das Referenzfahrzeug Elektromotor (Batterie) wurde ein Batterie Electric Vehicle (BEV), also ein rein batteriebetriebenes Elektrofahrzeug definiert. Elektromotor (Brennstoffzelle/H₂) steht für ein bereits im Markt erhältliches Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV), also ein Brennstoffzellen-Fahrzeug, das Wasserstoff als Brennstoff verwendet.

4.4.1 Referenzfahrzeug 4: Elektromotor (Batterie)

Gustave Trouvé stellte 1881 auf der Elektrizitätsmesse „Exposition Internationale d'Électricité“ in Paris das erste batteriebetriebene Elektrofahrzeug vor. Im Jahr 1900 gab es in den USA neben 1.688 Dampf-Automobilen bereits 1.575 Elektroautos und nur 929 Fahrzeuge mit Benzinmotor. [63] 120 Jahre haben fast alle Automobilhersteller BEVs wieder in ihr Fahrzeugsortiment aufgenommen, es handelt sich also dabei nicht um eine Neuerung, sondern um eine Wiederentdeckung.

Funktionsprinzip:

Der Elektromotor wird bei Bedarf von der Traktionsbatterie mit elektrischer Energie gespeist. Der Motor erzeugt daraufhin eine Drehbewegung und überträgt diese auf die Fahrzeugachse und in weiterer Folge auf die Räder. Einer der wichtigsten Komponenten ist die Traktionsbatterie. Sie ist nicht nur das größte und schwerste Bauteil, sondern auch das teuerste mit ca. 51% des Nettokaufpreises. Durch chemische Prozesse kann Energie gespeichert und bei Bedarf wieder freigesetzt werden. Die Kapazität der Batterie bestimmt, welche Strecke sie ohne Ladevorgang zurücklegen kann. Je nach Kapazität wird die Reichweite heutiger E-Autos wie Renault Zoe, Nissan Leaf, VW e-Golf oder Tesla Model S von den Fahrzeugherstellern mit rund 130 bis 430 km angegeben. Abhängig von Fahrweise, Topographie, Witterung, Außentemperatur und Nutzung von Radio, Licht und Lüftung können sich kürzere Reichweiten ergeben.

Wirkungsgrad:

Tank-to-Wheel Analysen beziehen sich auf die Umsetzung der Energie in Fahrzeugen, von der Ladestation auf die Straße. Das batteriebetriebene Elektrofahrzeug kann im Bestpunkt einen Wirkungsgrad von über 85% erreichen, im nichtstationären Fahrbetrieb (NEFZ Fahrzyklus) werden im Schnitt zwischen 60 und 75% erreicht. [49]

Bei BEVs sinkt der Well-to-Wheel Wirkungsgrad mit dem EU Strommix auf ca. 32%. Mit dem österreichischen Strommix ist ein Gesamtwirkungsgrad von ca. 50% möglich.

4.4.2 Referenzfahrzeug 5: Elektromotor (Brennstoffzelle/H₂)

Die Brennstoffzelle ist die älteste der verglichenen Antriebstechnologien. Christian Friedrich Schönbein entdeckte das Funktionsprinzip der Brennstoffzelle bereits 1838. Der Physiker und Jurist Sir William Robert Grove konnte bereits im darauffolgenden Jahr die erste Brennstoffzelle entwickeln. Bis heute hat sie es nicht geschafft, sich als alternative Antriebstechnologie zu etablieren. Neueste Initiativen von Politik und Fahrzeugherstellern (Toyota und Hyundai) ermöglichen ein Comeback der Brennstoffzelle bis 2030.

Funktionsprinzip:

Der Antrieb von Elektromotor (Brennstoffzelle/H₂) besteht aus Brennstoffzelle, Wasserstofftank, Batterie, Spannungswandlern, Elektromotor und einem Übersetzungsgetriebe. Es wird grundsätzlich zwischen dem dominanteren Brennstoffzellenantrieb und dem Range Extender Antrieb unterschieden. In der vorliegenden Studie wurde der Brennstoffzellenantrieb für das Referenzfahrzeug Elektromotor (Brennstoffzelle/H₂) definiert.

Beim Brennstoffzellenantrieb wird der Fahrleistungsbedarf mit einer Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzelle abgedeckt. Die Batterie wird in dieser Ausführung nur für die Rückgewinnung der Bremsenergie und der Leistungsunterstützung bei Beschleunigungen genutzt. Die Energiezufuhr erfolgt durch die Betankung von Wasserstoff.

Wirkungsgrad:

Tank-to-Wheel Analysen beziehen sich auf die Umsetzung der Energie in Fahrzeugen von der Kraftstoffpumpe auf die Straße. Das Brennstoffzellenfahrzeug kann im Bestpunkt einen Wirkungsgrad von über 65% erreichen, im nichtstationären Fahrbetrieb (NEFZ Fahrzyklus) werden im Schnitt zwischen 40 und 55% erreicht. [49][49].

Bei FCEV sinkt der Well-to-Wheel Wirkungsgrad durch den hohen Energieaufwand mit dem EU Strommix auf ca. 22%. Mit dem österreichischen Strommix ist ein Gesamtwirkungsgrad von ca. 34% möglich. Das entspricht einem höheren Wirkungsgrad als bei den Verbrennungsmotoren. [49]

Wasserstoff:

Wasserstoff (H_2) ist mit einer Häufigkeit von über 90% das mit Abstand am häufigsten im Universum vorkommende Element. Auf der Erde tritt Wasserstoff am häufigsten in Verbindung mit Sauerstoff auf, und zwar in Form von Wasser (H_2O). Heute werden ca. 95% des gesamten Wasserstoffs aus fossilen Kohlenwasserstoffen hergestellt und nur zu 5% aus Wasser durch Elektrolyse. Das einzige emissionsfreie Herstellungsverfahren von Wasserstoff ist die elektrochemische Wasserspaltung in der Elektrolyse, wenn der benötigte Strom aus Wind-, Wasser- oder Sonnenenergie stammt. Die größte Herausforderung bei der Herstellung von grünem Wasserstoff ist der hohe Strombedarf. Eine Studie von PwC aus dem Jahr 2017 schätzt den zusätzlichen Energiebedarf in Deutschland auf 66%, in einem Szenario, bei dem alle deutschen Pkw's mit grünem Wasserstoff betrieben werden. [53]

5 Definition der Antriebs-Szenarien 2030

Eine der besten Möglichkeiten, die Zukunft abzuschätzen, ist in Alternativen zu denken. In diesem Kapitel wurden zu diesem Zweck vier Szenarien entwickelt, welche die Verteilung der Antriebstechnologien im Jahr 2030 prognostizieren. Auf Basis eines Real-Szenarios, welches auf Grundlage der heutigen Entwicklungen das wahrscheinlichste Szenario ist, wurden drei weitere Alternativ-Szenarien mit unterschiedlicher Elektrifizierungs-Geschwindigkeit entwickelt. Das vorliegende Kapitel beschreibt diese Szenarien und deren wichtigste Treiber.

Grundlage der Studie ist die Entwicklung von belastbaren Mobilitätsszenarien, insbesondere auf Basis von internationalen Marktanalysen, Studienanalysen und unabhängiger Experteninterviews. Angesichts der Unsicherheiten und volatiler Märkte ist ein Denken in möglichen Alternativen der beste Weg, einen Blick in die Zukunft zu werfen. Prämisse ist dabei Technologie-Offenheit. Der inhaltliche Schwerpunkt liegt auf dem Thema Entwicklungspfade im Bereich der Antriebstechnologien, auf Basis der in Kapitel 4 beschriebenen Referenzfahrzeuge:

- Verbrennungsmotor (Benzin/Diesel)
- Verbrennungsmotor (Gas)
- Hybrid-Systeme
- Elektromotor (Batterie)
- Elektromotor (Brennstoffzelle/H₂)

In den Szenarien werden Plug-In-Hybrid Electric Vehicle (PHEV) und Range Extender Electric Vehicle (REEV) zu den Marktanteilen der Hybrid-Systeme gerechnet. Mikro-, Mild-, und Voll-Hybride werden dem Verbrennungsmotor (Benzin/Diesel) zugeordnet.

Das Ziel dieses Kapitels ist es, mögliche Entwicklungen der Antriebstechnologien bis 2030 zu analysieren und entsprechende Zusammenhänge aufzuzeigen. Zu diesem Zweck werden (zusätzlich zum Basis-Szenario, welches einen unveränderten Mix der Antriebstechnologien zu 2018 vorsieht) vier Szenarien entwickelt. Diese Szenarien sind die Grundlage für die darauf aufbauende Untersuchung hinsichtlich makroökonomischer Effekte, ausgedrückt in Wertschöpfungs- und Beschäftigungswirkungen (Kapitel 6) sowie der daraus abgeleiteten Maßnahmen und Handlungsempfehlungen (Kapitel 7).

Im Wesentlichen gilt es, Antworten auf die folgenden zwei Fragen zu generieren:

1. Wohin geht die Reise? und
2. Was bedeutet das für die Automobilwirtschaft in Österreich?

Die Marktanteile der unterschiedlichen Antriebskonzepte basieren auf deren Anteilen an den jährlichen Fahrzeugneuzulassungen.

Konventionelle Verbrenner, Mikro-Hybride, Mild-Hybride, Voll-Hybride, Plug-in-Hybride, Range Extender, batterieelektrische und Brennstoffzellen-Fahrzeuge werden nebeneinander koexistieren. Der Anteil der verwendeten Antriebstechnologie wird von Region zu Region - beispielsweise zwischen Europa, China und den USA - schwanken. In China wird es in Zukunft einen größeren Anteil an Elektrofahrzeugen geben als in den USA und Europa. Obgleich die Approximationen der Märkte nach wie vor sehr

instabil sind, ist eines dennoch klar: Alle bedeutenden Marktstudien sagen eine signifikant steigende Verbreitung von elektrifizierten Antriebssträngen in den kommenden Jahren voraus. Zusätzlich werden sich Übergangstechnologien, wie beispielsweise Hybrid-Systeme und gasförmige Verbrennungsfahrzeuge etablieren, bis der Wandel zu reinen Elektrofahrzeugen abgeschlossen ist. Dies führt dazu, dass der Verbrennungsmotor in den nächsten Jahren weiterhin einen großen Marktanteil besitzen wird.

In einem ersten Schritt wurde ein Basis-Szenario entwickelt, welches die Ausgangslage 2018 beschreibt und die Grundlage der Szenarien im Jahr 2030 darstellt. In einem weiteren Schritt wurde auf Basis der Entwicklungen und Megatrends, beschrieben in Kapitel 3, das Real-Szenario für die Verteilung der Antriebskonzepte im Jahr 2030 abgeleitet. Darauffolgend wurde das Real-Szenario um drei weitere alternative Szenarien mit unterschiedlichen Elektrifizierungsgeschwindigkeiten ergänzt.

Abbildung 5.1 zeigt die Zusammenfassung der entwickelten Szenarien. Diese werden in den folgenden Kapiteln im Detail beschrieben. Die Szenarien unterscheiden sich hinsichtlich der Geschwindigkeit der Elektrifizierung, welche sich in den unterschiedlichen Anteilen der untersuchten Antriebstechnologien widerspiegelt.



Abbildung 5.1: Darstellung des Basis-Szenarios 2018 und der Szenarien für die Verteilung der Antriebstechnologien 2030

5.1 Basis-Szenario

Auf Grundlage einer globalen Marktanalyse für das Jahr 2018 wurde folgende Verteilung der Antriebstechnologien ermittelt: Im Jahr 2018 dominierten Verbrennungsmotoren (Benzin/Diesel) mit 94,38% aller neu zugelassenen Fahrzeuge. Verbrennungsmotoren (Gas) erreichen 3,10% des globalen Fahrzeugmarkts. Elektromotoren (Batterie) haben mit 1,71% einen mehr als doppelt so großen Anteil wie Plug-In-Hybride mit 0,82%. Die Elektromotoren (Brennstoffzelle/H₂) haben 2018 noch keine Marktrelevanz und werden daher in Abbildung 5.2 nicht berücksichtigt.

Fazit: Elektrofahrzeuge haben trotz des globalen starken Wachstums von ca. 79%, und zwar von 2017 mit ca. 0,76 Mio. verkauften Fahrzeugen auf 1,36 Mio. in 2018, noch keine große Marktrelevanz [4, 18]. Die etablierten Fahrzeughersteller erzielten 2018 weiterhin ihre Umsätze mit konventionellen Verbrennerfahrzeugen. Interessant sind die hohen Investitionen der Fahrzeughersteller in Elektromobilität, wie beispielsweise VW mit 30 Mrd. Euro von 2018 bis 2022 [64].

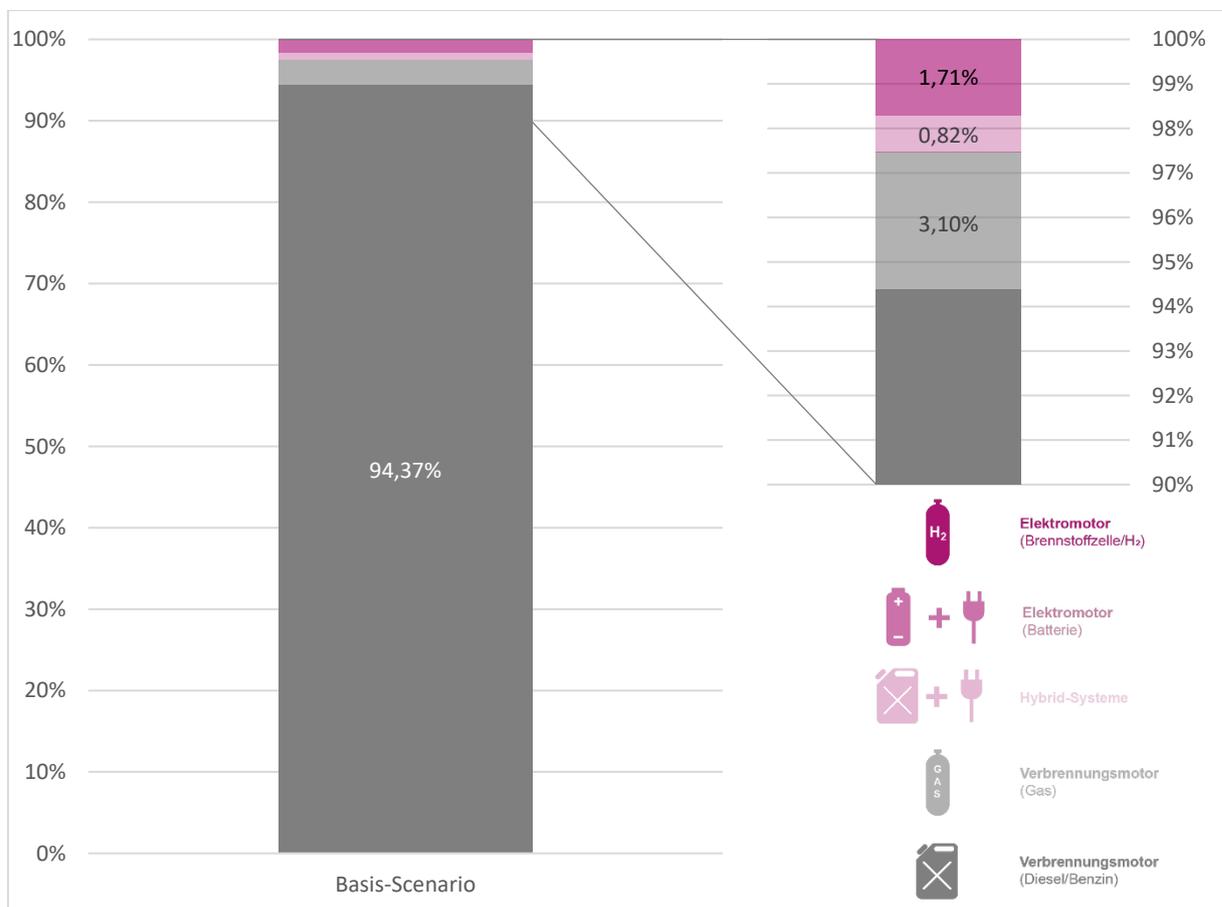


Abbildung 5.2: Darstellung des Basis-Szenarios (Verteilung der Antriebstechnologien 2018)

Quelle: Kleebinder, Semmer, 2019

5.2 Real-Szenario

Das Real-Szenario beschreibt die wahrscheinlichste Entwicklung der Antriebstechnologien im Markt für das Jahr 2030 und basiert auf folgenden Annahmen und Eckpunkten:

Wichtigste Treiber der Elektrifizierung

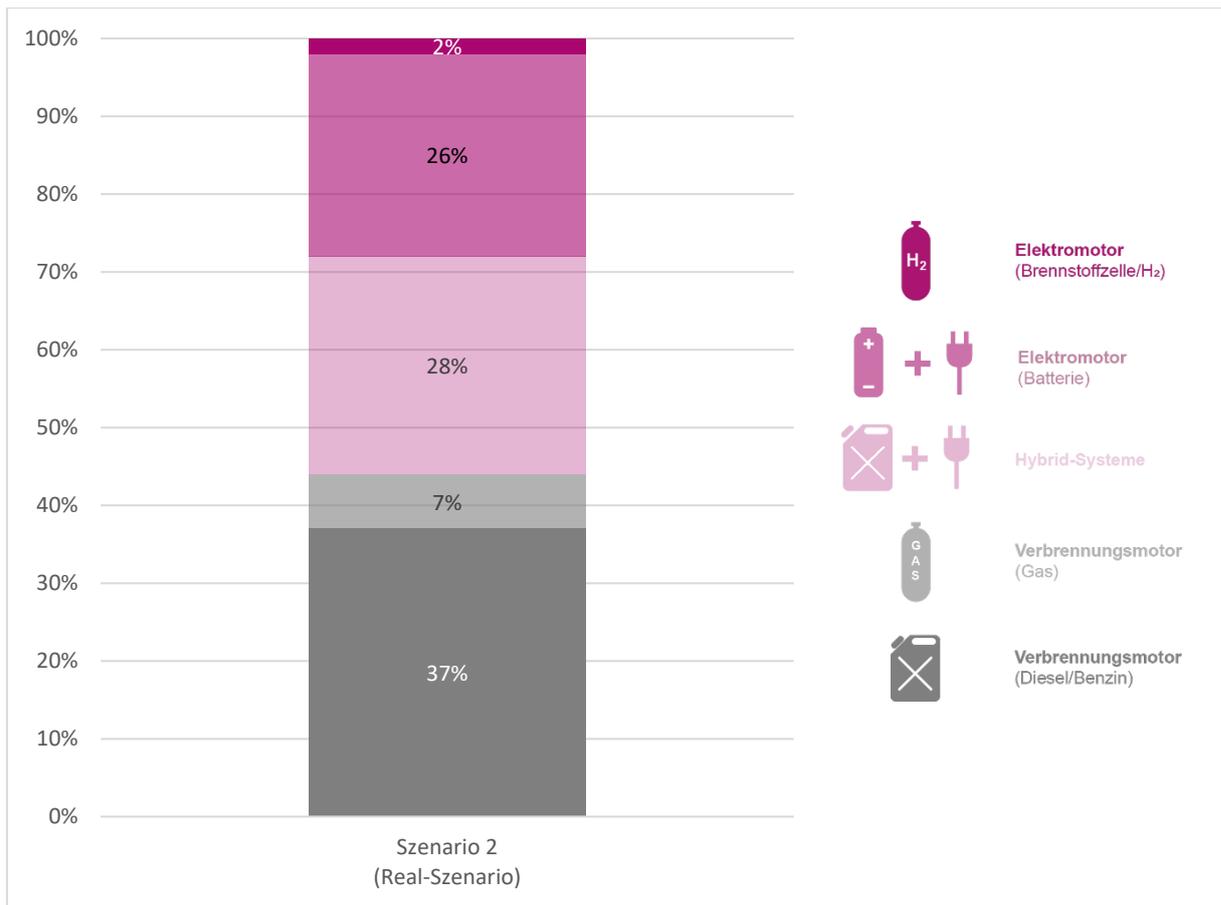
- Die restriktiven CO₂-Gesetzgebungen, beschrieben in Kapitel 3.1.2, die in Zukunft nicht ohne alternative Antriebe zu erreichen sind, und die daraus folgenden Strafzahlungen bei Verstößen, sind einer der Treiber des Wandels. Bis Ende 2022 können Niedrigemissionsfahrzeuge (unter 50 g CO₂/km) mit einem Faktor mehrfach in die Flottenbilanz des Herstellers eingerechnet werden. Diese neue Verordnung gibt den Unternehmen mehr Zeit, sich umzustellen und die Möglichkeit, eventuelle Strafzahlungen zu reduzieren.
- Maßnahmen auf öffentlicher Ebene zur Reduzierung von Verkehrsemissionen: Stadtfahrverbote, Einfahrbeschränkungen oder ein Zulassungsstopp für Fahrzeuge, die mit Diesel oder Benzin angetrieben werden, wie Schweden ab 2031 angekündigt hat.
- Förderungen für Endkunden, wie beispielsweise Anschaffungsprämien, bevorzugtes Parken in den Innenstädten und steuerliche Anreize für umweltfreundliche Antriebe.
- Konsumenten profitieren in den nächsten Jahren von der größeren Auswahl an BEVs. Viele angekündigte elektrische Fahrzeugmodelle werden erst in den nächsten Jahren angeboten.
- China, als einer der Vorreiter der Elektromobilität und als größter weltweiter Fahrzeugmarkt, treibt die Elektromobilität stark voran. Marktanalysen und Experten gehen davon aus, dass 2030 in China ein Anteil von 50% an rein batterieelektrischen Fahrzeugen erreicht wird.

Wichtigste Hürden der Elektrifizierung

- Für Kunden der kostensensiblen Segmente A (Kleinstwagen), B (Kleinwagen) und C (Mittelklasse) sind die erhöhten Anschaffungskosten von Elektrofahrzeugen, im Vergleich zu Verbrennern, abschreckend. Mikro- und Mild-Hybride stellen aufgrund ihres guten Kosten-Nutzen-Verhältnisses eine Alternative dar, wie beispielsweise der Skoda Fabia mit einem Einstiegspreis von 13.240 Euro. Durch Skaleneffekte der Massenproduktion und Förderungen für den Konsumenten kann in Zukunft das Kosten-Nutzen-Verhältnis der Elektrofahrzeuge verbessert werden.
- Die Tank- und Ladeinfrastruktur für Fahrzeuge mit alternativen Antrieben ist, verglichen mit dem konventionellen Tankstellennetz, noch im Aufbaustadium.
- Hybrid-Systeme besitzen eine höhere Komplexität als reine Verbrenner- oder Elektrofahrzeuge und verursachen dadurch auch deutlich höhere Kosten für die Fahrzeughersteller. Die Systeme werden bei den Emissionstestzyklen durch die Berechnung des CO₂-Anteils bevorzugt und helfen damit, die strengen Emissionsgrenzen zu erreichen.

Auf Basis von 93,4 Mio. verkauften Fahrzeugen bleiben 2030 die Verbrennungsmotoren (Benzin/Diesel + Gas) mit einem Anteil von insgesamt 42% und 41,1 Mio. verkauften Fahrzeugen die größte Gruppe, verlieren jedoch ihre Marktdominanz. Verbrennungsmotoren (Gas) können ein Wachstum auf 7% verzeichnen und sich neben Hybrid-Systemen als Übergangslösung platzieren. Insgesamt werden 6,54 Mio. Verbrennungsmotoren (Gas) verkauft werden. Hybrid-Systeme erreichen 28% Marktanteil, das entspricht 26,15 Mio. Fahrzeugen im Jahr 2030. Elektromotoren (Batterie) verzeichnen ein starkes Wachstum und einen Marktanteil von 26% und 24,28 Mio. verkauften Fahrzeugen. Elektromotoren (Brennstoffzelle/H₂) haben mit 2% noch einen kleinen Marktanteil.

Fazit: Verbrennerfahrzeuge werden zurückgedrängt, bleiben aber die größte Gruppe. Der Strukturwandel von Industrie und Infrastruktur ist geschafft. Elektromotoren (Batterie + Brennstoffzelle/H₂) erreichen in Summe einen Marktanteil von 28% und sind in der breiten Gesellschaft angekommen. Verbrennungsmotor (Gas) und vor allem Hybride haben sich als Übergangslösung etabliert.



**Abbildung 5.3: Darstellung des Real-Szenarios
(Verteilung der Antriebstechnologien 2030)**

Quelle: Kleebinder, Semmer, 2019

5.3 Szenario 1 – langsame Elektrifizierung

In diesem alternativen Szenario gelten dieselben Annahmen wie im Real-Szenario. Die Geschwindigkeit, mit der die Elektrifizierung bis 2030 stattfindet, verlangsamt sich jedoch deutlich.

Verbrennungsmotoren (Benzin/Diesel + Gas) erreichen einen Marktanteil von 76%. Micro- und Mild-Hybride dominieren den Markt. Hybrid-Systeme, die aufgeladen werden können, erreichen nur mehr 15% Marktanteil mit 14 Mio. verkauften Fahrzeugen. Elektromotoren (Batterie + Brennstoffzelle/H₂) erreichen insgesamt einen Marktanteil von 9% und 8,4 Mio. verkauften Fahrzeugen.

Fazit: Der Strukturwandel hin zu Elektromobilität ist noch nicht gelungen. Die Infrastruktur ist nur zu einem geringen Teil ausgebaut, und auch die Fahrzeughersteller konnten den Modell- und Produktionswandel nicht vollziehen. Der Konsument hat das Elektrofahrzeug noch nicht akzeptiert und bevorzugt weiterhin Verbrennerfahrzeuge. In diesem Szenario müssen die meisten Fahrzeughersteller hohe Strafzahlungen leisten, wenn synthetische Kraftstoffe nicht als klimaneutral anerkannt und die Emissionsgrenzen nicht eingehalten werden. Elektromotor (Brennstoffzelle/H₂) erreicht trotz der langsamen Elektrifizierung 1% Marktanteil, da bereits mehrere Modelle, wie beispielsweise von Toyota und Hyundai, in den Märkten angeboten werden.

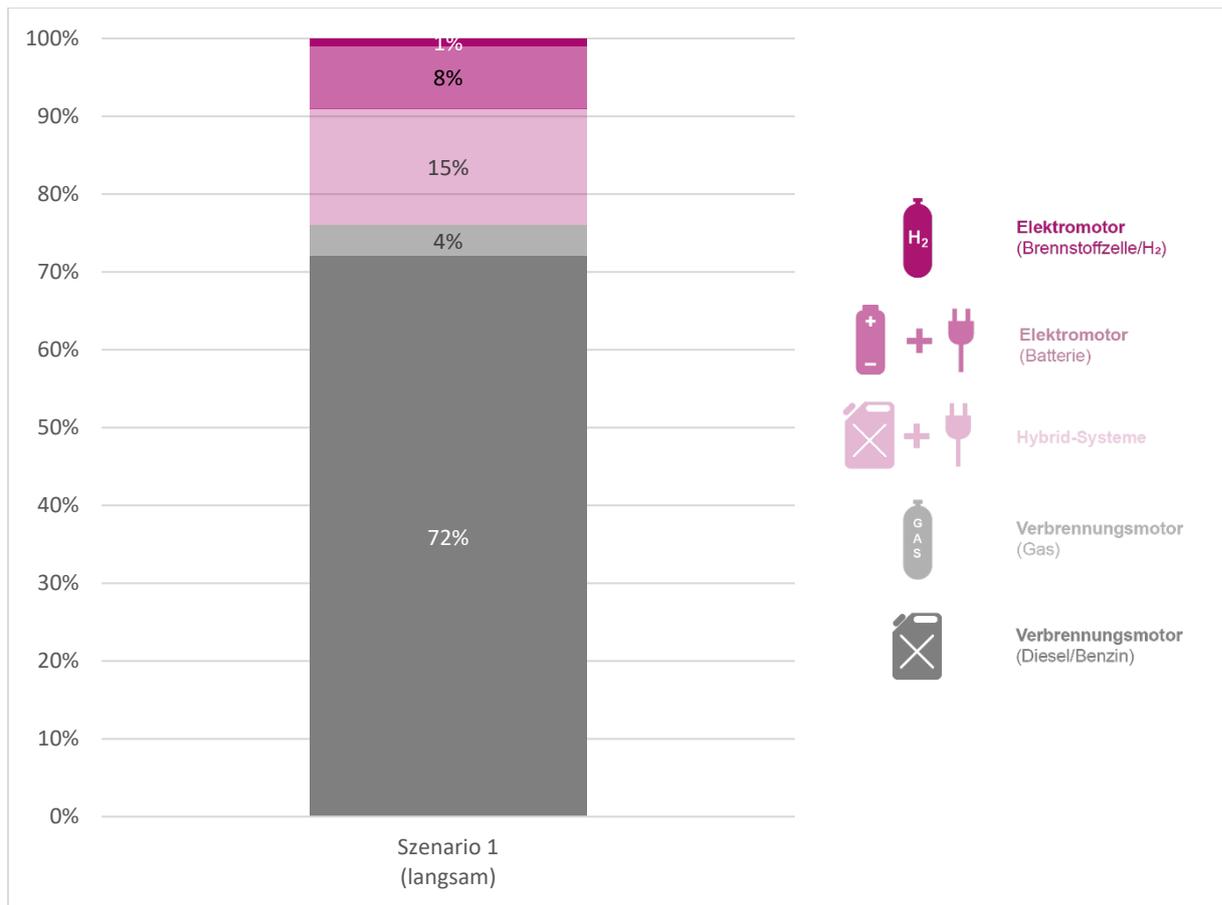


Abbildung 5.4: Darstellung von Szenario 1 / langsame Elektrifizierung (Verteilung der Antriebstechnologien 2030)

Quelle: Kleebinder, Semmer, 2019

5.4 Szenario 3 – schnelle Elektrifizierung

In diesem alternativen Szenario gelten dieselben Annahmen wie im Real-Szenario. Die Geschwindigkeit, mit der die Elektrifizierung bis 2030 stattfindet, ist jedoch schneller als im Real-Szenario angenommen.

Die Verbrennungsmotoren (Benzin/Diesel + Gas) werden zurückgedrängt und erreichen nur mehr 33% Marktanteil, das entspricht 30,82 Mio. verkaufte Fahrzeuge. Verbrennungsmotoren (Gas) können ihren Marktanteil von 7% verteidigen. Hybrid-Systeme müssen weniger Wachstum als im Real-Szenario hinnehmen und erreichen nur mehr einen Marktanteil von 21%. Die Elektromotoren (Batterie) haben die Verbrenner als größte Gruppe abgelöst und erreichen 42% Marktanteil mit 39,23 Mio. verkauften Einheiten. Auch Elektromotoren (Brennstoffzelle/H₂) haben sich erfolgreich am Markt mit 4% und 3,74 Milo. verkauften Fahrzeugen positioniert.

Fazit: Alternative Antriebe wurden sowohl von der Industrie als auch von den Konsumenten angenommen. Die Verbrennungsmotoren (Benzin/Diesel + Gas) und Hybrid-Systeme halten insgesamt noch 54% Marktanteil, d.h. auch bei einer schnellen Elektrifizierung spielt der Verbrennungsmotor noch eine wichtige Rolle. Durch die starke Elektrifizierung der Fahrzeugflotten können die meisten Fahrzeughersteller Strafzahlungen vermeiden. Die Infrastruktur für Elektromotoren (Batterie) ist voll ausgebaut. In diesem Szenario sind Elektrofahrzeuge für den größten Teil am Umsatz der OEMs verantwortlich.

Die Infrastruktur der Wasserstofftankstellen hat sich bis 2030 stärker als im Real-Szenario vergrößert und mehrere Fahrzeughersteller bringen neue Brennstoffzellenfahrzeuge auf den Markt.

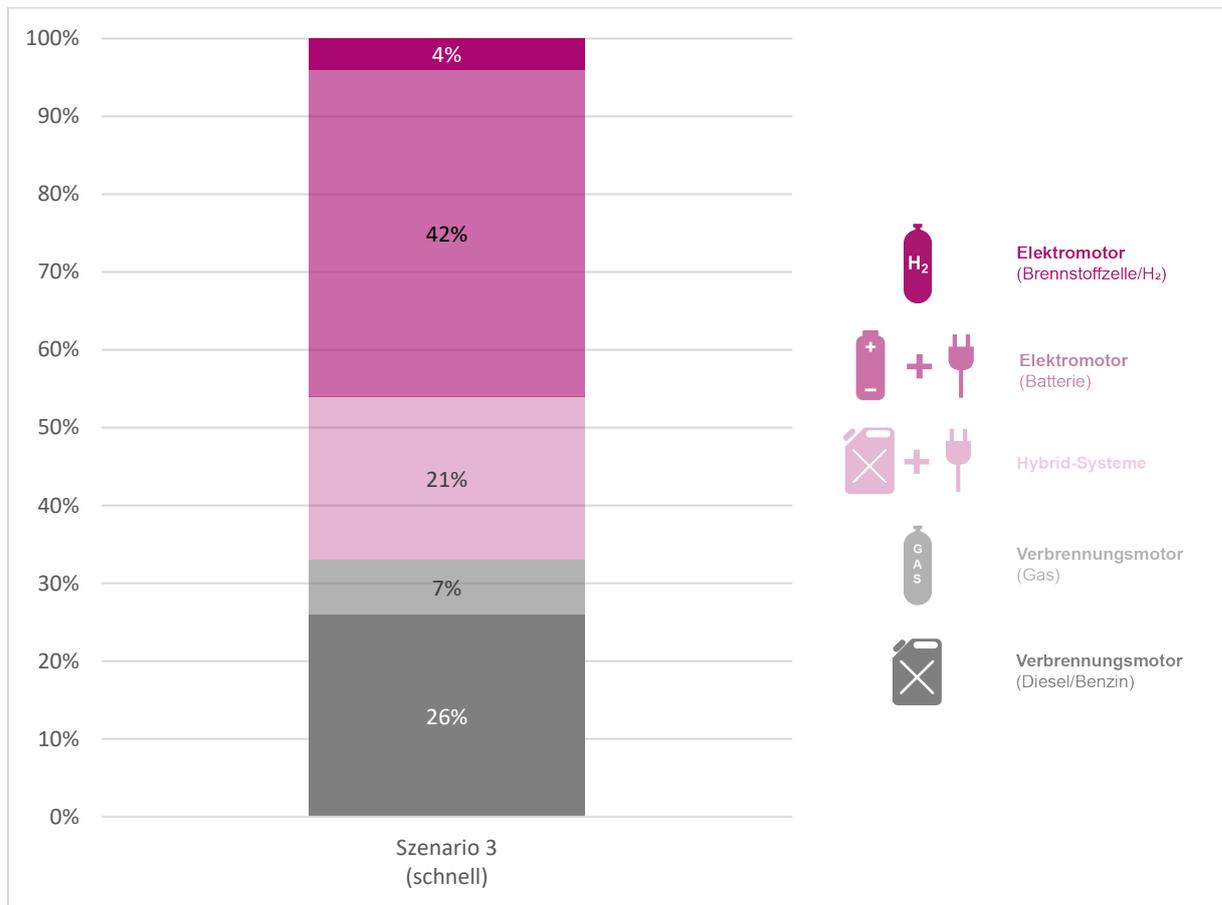


Abbildung 5.5: Darstellung von Szenario 3 / schnelle Elektrifizierung (Verteilung der Antriebstechnologien 2030)

Quelle: Kleebinder, Semmer, 2019

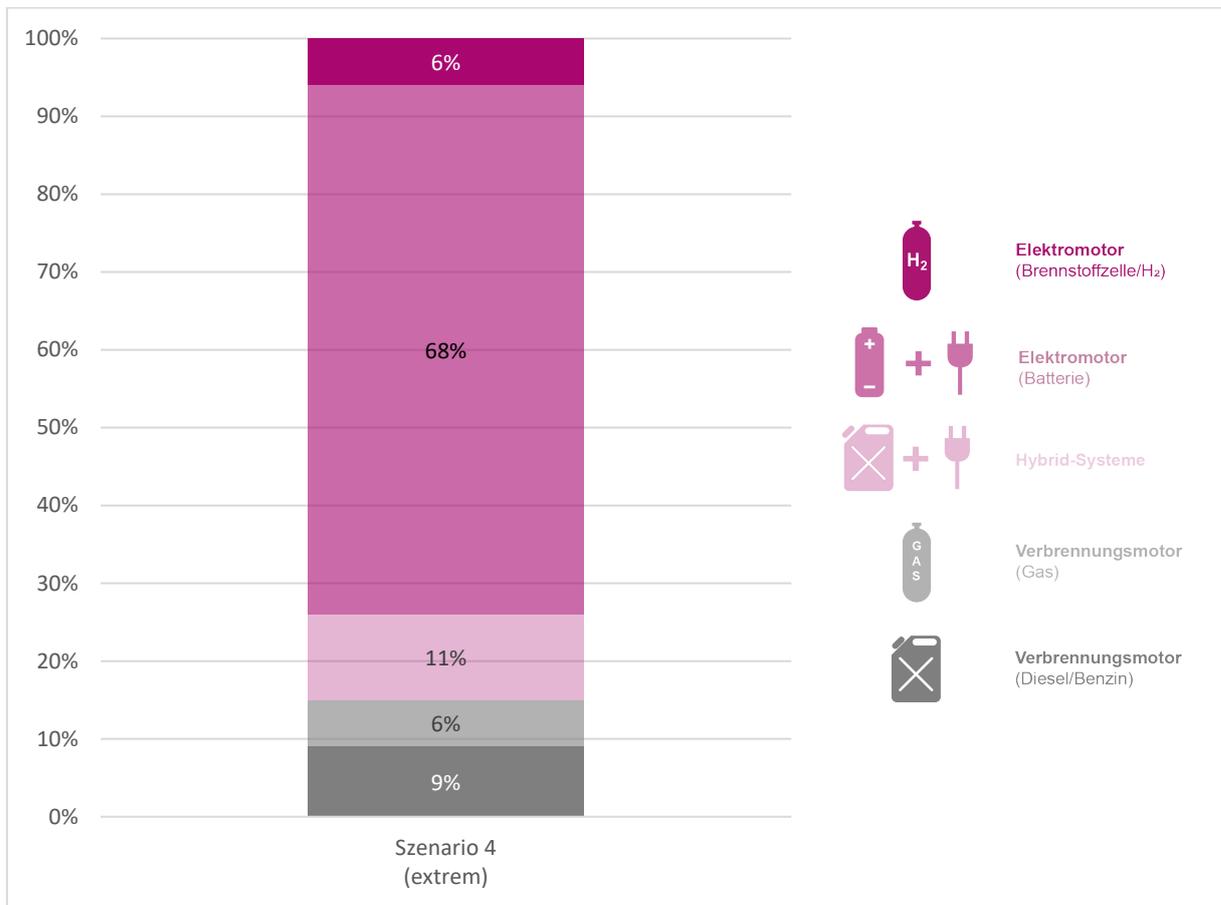
5.5 Szenario 4 – extreme Elektrifizierung

In diesem alternativen Szenario gelten dieselben Annahmen wie im Real-Szenario. Die Geschwindigkeit, mit der die Elektrifizierung bis 2030 stattfindet, ist jedoch signifikant höher als im Real-Szenario angenommen.

Verbrennungsmotoren (Benzin/Diesel + Gas) verlieren ihre Bedeutung und werden auf 15% Marktanteil mit 14 Mio. verkauften Einheiten zurückgedrängt. Auch Hybrid-Systeme erreichen keine große Marktdurchdringung mit 11%. Mit 68% dominieren Elektromotoren (Batterie) dieses Szenario mit 63,51 verkauften Einheiten. Elektromotoren (Brennstoffzelle/H₂) gelingt die Etablierung auf dem Markt mit 6% und 5,60 Mio. verkauften Fahrzeugen.

Fazit: Die Verbrennungsmotoren verlieren gänzlich ihre Bedeutung und werden zum Nischenprodukt. Fahrzeughersteller produzieren fast nur noch Elektrofahrzeuge und verzichten gänzlich auf die Weiterentwicklung des Verbrenners. Die starke und schnelle Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen könnte die Infrastruktur überlasten und zu hohen Investitionen für Ladestationen führen. Auch der hohe Energiebedarf der Elektrofahrzeuge muss durch einen konsequenten Netzausbau gedeckt

werden. Elektromotoren (Brennstoffzelle/H₂) haben sich erfolgreich als Alternative positioniert und werden durch kontinuierlichen Netzausbau und Anschaffungsprämien gefördert.



**Abbildung 5.6: Darstellung von Szenario 4 / extreme Elektrifizierung
(Verteilung der Antriebstechnologien 2030)**

Quelle: Kleebinder, Semmer, 2019

In den vorangegangenen Kapiteln wurde zuerst der Status-Quo der österreichischen Automobilwirtschaft im Jahr 2018 analysiert. Die Bedeutung dieses Wirtschaftszweigs für die 314.106 Beschäftigten und für die Wertschöpfung in Österreich ist unbestritten. Im Folgenden wurden die dominantesten Automobil-Megatrends und die neue, entscheidende Rolle von China in der Automobilindustrie, analysiert. Zusätzlich wurden fünf Referenzfahrzeuge mit unterschiedlichen Antriebstechnologien definiert und deren Herstellungskosten ermittelt. Die Basis für die im nächsten Kapitel beschriebenen wirtschaftlichen Auswirkungen auf die Automobilwirtschaft in Österreich bilden Antriebs-Szenarien, welche die Marktanteile der Antriebstechnologien im Jahr 2030 prognostizieren.

6 Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Automobilwirtschaft 2030

Um die Risiken und Chancen des Strukturwandels in der österreichischen Automobilwirtschaft abschätzen und in zielgerichtete Maßnahmen und Handlungsempfehlungen überleiten zu können, bedarf es zunächst der Quantifizierung der ökonomischen Auswirkungen, die mit den vier definierten Szenarien im Jahr 2030 zu erwarten sind. Analog zu den Berechnungen für 2018 sollen daher in diesem Kapitel die Wertschöpfungs- und Beschäftigungsbeiträge der Automobilwirtschaft und -industrie für alle Szenarien berechnet und einander gegenübergestellt werden.

6.1 Methodik

Um abschätzen zu können, welchen wirtschaftlichen Beitrag die Automobilwirtschaft in Österreich im Jahr 2030 leisten wird, bedarf es weit mehr als nur einer Abschätzung der künftigen Nachfrage und einer Übersetzung in Wertschöpfungs- und Beschäftigungsgrößen. Methodisch handelt es sich dabei um eine komplexe Aufgabe, gilt es doch, den Wandel – weg vom Verbrennungsmotor hin zum Elektromotor – in die Input-Output-Tabellen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung zu übersetzen.

Dies erfolgt im **ersten Schritt** auf technologischer Ebene, zunächst ausschließlich für die Automobilindustrie, welche durch den Sektor 29 (Herstellung von Kraftwagen und -teilen) repräsentiert wird. So wird der Input-Output-Tabelle, die bereits auf das Jahr 2018 (als Ausgangspunkt aller Berechnungen) aktualisiert wurde, für jede der fünf Antriebstechnologien eine eigene Spalte und Zeile hinzugefügt, wobei zunächst die Wertschöpfungskomponenten und Vorleistungskoeffizienten definiert und daraus die technischen Koeffizienten abgeleitet werden.

Im **zweiten Schritt** werden diese Spalten und Zeilen an die sich ändernden Außenhandelsverflechtungen (insbes. der Importe) angepasst, um zu berücksichtigen, welche Komponenten weiterhin im Inland bezogen und welche weiterhin oder zusätzlich importiert werden müssen.

Im **dritten Schritt** erfolgt das Fortschreiben der erweiterten Input-Output-Tabelle auf 2030, wobei vor allem auch die sich ändernde Nachfrage Berücksichtigung findet.

Erst im **vierten Schritt** werden diese Anpassungen für jede Antriebstechnologie separat ökonomisch übersetzt, ausgedrückt in Beiträgen zum Bruttoproduktionswert, zur Wertschöpfung und zur Beschäftigung. Zunächst wird dies für die Automobilindustrie (Sektor 29) durchgeführt, in weiterer Folge für alle Sektoren der Automobilwirtschaft, die – abhängig von der betrachteten Antriebstechnologie – (teilweise) ebenfalls stark betroffen sind. Auch kommt es zu minimalen Ergänzungen der Definition, da auch jene Branchen berücksichtigt werden müssen, die Fahrzeugkomponenten produzieren, welche bisher (vorwiegend beim Verbrennungsmotor) nicht verwendet wurden, aber bei Elektroantrieben benötigt werden.

Im **fünften und letzten Schritt** werden diese Ergebnisse, entsprechend dem Mix der Antriebstechnologien, wie sie in den definierten Szenarien unterstellt werden, zusammengeführt. Hinsichtlich der Preise wird – zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse – auf Preisbasis 2018 gerechnet.

Anzumerken ist, dass im Rahmen dieser Studie die ersten vier Schritte für jede einzelne Antriebstechnologie (vgl. Kapitel 4, Antriebstechnologie) separat durchgeführt wurden. Der Vorteil dieser Vorgehensweise besteht darin, dass für das Jahr 2030, neben dem Basis-Szenario (definiert als Antriebstechnologien-Mix des Jahres 2018; d.h. es käme bis 2030 zu keiner weiteren Elektrifizierung), nicht nur die vier vorab definierten Szenarien (vgl. Kapitel 5, Szenarien) berechnet werden können, sondern darüber hinaus jedes beliebige, als Linearkombination der fünf Antriebstechnologien denkbare, Szenario quantifiziert werden kann. Das Modell gestaltet sich somit flexibel, wenn es darum geht, z.B. aktuelle und künftige Entwicklungen zu berücksichtigen, die von den getroffenen Annahmen abweichen können. Darüber hinaus lässt es auch einen Ausblick auf Extrem-Szenarien zu, wenn beispielsweise nur eine einzige Antriebstechnologie vorherrschend wäre. Auch wenn es sich dabei nur um Gedankenexperimente handelt, lassen sich aus diesen Ergebnissen dennoch wertvolle Rückschlüsse für mögliche Maßnahmen und Handlungsempfehlungen ableiten. Überhaupt ist das Modell so gestaltet, dass diverse Simulationsrechnungen ermöglicht werden. So ist das Modell in der Lage, mit verhältnismäßig geringem Aufwand abzubilden, wie sich beispielsweise konkrete Förderungen der Produzenten oder Konsumenten auswirken, ob und wie sich ein Brexit in wirtschaftlichen Zahlen niederschlägt oder ob und wie Strafzölle die heimische Automobilwirtschaft schädigen.

6.2 Effekte nach Antriebstechnologie

Von welcher Antriebstechnologie gehen die größten Effekte auf Bruttoproduktionswert, Beschäftigung und Wertschöpfung aus? Und bei welchen Antriebstechnologien sind Österreichs Unternehmen (noch) nicht gut aufgestellt?

Bevor in Kapitel 6.3 und 6.4 auf die einzelnen Szenarien – und damit auf einen jeweils unterschiedlichen Mix an Antriebstechnologien – eingegangen wird, soll in diesem Kapitel ein kurzer, vergleichender Blick auf die Effekte gerichtet werden, die mit den einzelnen Antriebstechnologien verbunden sind. Dabei wird unterstellt, dass jeweils nur eine Antriebstechnologie die gesamte Nachfrage abdecken müsste. Da sich die Antriebstechnologie im Wesentlichen in der Automobilindustrie und erst in weiterer Folge (aber weniger stark) in anderen Sektoren auswirkt, soll der Fokus auf den Sektor der Herstellung von Fahrzeugen und -teilen gelegt werden.

6.2.1 Bruttoproduktionswert

Im Folgenden werden Extremszenarien angenommen, in welchen die für das Jahr 2030 prognostizierte Nachfrage nach Fahrzeugen durch jeweils nur eine Antriebstechnologie bedient werden müsste (d.h. 100% Verbrennungsmotor (Benzin/Diesel) ODER 100% Elektromotor (Batterie) usw.). Dann käme man im Hinblick auf den Bruttoproduktionswert zum Ergebnis, dass man in Österreich mit Hybrid-Systemen sowohl im direkten Effekt (unmittelbar in der Fahrzeugindustrie), als auch im Gesamteffekt (inklusive indirekter und induzierter Effekte) den höchsten Beitrag erzielen würde. Hier wären insgesamt 35,3 Mrd. Euro an Bruttoproduktionswert zu erwarten, wobei der Multiplikator mit knapp 1,39 ebenfalls den höchsten Wert aufweisen würde. Den insgesamt geringsten Wert würde man mit dem Verbrennungsmotor (Benzin/Diesel) erzielen: hier würde der gesamte Bruttoproduktionswert mit 26,8 Mrd. Euro knapp ein Viertel unter dem Wert der Hybrid-Systeme liegen. Da in diesem Fall die Zahl der benötigten Vorleistungen höher und die Importe etwas geringer sind als bei den Elektromotoren, erreicht der Multiplikator mit 1,34 aber einen ähnlich hohen Wert.

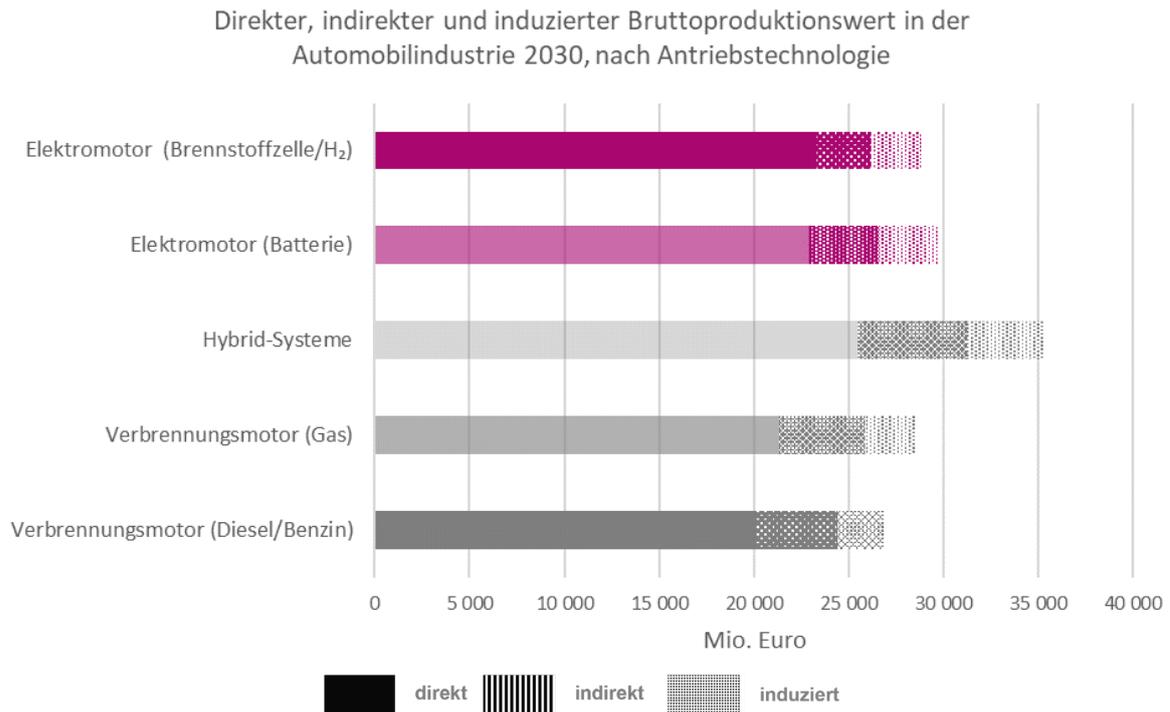


Abbildung 6.1: Bruttoproduktionswert (direkt, indirekt und induziert) in der Automobilindustrie 2030, im Vergleich der Antriebstechnologien

Quelle: Council 4, 2019

Bedingt durch relativ hohe Importe, was wiederum zu geringeren indirekten Effekten führt, weisen der Elektromotor (Batterie) mit einem Multiplikator von 1,30 und der Elektromotor (Brennstoffzelle/H₂) mit einem Multiplikator von 1,24 die niedrigsten Werte auf.

6.2.2 Bruttowertschöpfung

Ein gänzlich anderes Bild zeigt sich, wenn man auf die volkswirtschaftlich aussagekräftigere Kennzahl, nämlich die Bruttowertschöpfung abstellt. Hier wären die größten direkten Effekte dann zu erwarten, wenn Verbrennungsmotoren (Benzin/Diesel) künftig die einzige Antriebstechnologie wären. Im Gesamteffekt würden die Hybrid-Systeme, mit einer Wertschöpfung von 6,8 Mrd. Euro, knapp vor den Verbrennungsmotoren (Benzin/Diesel bzw. Gas) mit jeweils 6,4 Mrd. Euro liegen.

Deutlich abgeschlagen sind die Elektromotoren (Batterie bzw. Wasserstoff/H₂), mit einer gesamten Wertschöpfung von 5,0 und 5,1 Mrd. Euro. Während beim Bruttoproduktionswert die höheren Verkaufspreise positiv zu Buche schlagen, zeigt sich hier, dass diese Preise vor allem zur Abdeckung der kostenintensiven (und zu großen Teilen importierten) Vorleistungen benötigt werden. Die Wertschöpfungskomponenten Gewinn und Personalausgaben sind hingegen deutlich geringer als bei vergleichbaren Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren oder Hybrid-Systemen.

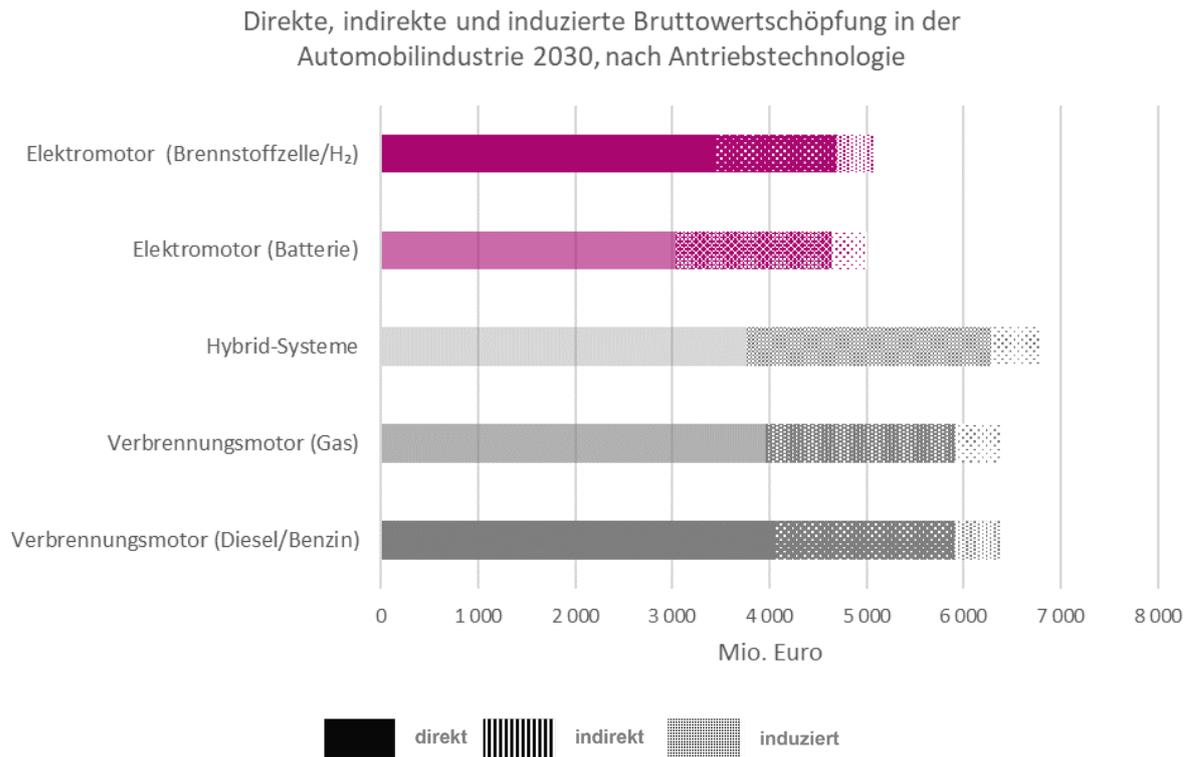


Abbildung 6.2: Bruttowertschöpfung (direkt, indirekt und induziert) in der Automobilindustrie 2030, im Vergleich der Antriebstechnologien

Quelle: Council 4, 2019

6.2.3 Beschäftigung

Ein ähnliches, wenn auch nicht ganz so stark ausgeprägtes, Bild zeigt sich bei den Beschäftigungseffekten, die mit den einzelnen Antriebstechnologien verbunden sind. Auch hier gehen von den Hybrid-Systemen, mit knapp 71.000 Arbeitsplätzen, die größten Effekte aus, gefolgt vom Verbrennungsmotor (Gas) und dem Verbrennungsmotor (Benzin/Diesel) mit 62.500 und 61.800 geschaffenen und abgesicherten Jobs. Mit knapp 52.000 und 49.000 Arbeitsplätzen liegen die Elektromotoren, in Hinblick auf den Aufwand an Humanressourcen, deutlich hinter den Verbrennungsmotoren.

Auch bei den Beschäftigungsmultiplikatoren zeigt sich, dass vor allem der Elektromotor (Brennstoffzelle/H₂), mit einem Wert von 1,79, deutlich geringere Effekte beim Rest der österreichischen Wirtschaft besitzt als die anderen Antriebstechnologien, die alle einen Wert über 2 aufweisen können.

Fazit:

Im direkten Vergleich der Antriebstechnologien zeigt sich, dass für Österreich, hinsichtlich Wirtschaftskraft (Wertschöpfung) und Beschäftigung, die größten Effekte mit der Übergangstechnologie der Hybrid-Systeme und mit Verbrennungsmotoren erzielt werden können. Noch nicht ausreichend gut aufgestellt ist man im Hinblick auf die zunehmende Elektrifizierung, sodass die Risiken jedenfalls darin liegen, dass von den Unternehmen nicht rasch genug auf den Strukturwandel reagiert wird. So, wie Österreichs Unternehmen derzeit aufgestellt sind, kann man den Ergebnissen der definierten Szenarien bereits insoweit vorgreifen, als die zu erwartenden negativen Effekte umso höher ausfallen

werden, je schneller die Elektrifizierung stattfinden wird. Zwar gibt es bereits eine Vielzahl an Unternehmen, die sich schon auf die neuen Technologien ausgerichtet haben, dennoch gilt für alle anderen, dass mehrere tausend Arbeitsplätze und Wertschöpfung in Milliardenhöhe auf dem Spiel steht.

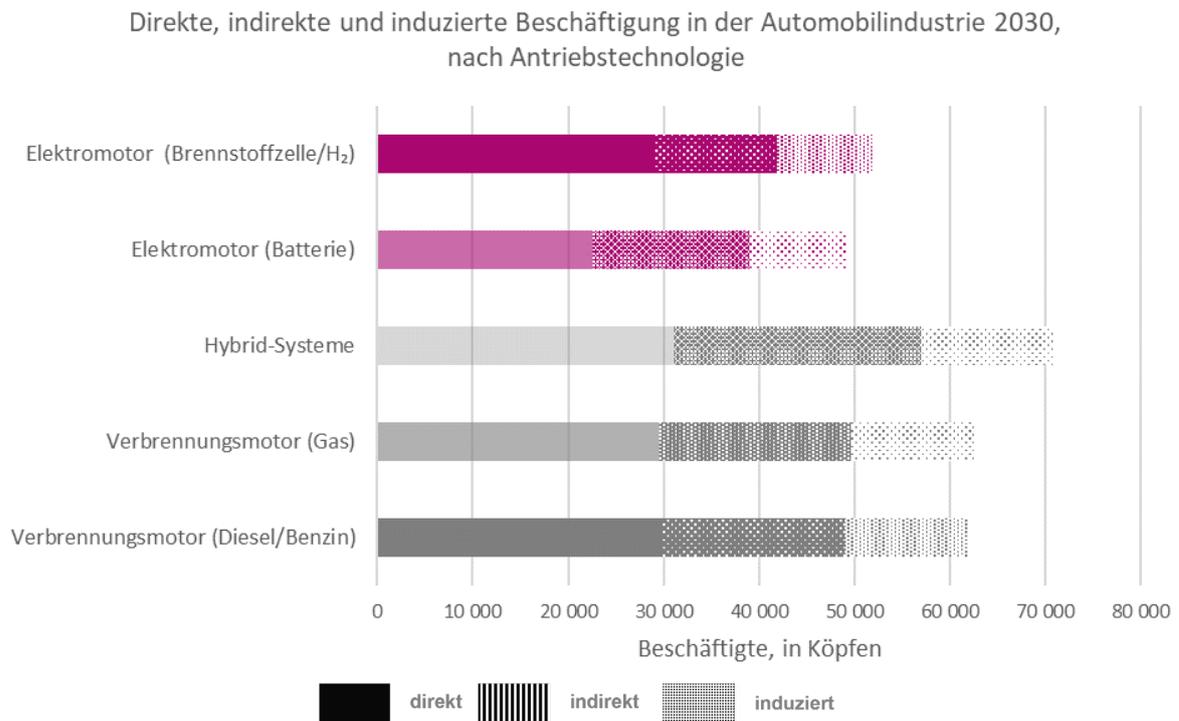


Abbildung 6.3: Beschäftigung (direkt, indirekt und induziert) in der Automobilindustrie 2030, in Köpfen, im Vergleich der Antriebstechnologien

Quelle: Council 4, 2019

6.3 Basis- und Real-Szenario

Um festzustellen, wie sich künftig die zunehmende Elektrifizierung der Fahrzeuge auf Österreichs Automobilwirtschaft auswirken wird, bedarf es eines Referenzpunktes, zu welchem hin die Veränderung gemessen werden kann. Diesen Bezugspunkt stellt das sogenannte **Basis-Szenario** dar, welches unterstellt, dass es – ausgehend vom Jahr 2018 – zu keinen technologischen Veränderungen kommt. Der Mix der Antriebstechnologien bleibt daher, wie im Jahr 2018, bei 94,38% Verbrennungsmotor (Benzin/Diesel), 3,1% Verbrennungsmotor (Gas), 0,82% Hybrid-Systemen und 1,71% Elektromotor (Batterie). Natürlich wird auch im Basis-Szenario die Nachfragekomponente für 2030 angepasst, um einen fairen Vergleich mit den anderen Szenarien zu gewährleisten.

Da das **Real-Szenario** als das derzeit wahrscheinlichste Szenario für 2030 gilt, soll es in diesem Kapitel im Detail analysiert und den Ergebnissen des Basis-Szenarios gegenübergestellt werden. Szenario 1, 3 und 4 folgen derselben Logik und werden daher nur im Rahmen des Szenarien-Vergleichs von Kapitel 6.4 abgehandelt.

6.3.1 Bruttoproduktionswert

Grundlage aller weiteren Berechnungen bildet – wie bereits zuvor für das Basisjahr 2018 – der Bruttoproduktionswert, als Wert aller produzierten Güter und Dienstleistungen in Österreich. Das betriebswirtschaftliche Äquivalent zum Bruttoproduktionswert stellt in etwa der Umsatz dar.

Ausgewiesen wird stets der zu erwartende Gesamteffekt, als Summe der direkten, indirekten und induzierten Effekte der Automobilwirtschaft bzw. -industrie.

Bei einem unveränderten Mix der Antriebstechnologien (Basis-Szenario) wäre im Jahr 2030 ein Bruttoproduktionswert von 82 Mrd. Euro für die Automobilwirtschaft zu erwarten. Mit dem sich ändernden Mix des Real-Szenarios würde sich der Bruttoproduktionswert um 2,5 Mrd. Euro auf 84,58 Mrd. Euro erhöhen, was einem Plus von 3,1% entspricht. Dieses Plus entfällt im Wesentlichen auf die Automobilindustrie, welche einen Zuwachs von 11,5% verbuchen kann.

6.3.2 Bruttowertschöpfung

Während sich der Bruttoproduktionswert, bedingt durch höhere Herstellungskosten und Verkaufspreise für Fahrzeuge mit Elektromotor, positiv entwickeln würde, wäre hinsichtlich der Wirtschaftskraft (ausgedrückt in Wertschöpfung), ein Minus von 1,7%, verglichen mit dem Basis-Szenario, zu verzeichnen. So würde die gesamte Wertschöpfung von 31,57 Mrd. Euro auf 31,04 Mrd. Euro sinken. Für die Automobilindustrie fällt das Minus mit 3,9% besonders stark aus, was auf teure Vorleistungskomponenten im Bereich der Elektromotoren (die großteils auch importiert werden müssen) zurückgeführt werden kann, aber auch auf geringeren Personalaufwand (und damit verbunden geringere Personalausgaben, als Komponente der Wertschöpfung) durch eine geringere Komplexität der Produktion.

6.3.3 Beschäftigung

Der geringere Grad der Komplexität in der Produktion spiegelt sich natürlich auch bei den Beschäftigungseffekten wider. Insgesamt würde die Automobilwirtschaft 1,5% der Arbeitsplätze (verglichen mit dem Basis-Szenario) verlieren, das in absoluten Zahlen gut 6.000 Jobs entspricht. Weniger stark fällt der Effekt in der Automobilindustrie aus: hier wären mit dem Strukturwandel 1,2% aller Jobs gefährdet, was wiederum darauf schließen lässt, dass vor allem in den verbundenen Sektoren (insbes. Reparatur) Arbeitsplätze verloren gingen.

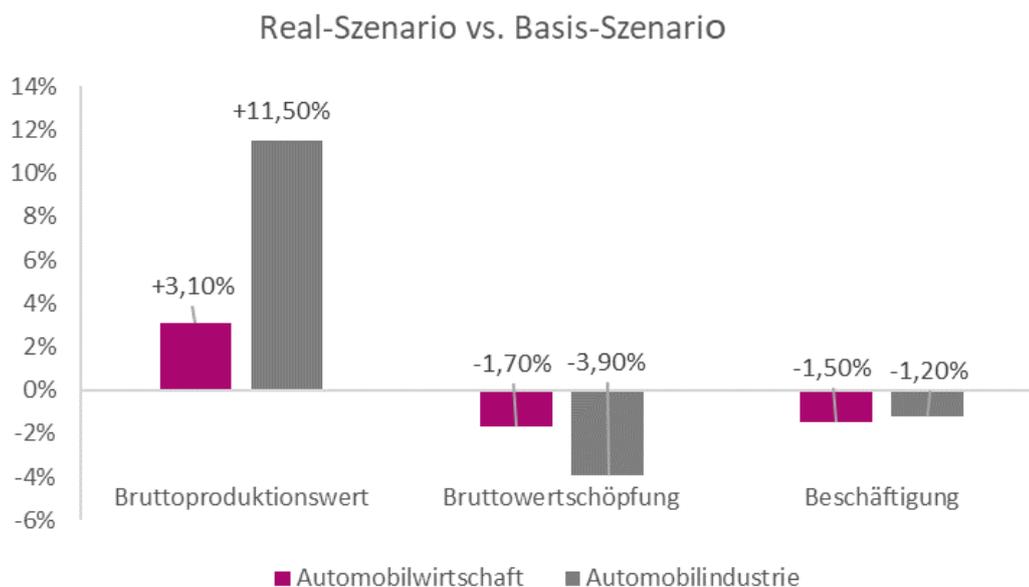


Abbildung 6.4: Real-Szenario vs. Basis-Szenario, prozentuelle Veränderung der Ergebnisse

6.4 Vergleich der Szenarien

6.4.1 Bruttoproduktionswert

Auf den ersten Blick fällt der Vergleich der Szenarien 1 bis 4 mit dem Basis-Szenario überraschend positiv aus (Abbildung 6.5): in allen vier Szenarien würde die Elektrifizierung zu einem Plus beim Bruttoproduktionswert führen, welches im Real-Szenario (Szenario 2), mit 84,6 Mrd. Euro und +3,1%, am stärksten ausfallen würde. Auf den zweiten Blick verwundert dies aber nicht, da die Höhe des Bruttoproduktionswerts in erster Linie von den Herstellungskosten der Fahrzeuge abhängt und diese bei Hybrid-Fahrzeugen oder Elektromotor-betriebenen Fahrzeugen deutlich höher liegen als bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren.

Daher fällt der für 2030 zu erwartende Effekt noch deutlich höher aus, wenn man nicht die gesamte Automobilwirtschaft, sondern nur die Automobilindustrie (d.h. Sektor 29: Herstellung von Kraftwagen und -teilen) betrachtet (Abbildung 7): während sich der Gesamteffekt im Basis-Szenario auf 27 Mrd. Euro belaufen würde, wäre im Realszenario ein Plus von 11,5% zu erwarten, was in absoluten Zahlen einem Bruttoproduktionswert von 30,1 Mrd. Euro entsprechen würde. Dabei gilt selbst in der Automobilindustrie, dass der zu erwartende Anstieg nicht mit der Geschwindigkeit korreliert, in welcher die Elektrifizierung stattfindet.

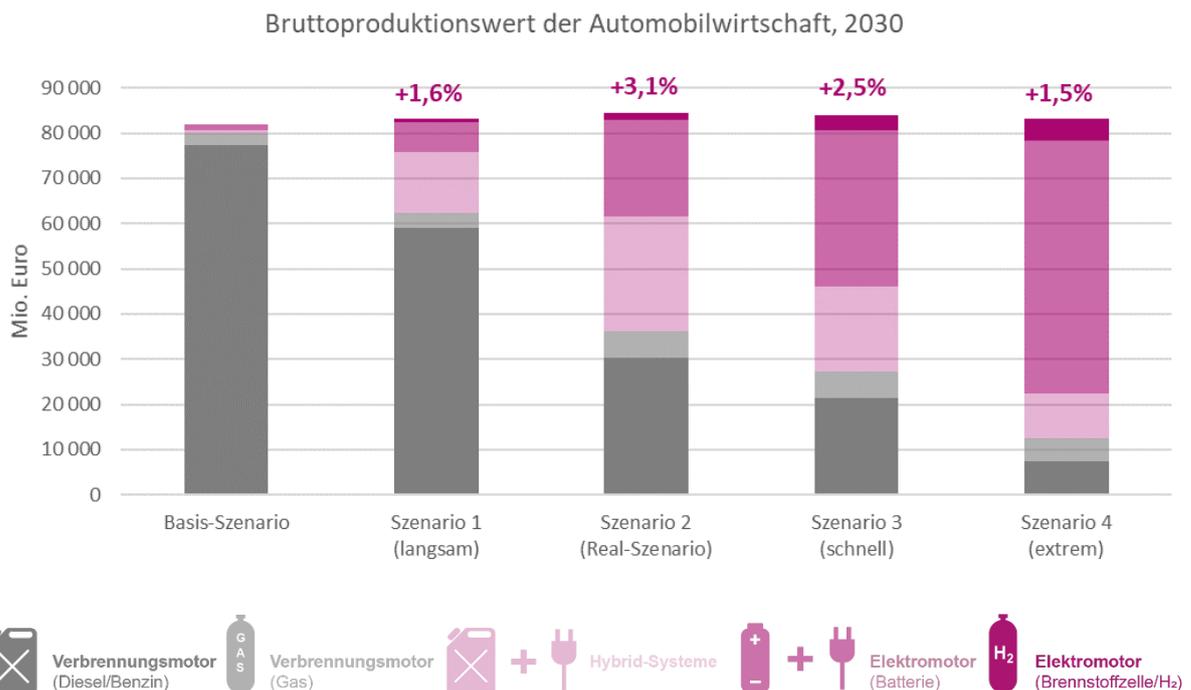


Abbildung 6.5: Bruttoproduktionswert der Automobilwirtschaft 2030, Szenarienvergleich, in Mio. Euro

Quelle: Council 4, 2019

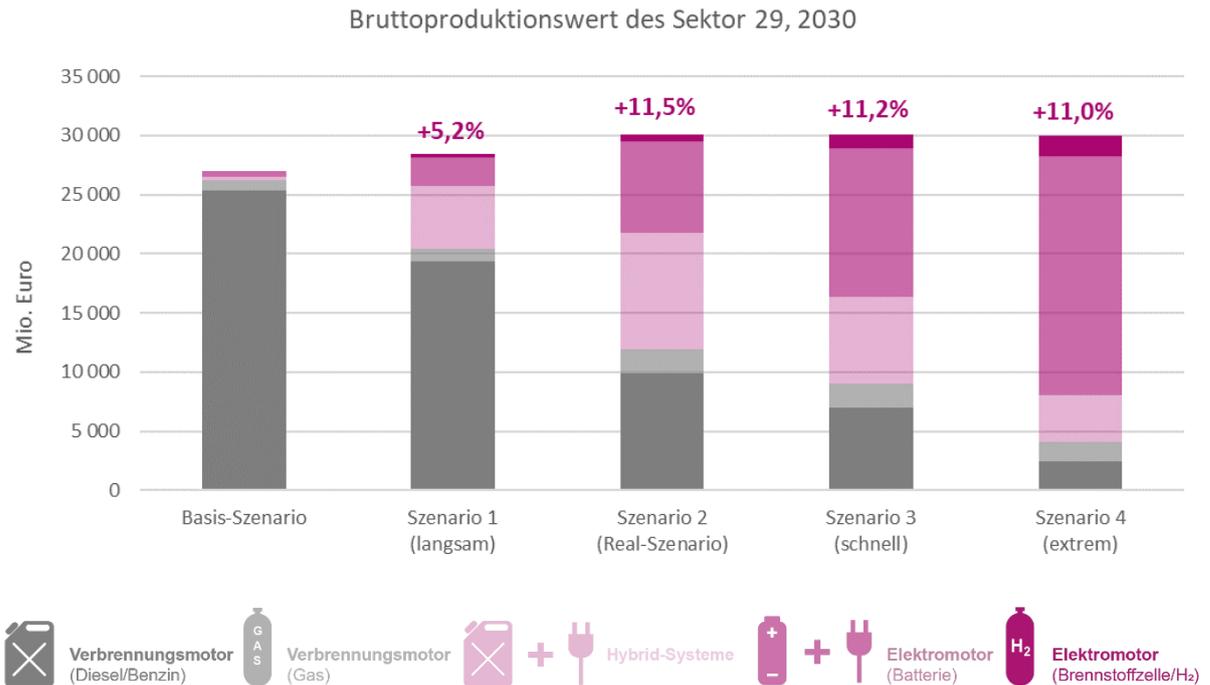


Abbildung 6.6: Bruttoproduktionswert der Automobilindustrie 2030, Szenarienvergleich, in Mio. Euro

Quelle: Council 4, 2019

Fokussiert man sich ausschließlich auf den Bruttoproduktionswert, so wäre das bis 2030 zu zeichnende Bild erfreulich, welches unabhängig vom Grad der Elektrifizierung stets ein Plus für alle unmittelbar oder mittelbar mit der Automobilwirtschaft bzw. -industrie verbundenen Branchen erwarten ließe.

6.4.2 Bruttowertschöpfung

Dass das Bild – mit dem Fokus auf den Bruttoproduktionswert – trügt, zeigt sich, wenn man die volkswirtschaftlich aussagekräftigere Kennzahl, die Bruttowertschöpfung, heranzieht. Verglichen mit dem Bruttoproduktionswert enthält diese keine Vorleistungen und zeigt somit ein wesentlich realistischeres Bild der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit der Branche.

Im Basisszenario würde sich die gesamte Bruttowertschöpfung der Automobilwirtschaft auf 31,6 Mrd. Euro belaufen. Die generierte Wertschöpfung liegt damit ohne Elektrifizierung höher als in allen anderen Szenarien. Noch schlimmer ist, dass das zu erwartende Minus umso größer ist, je schneller die Elektrifizierung voranschreitet. So wäre im Real-Szenario bereits ein Minus von 1,7% zu erwarten, welches sich auf bis zu minus 5,8% steigern könnte, wenn sich die Unternehmen in Österreich nicht auf die neuen Rahmenbedingungen ausrichten. In absoluten Zahlen entspricht dies einem Minus von rund 600 Mio. Euro im Realszenario oder fast 2 Mrd. Euro in Szenario 4.

Während andere Bereiche der Automobilwirtschaft nahezu unverändert bleiben, ist die Automobilindustrie von der Elektrifizierung besonders stark betroffen.

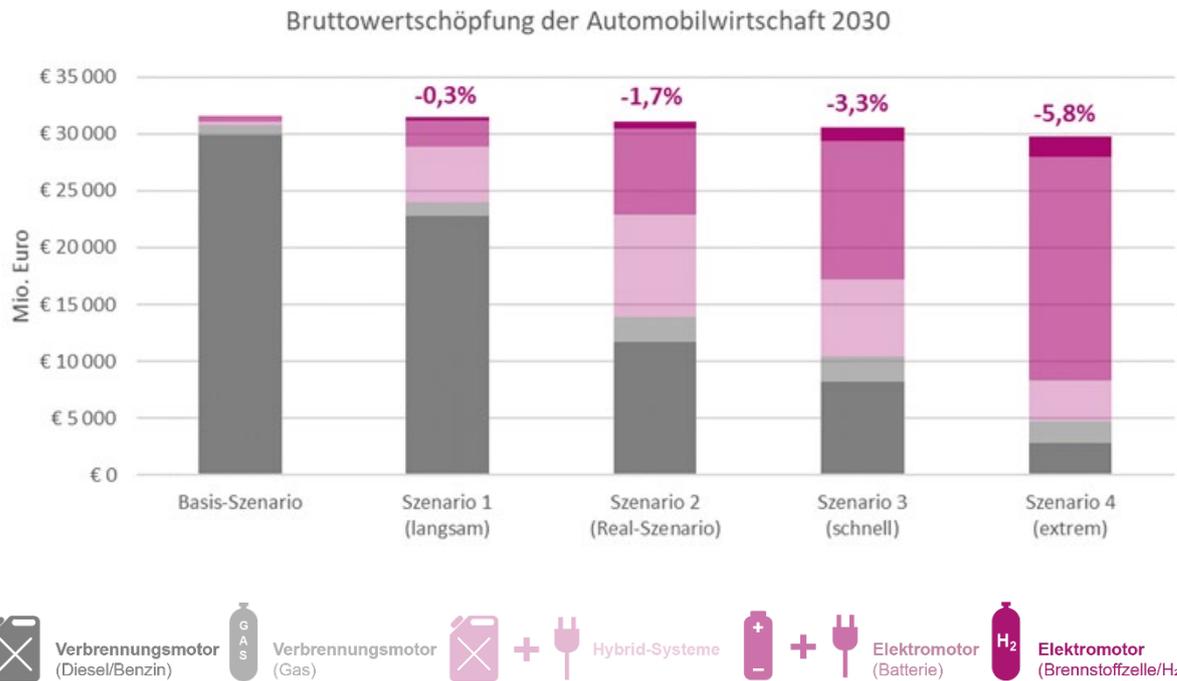


Abbildung 6.7: Bruttowertschöpfung der Automobilwirtschaft 2030, Szenarienvergleich, in Mio. Euro

Quelle: Council 4, 2019

Ursächlich für das Minus ist, dass sich die höheren Herstellungskosten, welche im Bruttoproduktionswert noch positiv zu Buche schlagen, vor allem auf die höheren Ausgaben für Vorleistungskomponenten zurückführen lassen, welche zu wesentlichen Teilen nicht in Österreich hergestellt werden, sondern importiert werden müssen. Die vorgelagerte Wertschöpfungskette, und damit die indirekten Effekte, würden daher – ohne Anpassungsstrategien der Anbieter – deutlich geringer werden, je schneller die Elektrifizierung fortschreitet.

Auch hier gilt, dass die Automobilindustrie – verglichen mit der Automobilwirtschaft in Summe – besonders stark gefordert ist, zeigt sich doch, dass bereits im Real-Szenario ein Minus von knapp 4% zu erwarten wäre, welches sich auf nahezu minus 15% in Szenario 4 ausdehnen könnte. Ausgehend von einer gesamten Wertschöpfung von 6,36 Mrd. Euro im Basis-Szenario würde das bereits im Real-Szenario einem Minus von 250 Mio. Euro entsprechen.

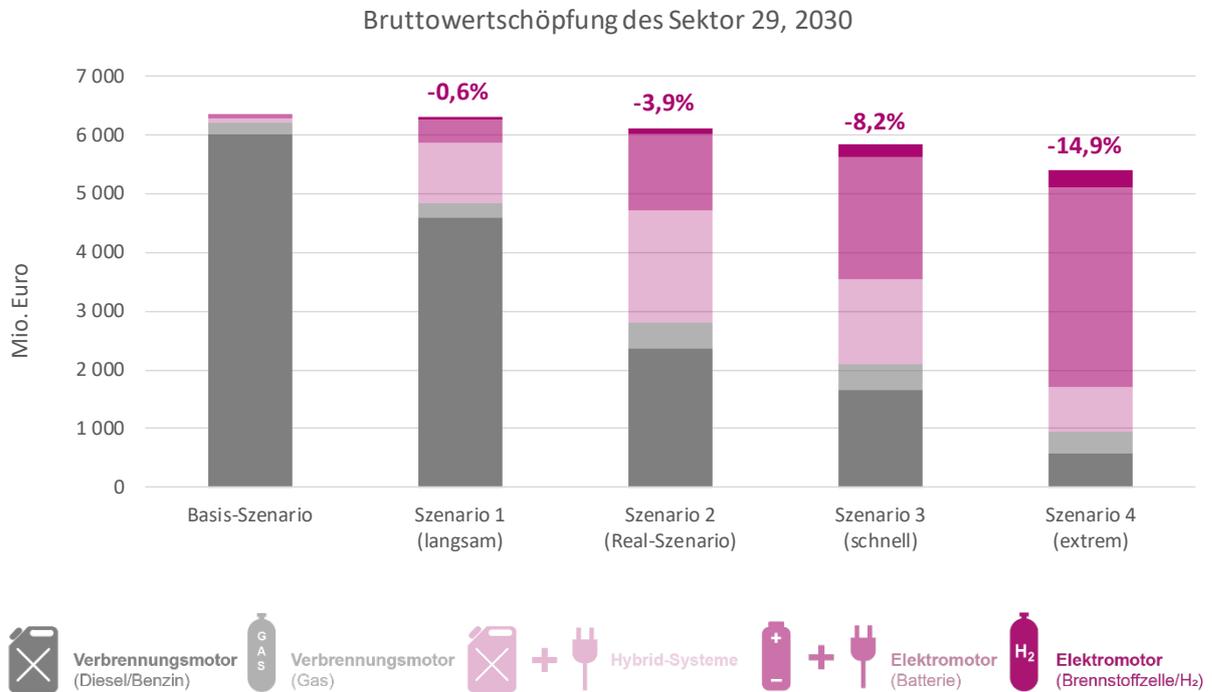


Abbildung 6.8: Bruttowertschöpfung der Automobilindustrie 2030, Szenarienvergleich, in Mio. Euro

Quelle: Council 4, 2019

6.4.3 Beschäftigung

Ein ähnliches Bild wie für die Wertschöpfung zeigt sich auch bei den Arbeitsmarkteffekten: von knapp 400.000 unmittelbar oder mittelbar in der Automobilwirtschaft Beschäftigten im Basis-Szenario würden im Real-Szenario bereits 6.000 Arbeitsplätze wegfallen, was einem Minus von 1,5% entspricht. Auch hier gilt: je schneller die Elektrifizierung voranschreitet, desto größer ist der negative Effekt auf die heimische Wirtschaft, wenn sich Unternehmen und Qualifikationsprofile nicht den neuen Gegebenheiten anpassen. In Szenario 4 wären bereits 6,1% der derzeitigen Arbeitsplätze in der Automobilwirtschaft bedroht, das sind in absoluten Zahlen knapp 25.000.

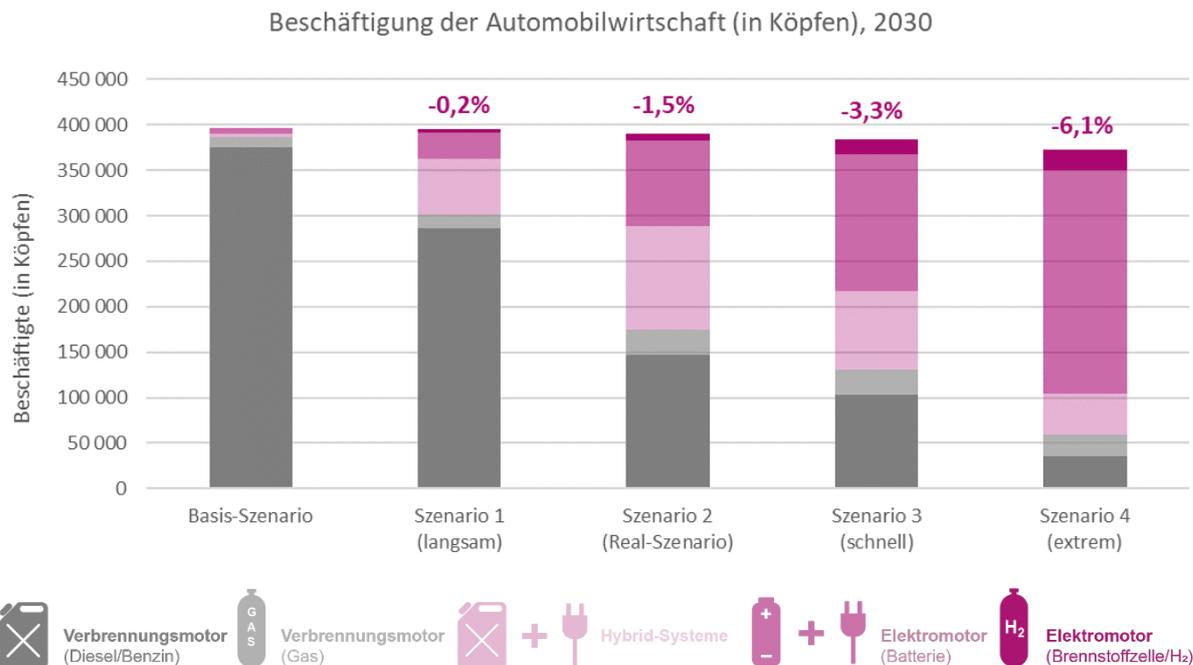


Abbildung 6.9: Beschäftigte in der Automobilwirtschaft 2030, Szenarienvergleich, in Köpfen

Quelle: Council 4, 2019

Während die Automobilindustrie im Real-Szenario sogar weniger stark betroffen wäre als die gesamte Branche, fällt der Effekt auf den Arbeitsmarkt dann besonders stark aus, wenn ein rascherer Wandel in Richtung Elektromotor kommen würde. Dann wären bei einem Minus von 13% rund 8.000 Arbeitsplätze in Österreich gefährdet. Damit würde allein die Automobilindustrie ein Drittel des Gesamteffekts der Branche verantworten.

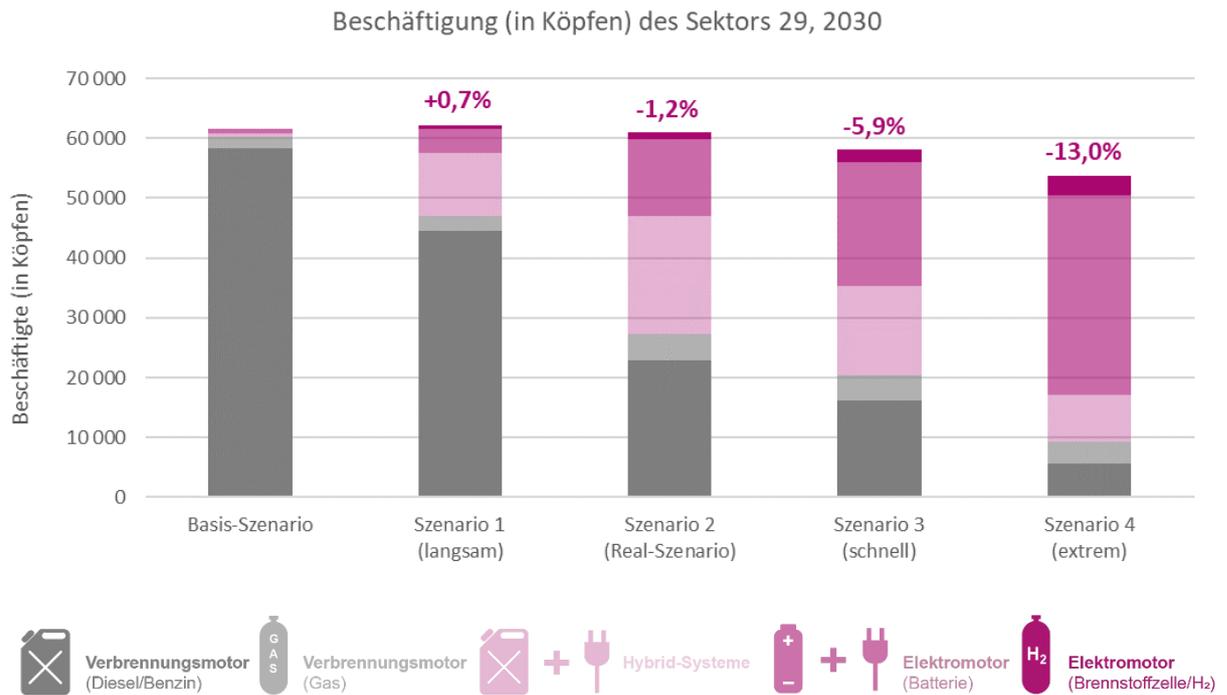


Abbildung 6.10: Beschäftigte in der Automobilindustrie 2030, Szenarienvergleich, in Köpfen

Quelle: Council 4, 2019

Sehr ähnlich stellen sich die Ergebnisse für die Beschäftigungseffekte in Vollzeitäquivalenten dar: auch hier sind sowohl für die Automobilindustrie als auch für die Automobilwirtschaft Effekte in der Größenordnung der pro-Kopf Werte zu erwarten.

Tabelle 2: Zusammenfassung ökonomischer Effekte, nach Szenarien

	Basis-Szenario	Szenario 1 (langsam)	Szenario 2 (Real-Szenario)	Szenario 3 (schnell)	Szenario 4 (extrem)
Bruttoproduktionswert					
in Mrd. Euro	82,0	83,3	84,6	84,0	83,3
Veränderung zum Basiss-Szenario		1,6%	3,1%	2,5%	1,5%
Bruttowertschöpfung					
in Mrd. Euro	31,8	31,5	31,0	30,5	29,7
Veränderung zum Basiss-Szenario		-0,3%	-1,7%	-3,3%	-5,8%
Beschäftigung					
in Köpfen	396.638	395.833	390.565	383.491	372.391
Veränderung zum Basiss-Szenario		-0,2%	-1,5%	-3,3%	-6,1%

Quelle: Council 4, 2019

7 Resümee und Handlungsableitungen

7.1 Globaler Strukturwandel in Richtung Elektromobilität – mit genügend Anpassungszeit

Unumstritten befindet sich die Automobilindustrie weltweit in einem tiefgreifenden Strukturwandel in Richtung emissionsfreier Mobilität. In welchem Ausmaß und in welchem Tempo sich dieser Wandel vollziehen wird, ist allerdings noch unklar und von einer Vielzahl von Parametern abhängig.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass es bis 2030 zu einem deutlich verlangsamten Wachstum der weltweiten Pkw-Neuzulassungen von 80 Mio. im Jahr 2018 auf 93,4 Mio. pro Jahr kommen wird.

Mit einem Marktanteil von 44% (rund 41,1 Mio. Pkws, davon 6,45 Mio. mit Gas) werden Verbrennungsmotoren (Benzin/Diesel und Gas) in diesem realistischen Szenario zwar deutlich zurückgedrängt, aber auch 2030 noch den größten Marktanteil verzeichnen. Hybrid-Systeme als Übergangstechnologien werden mit 28% (26,2 Mio. Pkws) ähnlich stark verbreitet sein wie Elektromotoren (Batterie) mit 26% (24,3 Mio. Pkws). Elektromotoren (Brennstoffzelle) werden bei 2% (1,8 Mio. Pkws) liegen.

Verbrennungsmotoren stehen folglich nicht vor dem abrupten Aus und werden nicht so rasch ersetzt, sondern bleiben bis 2030, jedenfalls mit relativ hohen Anteilen, parallel zu Elektromotoren am Markt bestehen. Dennoch kommt der Wandel, sodass Gas, Hybrid und alternative Kraftstoffe notwendige Übergangslösungen darstellen, um den Transformationspfad für die Automobilindustrie verträglicher zu gestalten.

Für Österreich gilt: Auf das Tempo und das Ausmaß des globalen Strukturwandels in der Automobilwirtschaft lässt sich kein Einfluss nehmen. Diese werden vom globalen Markt, unmittelbar von Deutschland, mittelbar vor allem von China bestimmt.

Der (standortpolitische) Fokus sollte darauf liegen, die Weichen gut überlegt und laufend wissenschaftlich begleitet derart zu stellen, dass Österreichs Unternehmen dauerhaft vom Strukturwandel und den weiterhin wachsenden Märkten profitieren können. In einzelnen Technologiefeldern werden österreichische Akteure sogar in der Lage sein können, eigene Akzente zu setzen. Überhastete und/oder überschießende politische Interventionen bergen hingegen die Gefahr, die Möglichkeiten des sich nur moderat wandelnden Marktes nicht auszuschöpfen, insbesondere dann, wenn es zu Änderungen in den weltweiten Rahmenbedingungen kommen sollte.

7.2 Automobilwirtschaft als Schlüsselsektor für Österreichs Wirtschaft

Die Automobilwirtschaft in Österreich ist auf einen raschen technologischen Wandel in Richtung emissionsfreier Mobilität (noch) nicht ausgerichtet.

Jeder 13te Euro, der derzeit in Österreich erwirtschaftet wird, wird unmittelbar oder mittelbar in der Automobilwirtschaft generiert. Mit 16 Mrd. Euro direkter Wertschöpfung, was einem Anteil von 4,6% der heimischen Wertschöpfung entspricht, zählt die Automobilwirtschaft jedenfalls zu den systemrelevanten Branchen des Landes. Mit jedem in der Automobilwirtschaft generierten Euro werden weitere 67 Cent in anderen Branchen angeregt, sodass sich die gesamte Wertschöpfung auf 26,2 Mrd. Euro oder 7,6% beläuft.

Unmittelbar in der Automobilwirtschaft beschäftigt sind knapp 180.000 Personen, der Gesamteffekt liegt etwas über 314.000 Beschäftigten. Das entspricht, gemessen an der Gesamtzahl der Erwerbstätigen in Österreich, einem Anteil von 3,5% bzw. 6,9%. Vergleicht man diese Zahlen mit den Ergebnissen aus den Szenario-Berechnungen, dann zeigt sich, dass die Automobilwirtschaft Österreichs noch stark von herkömmlicher Motorenteknologie geprägt ist und auf einen raschen Wandel bei den Antriebstechnologien, hin zur Elektrifizierung, noch nicht gut genug eingestellt ist.

Mit der Einführung von Elektrofahrzeugen ändert sich die Produktion von Fahrzeugen und Fahrzeugteilen maßgeblich. So entfallen hochkomplexe Bauteile wie Verbrennungsmotoren, mehrstufige Getriebe oder Abgasanlagen. Es geht also um Bereiche, in denen österreichische Unternehmen hohe Kompetenzen aufweisen. Neu hinzukommende Kernkomponenten wie Traktionsbatterie, Elektromotor oder Brennstoffzelle bieten zwar Chancen für Unternehmen, neue Kompetenzen und Stärkenfelder aufzubauen. Die sich in jüngerer Zeit rascher verbessernde Technologiereife hat allerdings bisher noch zu keiner Herausbildung marktrelevanter Stärkefelder geführt.

Vergleicht man die Szenarien für 2030 hinsichtlich Elektrifizierungsgeschwindigkeit, so zeigt sich, dass die negativen wirtschaftlichen Effekte des Wandels umso stärker ausfallen würden, je schneller der Wandel in den Antriebstechnologien kommen würde, wenn nicht entsprechend gegengesteuert wird. Zwar zeigen die Analysen, dass sich bereits eine erhebliche Zahl von Unternehmen auf die neuen Technologien ausrichtet, für alle anderen - die (noch) am „Verbrenner“ hängen – stehen aber mehrere Tausend Arbeitsplätze und Wertschöpfungseinbußen in Milliardenhöhe auf dem Spiel.

So würde bereits ein Szenario mit moderater Elektrifizierungsgeschwindigkeit (Real-Szenario: 26% Elektromotor/Batterie) dazu führen, dass sich die Wertschöpfung der Automobilwirtschaft im Jahr 2030 um 1,7%, das entspricht rund 600 Mio. Euro (auf Preisbasis 2018), reduzieren würde, wobei die Automobilindustrie als jener Sektor, der am stärksten vom Wandel betroffen ist, sogar mit einem Minus von 3,9% rechnen müsste. Insgesamt würde sich dies mit einem Minus von 6.000 Jobs am Arbeitsmarkt auswirken.

Deutlich höher würde das Minus in einem „Extrem Szenario“ (68% Elektromotor/Batterie) liegen: Hier wäre mit einem Minus von 5,8% für die Automobilwirtschaft und 14,9% für die Automobilindustrie zu rechnen, bis zu 25.000 Arbeitsplätze – dies entspricht 13% aller in der Automobilindustrie Beschäftigten – wären gefährdet.

Für Österreich gilt: Der Fokus darf nicht auf der Begrenzung des Schadens liegen, der sich aus dem Strukturwandel ergeben würde. Vielmehr geht es darum, die sich bietenden Chancen in Wachstumsperspektiven umzulegen und langfristig vom Wandel zu profitieren. Technologieoffenheit ist hierfür eine der wichtigsten Voraussetzungen.

Gestaltet sich der Wandel in Richtung zunehmender Elektrifizierung moderat, so gibt dies den Unternehmen der Automobilindustrie die notwendige Zeit, bestehende Stärken, die auch künftig benötigt werden, auszubauen und sich Nischen in neuen Technologie- und Entwicklungsfeldern aufzubauen (verbunden mit den neuen Antriebstechnologien der Elektromotoren, Batterie und Wasserstoff). Das „Rennen“ ist eröffnet.

Ergänzend zu Maßnahmen auf der Produktionsseite wird es von großer Bedeutung sein, massiv in Aus- und Weiterbildungsoffensiven mit dem Fokus auf neue Technologien zu investieren und gleichzeitig die besten Forscher für nachhaltige Antriebstechnologien nach Österreich zu bringen.

7.3 Partizipation am Wachstumsmarkt statt Schadensbegrenzung

Klar ist jedenfalls, dass Autos auch weiterhin gebaut werden. Und Österreich hat grundsätzlich eine gute Startposition, um vom Strukturwandel in der Automobilindustrie zu profitieren. Mögliche Ansatzpunkte liegen im Bereich Batteriemangement-Systeme, Thermo-Management Systeme, Hochvolt-Bordnetze, Getriebe für Elektromotoren, Leistungselektronik und Recycling von Lithium-Ionen-Batterien. In welchen Bereichen Österreichs Unternehmen sich aber realistisch zu Marktführern entwickeln könnten, müsste mit einer umfassenden Innovationsanalyse für den Weltmarkt – verglichen mit den Aktivitäten in Österreich – bestimmt werden.

Auch über 2030 hinaus wird es ein Nebeneinander verschiedener Antriebstechnologien geben. Der Fokus wird aber zunehmend auf nachhaltiger und klimaneutraler Mobilität liegen. Denkt man über die Automobilindustrie im engen Sinne hinaus auch an die gesamten heimischen Wertschöpfungsketten und -netzwerke, so bieten sich hier künftig ebenfalls interessante Chancen im Bereich der Energiewirtschaft. Österreich nimmt bereits heute aufgrund des hohen Anteils an erneuerbarer Energiegewinnung eine Vorreiterrolle ein und hat die Möglichkeit, diese durch das Vorantreiben der Energiewende weiter auszubauen. Bio-Kraftstoffe aus Abfällen, eigentlich Reststoffen, könnten sich beispielsweise als Substitut für fossile Kraftstoffe positiv auf die Klimabilanz auswirken.

Für sämtliche in der Studie untersuchten Szenarien – sogar bei dem sogenannten „Extremszenario“ – gilt der Befund, dass noch über Dekaden hinweg mit der Parallelexistenz unterschiedlicher Antriebstechnologien zu rechnen sein wird.

Grundsätzlich bietet dies aus keinem einzigen der unterschiedlichen Blickwinkel heraus betrachtet eine attraktive Aussicht,

- nicht aus der Perspektive der Automobilwirtschaft,
- nicht aus jener der Mobilitätsnachfrager/innen,
- nicht aus jener des Umwelt- einschließlich Klimaschutzes,
- nicht aus jener verkehrspolitischen Gestaltung:

Nicht aus der Perspektive der Automobilwirtschaft, weil die parallele Aufrechterhaltung und Weiterentwicklung unterschiedlicher Antriebssysteme Humanressourcen und Sachkapital in einem enormen Ausmaß bindet und damit kosten- und komplexitätstreibend wirkt;

nicht aus jener des Umweltschutzes, weil sich die Antriebstechnologie mit der höchsten Effizienz bei der Vermeidung von Treibhausgasemissionen voraussichtlich erst in einigen Jahrzehnten oder im schlechtesten Fall unter Berücksichtigung von Pfadabhängigkeiten möglicherweise überhaupt nicht durchsetzen wird;

nicht aus jener der Mobilitätsnachfrage, weil die Kosten der parallelen Existenz unterschiedlicher Antriebssysteme von den Nutzern (direkt über Entgelte oder indirekt über Steuern und Abgaben) getragen werden (müssen), sich die positiven Netzwerkexternalitäten eines einzigen dominanten Systems nur verzögert entwickeln und verstärkt Schnittstellenproblematiken auftreten werden;

nicht aus jener der verkehrspolitischen Gestaltung, weil parallele Infrastrukturen aufgebaut und unterhalten werden müssen, von denen sich einige möglicherweise noch vor ihrer volkswirtschaftlichen Amortisation als stranded investment erweisen werden.

Zugespitzt formuliert: Bei hoher Diffusionsgeschwindigkeit kommt es zu signifikanten Verlusten von Wertschöpfung und Beschäftigung in der österreichischen Automobilwirtschaft, bei niedriger zu unzureichenden Beiträgen für den Umweltschutz im Hinblick auf die vereinbarten Klimaziele.

Für *jede* der in dieser Studie untersuchten Diffusionsgeschwindigkeiten der neuen Antriebstechnologien ist festzuhalten, dass das globale Optimum eines raschen Technologieübergangs (nämlich von der Technologie des Verbrennungsmotors auf die brennstoffzellenbasierte Wasserstoffnutzung) für lange Zeit nicht erreichbar ist. Dieser Befund führt unmittelbar zu der standortstrategischen Frage, ob angesichts der sich abzeichnenden Technologieparallelität bis zur Erreichung des globalen Optimums nicht besser ein möglicherweise Jahrzehnte andauerndes lokales Optimum angestrebt werden sollte. Während dieser Phase könnten zudem die notwendigen technologischen Kompetenzen im Hinblick auf den Übergang zu einer Wasserstoffwirtschaft forciert werden.

Aus unserer Sicht bietet die Nutzung erneuerbaren Gases eine solche beschäftigungs-, technologie- und verkehrspolitisch interessante Perspektive. Der Einsatz von erneuerbarem Gas im Verkehrssektor erreicht pro Fahrzeug einen Beitrag zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen in einem vergleichbaren Ausmaß wie die Nutzung von Strom aus erneuerbaren Quellen. Die Technologien des Verbrennungsmotors würden über relevante Zeiträume hinweg weiter ertragsgenerierend genutzt werden können, sodass die Mittelverfügbarkeit für die Erforschung und Entwicklung der Brennstoffzellentechnologie erhöht werden würde. Bereits vorhandene Leitungs-, Speicher- und Betankungsinfrastrukturen könnten weiterhin verwendet werden, was die Nutzerkosten verringert, den (privaten und öffentlichen) Investitionsbedarf senkt und das Risiko von stranded investments vermindert. Hinzu kommt, dass Österreich bei erneuerbarem Gas schon heute sowohl über entsprechende technologische Kompetenzen als auch ein beträchtliches inländisches Erzeugungs-, Übertragungs- und Speicherpotenzial verfügen würde. [65]

Verallgemeinernd handelt es sich hier um eine Analyse, die – aufbauend auf den technologischen Voraussetzungen des Strukturwandels – die ökonomischen Effekte desselben in den Fokus rückt. Damit ist ein erster wichtiger Startpunkt gesetzt, um die sich bietenden Wachstumschancen als „Ökologie durch Ökonomie“ und nicht die – zuvor nicht quantifizierbaren – Risiken als „Ökologie zu Lasten Ökonomie“ in den Mittelpunkt zu rücken. Zur Ausgestaltung konkreter Maßnahmen bedarf es darüber hinaus aber der Berücksichtigung einer Vielzahl weiterer Aspekte, wie beispielsweise der ökologischen und sozialen Effekte oder der Innovationskomponente.

Für Österreich gilt: Eine eigenständige, von den großen Märkten entkoppelte Entwicklung, wird nicht möglich sein. Österreich kann zwar das Tempo der globalen Entwicklung nicht bestimmen, sich aber produktionsseitig so aufstellen, dass potenzielle, sich aus dem Strukturwandel ergebende, Nachteile nicht nur ausgeglichen, sondern – im Gegenteil – zu Marktchancen ausgebaut werden können („Nischenstrategien“).

Eine Innovationsoffensive im Bereich nachhaltiger und erneuerbarer Antriebstechnologien erscheint zielführend. Tendenziell dürfte eine Produktionsförderung, vor allem in Form von Technologieförderungen mit Multi-Use-Potenzial, wirksamer als eine Konsumentenförderung sein, jedenfalls solange Elektromotor-betriebene Fahrzeuge importiert werden müssen.

Abkürzungsverzeichnis

BEV	Batterie Electric Vehicle bzw. batterieelektrisches Elektrofahrzeug
BPW	Bruttoproduktionswert
BWS	Bruttowertschöpfung
CATC	China Automotive Testing Cycle
CH ₄	Methan
CNG	Compressed Natural Gas
CO	Kohlenstoffmonoxid
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle bzw. Brennstoffzellenfahrzeug
FTP	Federal Test Procedure
HC	Kohlenwasserstoffe
ICE	Internal Combustion Engines bzw. Verbrennungsmotor
LNG	Liquefied Natural Gas
MaaS	Mobility-as-a-Service
N ₂ O	Distickstoffmonoxid bzw. Lachgas
NEFZ	Neue Europäische Fahrzyklus
NO	Stickstoffmonoxid
NO ₂	Stickstoffdioxid
NO _x	Stickstoffoxide
PEMFC	Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzelle
PHEV	Plug-in-Hybrid Electric Vehicle
PKW	Personenkraftwagen
RDE	Real Driving Emissions
REEV	Range Extender Electric Vehicle
SFTP	Supplemental Federal Test Procedures
VKM	Verbrennungskraftmaschine
NEFZ	Neue Europäische Fahrzyklus
WLTP	Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure
RDE	Real Driving Emissions
VGR	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung
VZÄ	Beschäftigung in Vollzeitäquivalenten
WLTP	Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure

Literaturverzeichnis

- [1] Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau, *Mobilität von morgen benötigt zwingend Technologieoffenheit*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.vdma.org/v2viewer/-/v2article/render/29839798>. Zugriff am: 14. Oktober 2019.
- [2] Statistik Austria, *Kraftfahrzeuge - Neuzulassungen*. [Online] Verfügbar unter: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/verkehr/st_rasse/kraftfahrzeuge_-_neuzulassungen/index.html. Zugriff am: 3. Oktober 2019.
- [3] K. Chung, „Light Vehicle Sales Forecast: Drive better business decisions with insights into market demand, segment growth, and competitive dynamics.“, IHS Markit, Jul. 2019.
- [4] B. McHugh, Hewitt Lauren und Munoz Felipe, „2018 Full Year Global Automotive Sales Release“, JATO Dynamics Limited, London, UK, Feb. 2019.
- [5] The European Automobile Manufacturers' Association, „Automobile Industry Pocket Guide 2019/2020“, The European Automobile Manufacturers' Association (ACEA), Jun. 2019. [Online] Verfügbar unter: https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_Pocket_Guide_2019-2020.pdf. Zugriff am: 25. September 2019.
- [6] The Boston Consulting Group, *Automotive Industry Solutions from BCG - Automaker & OEM Resources*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.bcg.com/de-at/industries/automotive/solutions.aspx>. Zugriff am: 7. Oktober 2019.
- [7] K. Heineke, B. Kloss, D. Scurtu und F. Weig, „Micromobility's 15,000-mile checkup: Will the micromobility market boom or bust? With billions already invested, here's an assessment of its potential.“, McKinsey & Company, Jan. 2019. [Online] Verfügbar unter: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Automotive%20and%20Assembly/Our%20Insights/Micromobilitys%2015000%20mile%20checkup/Micromobilitys-15000-mile-checkup-VF.ashx>. Zugriff am: 7. Oktober 2019.
- [8] McKinsey & Company, *McKinsey Center for Future Mobility*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.mckinsey.com/features/mckinsey-center-for-future-mobility/overview>. Zugriff am: 7. Oktober 2019.
- [9] C. Rauch, „ADAC_Mobilitaet2040_Zukunftsinstitut“, Zukunftsinstitut GmbH. [Online] Verfügbar unter: https://www.zukunftsinstitut.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Auftragsstudien/ADAC_Mobilitaet2040_Zukunftsinstitut.pdf. Zugriff am: 7. Oktober 2019.
- [10] PricewaterhouseCoopers, *Mobility Transformation*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.pwc.de/de/im-fokus/mobility-transformation.html>. Zugriff am: 7. Oktober 2019.
- [11] Europäische Kommission, *Ursachen des Klimawandels*. [Online] Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/clima/change/causes_de. Zugriff am: 7. Oktober 2019.

- [12] S. Samadi, M. Fishedick und S. Lechtenböher, *Vergleich der BDI-Klimapfadestudie mit anderen Energieszenarien für Deutschland*. Verfügbar unter: https://epub.wupperinst.org/files/7035/7035_Samadi.pdf.
- [13] Europäisches Parlament, *CO2-Emissionen von Autos in der EU: Zahlen und Fakten*. [Online] Verfügbar unter: <http://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20190313STO31218/co2-emissionen-von-autos-zahlen-und-fakten-infografik>. Zugriff am: 7. Oktober 2019.
- [14] Europäisches Parlament, *Treibhausgasemissionen nach Ländern und Sektoren (Infografik) | Aktuelles | Europäisches Parlament*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20180301STO98928/treibhausgas-emissionen-nach-landern-und-sektoren-infografik>. Zugriff am: 10. November 2019.
- [15] A. Kampker, D. Vallée und A. Schnettler, Hg., *Elektromobilität: Grundlagen einer Zukunftstechnologie*, 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg, 2018.
- [16] Bundesverband Elektromobilität Österreich, *E-Autos: Neuzulassungen steigen*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.beoe.at/statistik/>. Zugriff am: 13. Oktober 2019.
- [17] EV Sales, *Größten Hersteller von Elektroautos nach der Anzahl der ausgelieferter Fahrzeuge weltweit im Jahr 2019*. [Online] Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/561568/umfrage/die-groessten-hersteller-von-elektroautos-nach-absatz/>. Zugriff am: 13. Oktober 2019.
- [18] Frost & Sullivan, *Global Electric Vehicle Market Outlook, 2019*. [Online] Verfügbar unter: <https://ww2.frost.com/frost-perspectives/global-electric-vehicle-market-on-track-to-set-new-records-in-2019/>. Zugriff am: 3. Oktober 2019.
- [19] J. Müller und Y. Le Petit, „Low-Emission Zones are a success - but they must now move to zero-emission mobility“. Evidence shows well-designed Low-Emission Zones reduce toxic air, European Federation for Transport and Environment, Brussels, Belgium, Sep. 2019. [Online] Verfügbar unter: https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2019_09_Briefing_LEZ-ZEZ_final.pdf. Zugriff am: 22. September 2019.
- [20] Volkswagen AG, *So funktionieren Subventionen für Elektroautos auf der ganzen Welt*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.volkswagenag.com/de/news/stories/2019/06/how-electric-mobility-is-promoted-in-other-countries.html#>. Zugriff am: 13. Oktober 2019.
- [21] M. NOWROTH, „Elektromobilität in Norwegen: 3 Gründe für den Erfolg: In Norwegen fährt jeder zweite Neuwagen elektrisch. Wie geht das?“, *Handelsblatt*, 2019, 2019, <https://orange.handelsblatt.com/artikel/53408>.
- [22] G. Strobl, „Warum Norwegen bei Elektroautos so weit vorne liegt: Kein anderes Land hat eine so starke Durchdringung mit E-Autos wie der Fünf-Millionen-Einwohner-Staat.“, *Der Standard*, <https://www.derstandard.at/story/2000104225558/warum-norwegen-bei-elektroautos-so-weit-vorne-liegt>.

- [23] Volkswagen Group, „WLTP und RDE im Überblick“, Jg. 2018, https://www.audi.de/dam/nemo/customer-area/business-customers/WLTP-und-RDE_Ueberblick.pdf, 2018.
- [24] H. Nuglisch, T. Maier und S. Müller, „Verkehrsemissionsgesetzgebungen in der Europäischen Union sowie in Industrienationen und Schwellenländern“ in *ATZ/MTZ-Fachbuch, Zukünftige Kraftstoffe: Energiewende des Transports als ein weltweites Klimaziel*, W. Maus, Hg., 1st ed., Berlin: Springer Berlin, 2019, S. 3–44.
- [25] K. Engeljehring, „Abgasgesetzgebung RDE/WLTP/EVAP: Neuigkeiten & Herausforderungen“. AVL Project Status Report, AVL List GmbH, Graz, Apr. 2017. [Online] Verfügbar unter: <https://www.avl.com/documents/1982862/4664597/01+Engeljehring+-+Abgasgesetzgebung+RDE+-+WLTP+-+EVAP+-+Neuigkeiten+%26+Herausforderungen.pdf>. Zugriff am: 19. September 2019.
- [26] EUROPÄISCHE PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION, *VERORDNUNG (EU) 2019/ 631 zur Festsetzung von CO2-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge*, 2019.
- [27] Z. Yang und A. Bandivadekar, „Light-duty vehicle greenhouse gas and fuel economy standards: 2017 Global Update“, 2017.
- [28] PA Consulting Group, „DRIVING INTO A LOW EMISSIONS FUTURE: Looking beyond 2021“, Jg. 2018, 2018.
- [29] F. Kuhnert, C. Stürmer und A. Koster, „Five trends transforming the Automotive Industry“, PricewaterhouseCoopers (PwC), 2018. [Online] Verfügbar unter: https://www.pwc.at/de/publikationen/branchen-und-wirtschaftsstudien/easy-five-trends-transforming-the-automotive-industry_2018.pdf. Zugriff am: 13. Oktober 2019.
- [30] N. Lang, M. Rößmann und J. Chua, *Making Autonomous Vehicles a Reality: Lessons from Boston and Beyond*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.bcg.com/publications/2017/automotive-making-autonomous-vehicles-a-reality.aspx>. Zugriff am: 13. Oktober 2019.
- [31] Verband der Automobilindustrie, *Vernetzte Mobilität*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.vda.de/de/themen/innovation-und-technik/vernetzung/vernetztemobilitaet.html>. Zugriff am: 13. Oktober 2019.
- [32] K. Heineke, A. Ménard und Södergren, Freddie, Wrulich, Martin, „Development in the mobility technology ecosystem—how can 5G help?“, McKinsey & Company, Jun. 2019. [Online] Verfügbar unter: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Automotive%20and%20Assembly/Our%20Insights/Development%20in%20the%20mobility%20technology%20ecosystem%20how%20can%205G%20help/Development-in-the-mobility-technology-ecosystem-how-can-5G-help.ashx>. Zugriff am: 13. Oktober 2019.

- [33] N. Beutin, „Share Economy 2017: The New Business Model“, PricewaterhouseCoopers (PwC), 2017. [Online] Verfügbar unter: <https://www.pwc.at/de/publikationen/branchen-und-wirtschaftsstudien/share-economy-report-2017.pdf>. Zugriff am: 5. Oktober 2019.
- [34] J. Hazan und N. Lang, „Seeking Perpetual Motion with Mobility as a Service“, The Boston Consulting Group, Mrz. 2019. [Online] Verfügbar unter: <https://www.bcg.com/de-at/publications/2019/seeking-perpetual-motion-mobility-as-service.aspx>. Zugriff am: 13. Oktober 2019.
- [35] Experteninterviews, *Zukünftige Antriebsformen*. Auswirkungen auf die österreichische Automobilindustrie.
- [36] C. Gauger, K. Heller, K. Lellouche Tordjman, A. Loh und B. Rehberg, „An Agile Game Plan for Automakers“, The Boston Consulting Group, Stuttgart, Jun. 2019. [Online] Verfügbar unter: http://image-src.bcg.com/Images/BCG-An-Agile-Game-Plan-for-Automakers-June-2019_tcm58-221709.pdf. Zugriff am: 25. September 2019.
- [37] A. Cornet, H. Deubener und R. Dhawan, „RACE 2050 – A VISION FOR THE EUROPEAN AUTOMOTIVE INDUSTRY“, McKinsey & Company, Jan. 2019. [Online] Verfügbar unter: https://www.mckinsey.de/~media/McKinsey/Locations/Europe%20and%20Middle%20East/Deutschland/News/Presse/2019/2019-01-08%20Race%202050/Report_Race2050_A%20Vision%20for%20the%20European%20automotive%20industry.ashx. Zugriff am: 7. Oktober 2019.
- [38] IHS Markit, „Light Vehicle Production Forecasts“, IHS Markit, 2019.
- [39] Benchmark Mineral Intelligence, *BATTERY MEGAFACORIES*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.benchmarkminerals.com/category/batteries/>. Zugriff am: 8. Oktober 2019.
- [40] The Economist, „China’s plans for the electrified, autonomous and shared future of the car: It does not need to have the best car companies to win the race“, *The Economist*, 04 Apr., 2019, <https://www.economist.com/briefing/2019/04/04/chinas-plans-for-the-electrified-autonomous-and-shared-future-of-the-car>.
- [41] B. Collie, G. Xu, T. Palme, A. Wachtmeister und C. Meyer, „Five Ways to Win in China's Changing Mobility Market“, The Boston Consulting Group, Sep. 2019. Zugriff am: 8. Oktober 2019.
- [42] Volkswagen AG, „Auslieferungsrekord für Volkswagen Konzern in 2018“, Volkswagen AG, Wolfsburg, Jan. 2019. [Online] Verfügbar unter: <https://www.volkswagenag.com/de/news/2019/01/new-delivery-record-for-volkswagen-group-in-2018.html>. Zugriff am: 8. Oktober 2019.
- [43] Statista, *Ride Hailing - China*. [Online] Verfügbar unter: <https://de.statista.com/outlook/368/117/ride-hailing/china?currency=gbp#market-users>. Zugriff am: 8. Oktober 2019.

- [44] M.-S. Röder, *Ausgerechnet der Vater des E-Autos in China will jetzt auf einen anderen Antrieb setzen*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.businessinsider.de/der-vater-des-e-autos-in-china-sagt-die-zukunft-gehoert-nicht-nur-der-batterie-2019-6>. Zugriff am: 8. Oktober 2019.
- [45] B. Schmitt, „Hat die Batterie die Zukunft schon hinter sich? - manager magazin“, *Manager Magazin*, 01 Feb., 2019, <https://www.manager-magazin.de/unternehmen/autoindustrie/wasserstoffauto-toyotas-plaene-mit-der-brennstoffzelle-a-1251106-3.html>.
- [46] C. Carpetis und J. Nitsch, „Neue Antriebskonzepte im Vergleich“, *MTZ - Motortechnische Zeitschrift*, Jg. 60, Nr. 2, S. 94–99, <https://doi.org/10.1007/BF03226492>, 1999.
- [47] H. Naunheimer, B. Bertsche, J. Ryborz, W. Novak und P. Fietkau, „Leistungsbedarf und Leistungsangebot“ in *Fahrzeuggetriebe: Grundlagen, Auswahl, Auslegung und Konstruktion*, H. Naunheimer, B. Bertsche, J. Ryborz, W. Novak und P. Fietkau, Hg., 3rd ed., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; Springer Vieweg, 2019, S. 59–88.
- [48] M. Hommen, „Brennstoffzelle: Toyotas Wasserstoff-Autos sind noch sechs Jahre vom Massenmarkt entfernt: Wie einst bei der Hybridtechnik will Toyota auch bei der Brennstoffzelle eine Vorreiterfunktion einnehmen.“, *Handelsblatt*, 25 Sep., 2019, <https://www.handelsblatt.com/auto/nachrichten/brennstoffzelle-toyotas-wasserstoff-autos-sind-noch-sechs-jahre-vom-massenmarkt-entfernt/25053560.html>.
- [49] M. Klell, H. Eichlseder und A. Trattner, *Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik: Erzeugung, Speicherung, Anwendung*, 4. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2018.
- [50] Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, „Österreichischer Biokraftstoffbericht 2018“, Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Österreich, 2018. [Online] Verfügbar unter: <https://www.bmnt.gv.at/umwelt/luft-laerm-verkehr/biokraftstoffbericht.html>. Zugriff am: 30. September 2019.
- [51] G. P. Merker und R. Teichmann, Hg., *Grundlagen Verbrennungsmotoren: Funktionsweise und alternative Antriebssysteme Verbrennung, Messtechnik und Simulation*, 9. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2019.
- [52] Y. Dahman, C. Dignan, A. Fiayaz und A. Chaudhry, „13 - An introduction to biofuels, foods, livestock, and the environment“ in *Woodhead Publishing series in composites science and engineering, Biomass, biopolymer-based materials, and bioenergy: Construction, biomedical, and other industrial applications*, D. Verma, E. Fortunati, S. Jain und X. Zhang, Hg., Duxford, United Kingdom, Cambridge, MA, United States: Woodhead Publishing, 2019, S. 241–276.
- [53] O. Bollmann, Neuhausen Jörn, S. C. Christoph, F. Andre und P. Kluschke, „From CO2 neutral fuels to emissionfree driving: Alternative Fuels and Powertrains and their impact on the automotive transformation.“, PricewaterhouseCoopers (PwC), Nov. 2017. [Online] Verfügbar unter: <https://www.pwc.de/de/automobilindustrie/alternative-fuels-powertrains-v2.pdf>. Zugriff am: 22. September 2019.

- [54] C. Gatzen und D. Bothe, „Kohlenstoffbasierte EFuels – wird der „grüne“ Kohlenstoff zur knappen Ressource?: Eine Überschlagsrechnung für den deutschen Verkehrssektor“ in *ATZ/MTZ-Fachbuch, Zukünftige Kraftstoffe: Energiewende des Transports als ein weltweites Klimaziel*, W. Maus, Hg., 1st ed., Berlin: Springer Berlin, 2019, S. 114–123.
- [55] M. Ziegler, „Wie viel Antriebsvielfalt können wir uns leisten?“, *MTZ - Motortechnische Zeitschrift*, Jg. 80, Nr. 5, S. 10–15, <https://doi.org/10.1007/s35146-019-0045-y>, 2019.
- [56] K. Reif, Hg., *Grundlagen fahrzeug- und motorentechnik im berblick: Konventioneller antrieb*. Morgan Kaufmann, 2017.
- [57] R. van Basshuysen und F. Schäfer, Hg., *Handbuch Verbrennungsmotor: Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven*, 8. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.
- [58] Fachverband Gas Wärme, *Erdgas tanken in Österreich*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.erdgasautos.at/tanken/tanken-in-oesterreich/>. Zugriff am: 22. September 2019.
- [59] Wirtschaftskammer Österreich, „Das österreichische Tankstellennetz 2018“, Wirtschaftskammer Österreich (WKO), Österreich, Mrz. 2019. [Online] Verfügbar unter: <https://www.wko.at/branchen/industrie/mineraloelindustrie/tankstellen-statistik-2018.pdf>. Zugriff am: 22. September 2019.
- [60] *VERORDNUNG (EG) Nr. 715/2007 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) und über den Zugang zu Reparatur- und Wartungsinformationen für Fahrzeuge: OJ L 171, 29.6.2007, p. 1–16, 2007*.
- [61] A. Braun, *Effiziente Elektrofahrzeuge: Fahrumgebung, Fahrmuster und Verbrauch Batteriebetriebener Pkw Unter Realbedingungen*. Wiesbaden: Springer Vieweg. in Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2019.
- [62] Hydrogen Council, „How hydrogen empowers the energy transition“, Hydrogen Council, Jan. 2017. [Online] Verfügbar unter: <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2017/06/Hydrogen-Council-Vision-Document.pdf>. Zugriff am: 9. Oktober 2019.
- [63] smarter-fahren.de, *Das erste Elektroauto: Der Anfang war elektrisch*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.smarter-fahren.de/erstes-elektroauto/>. Zugriff am: 10. Oktober 2019.
- [64] Manager Magazin, „VW investiert 30 Milliarden Euro in Elektroautos: Fünfjahresplan - 44 Milliarden für E-Mobility und autonomes Fahren“, *Manager Magazin*, 16 Nov., 2018, <https://www.manager-magazin.de/unternehmen/autoindustrie/volkswagen-aufsichtsratsentscheidet-milliardeninvestitionen-in-emobility-a-1238755.html>.
- [65] C. Helmenstein, A. Kleissner, E. Pichler und A. Pitzschke, „Green Gas: Volks-wirtschaftliche Analysen zum Quoten- oder Marktprämienmodell“, *Economica*, Wien, 2019.
- [66] Springer Nature, *Pkw-Antriebe im Überblick - Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.springerprofessional.de/motorentechnik/pkw-antriebe-im-ueberblick-vergangenheit-gegenwart-und-zukunft/6561052#>. Zugriff am: 15. August 2019.

- [67] Solarify, *Synthetische Kraftstoffe: bekannt – aber noch lange nicht Allgemeingut: Klimafreundlicher Verkehr wäre möglich*. Zugriff am: 25. August 2019.
- [68] G. Fuchslocher, *Continental reduziert Stickoxide durch Ringkatalysator: Nahezu vollständiger NOx-Abbau: Um die RDE-Vorgaben und SULEV 30-Grenzwerte für NOx zu erfüllen, die über einen großen Kennfeldbereich gelten, zeigt der Automobilzulieferer einen motornahen Ringkatalysator für Ottomotoren mit Turboaufladung*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.automobilproduktion.de/zulieferer/continental-reduziert-stickoxide-durch-ringkatalysator-271.html>. Zugriff am: 18. August 2019.
- [69] S. Anker, *Der Verbrennungsmotor ist längst nicht am Ende*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.welt.de/motor/article174944090/Die-neuesten-Entwicklungen-bei-Benziner-und-Diesel.html>. Zugriff am: 17. August 2019.
- [70] U. Gärtner, H.-P. Rabl und U. Zink, „Die Abgasnachbehandlung der Zukunft“, *MTZ Motortech Z*, Jg. 79, 7-8, S. 74–79, <https://link.springer.com/article/10.1007/s35146-018-0061-3>, 2018.
- [71] N. Gretzinger, *Erdgasantrieb: Ist das die Alternative zum Elektroauto?* [Online] Verfügbar unter: <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/antriebstechnik/erdgasantrieb-ist-das-die-alternative-zum-elektroauto/>. Zugriff am: 17. August 2019.
- [72] P. Schäfer, *Gasmotor erreicht Spitzenwirkungsgrad von über 45 Prozent: Im EU-Projekt "GasOn" wurde ein auf die Verbrennung von Gas optimierter Motor entwickelt. Der neue Gasmotor mit Vorkammer-brennverfahren erreicht über weite Betriebsbereiche Wirkungsgrade von über 40 Prozent*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.springerprofessional.de/gasmotor/motorentchnik/gasmotor-erreicht-spitzenwirkungsgrad-von-ueber-45-prozent/16845612>.
- [73] P. Tutsch, „Industrielle Gemeinschaftsforschung auf dem Gebiet der Brennstoffzelle“, *MTZ Motortech Z*, Jg. 78, Nr. 9, S. 70–75, 2017.
- [74] emobilitaet.online, *Toyota testet Solar-Prius*. [Online] Verfügbar unter: <https://emobilitaet.online/news/forschungsprojekte/5649-toyota-prius-plug-in-solar>. Zugriff am: 18. August 2019.
- [75] M. Reichhardt, *Forschung zu Natrium-Ionen-Batterien*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.automobil-industrie.vogel.de/forschung-zu-natrium-ionen-batterien-a-823414/>. Zugriff am: 18. August 2019.
- [76] C. Mundo und S. Michel, *Trends in der elektrischen Antriebstechnik*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/trends-in-der-elektrischen-antriebstechnik-a-803785/>. Zugriff am: 15. August 2019.
- [77] R. Diehm, *KIT entwickelt schnellere Akku-Produktion: Präzise Kanten bei neuer Rekordgeschwindigkeit: Ein neues Verfahren erhöht die Produktionskapazität von Batterieelektroden laut KIT deutlich*. [Online] Verfügbar unter: <https://emobilitaet.online/news/forschungsprojekte/5711-kit-beschleunigte-batterieproduktion>.

- [78] P. Becker, *E-AUTO: DIE HERAUSFORDERUNGEN AM MASSENMARKT*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.antriebstechnik.de/e-auto-die-herausforderungen-am-massenmarkt/>. Zugriff am: 15. August 2019.
- [79] J. Kaufmann, *Durchbruch beim E-Auto: Deutsche entwickeln Batterie, deren erstaunliche Fähigkeiten sie selbst überraschten*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.businessinsider.de/e-auto-deutsche-entwickeln-batterie-deren-erstaunlichen-faehigkeiten-sie-selbst-ueberraschten-2018-11>. Zugriff am: 18. August 2019.
- [80] A. Burkert, „Die Brennstoffzelle -Zwischen Euphorie und Ernüchterung“, *MTZ Motortech Z*, Jg. 80, 7-8, S. 8–13, 2019.
- [81] L. Klaufßen, *Saubere Sache: Wasserstoff ist ein altbekannter Energieträger. Doch erst jetzt können Forscher sein ungeheures Potenzial für das Gelingen der Energiewende richtig nutzen – und arbeiten daran, die alte Idee der Brennstoffzelle zukunftstauglich zu machen*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.helmholtz.de/energie/saubere-sache/>. Zugriff am: 18. August 2019.
- [82] A. Dipl.-Ing. Kromp, *Metallgestützte HochtemperaturBrennstoffzellen*. [Online] Verfügbar unter: http://www.iam.kit.edu/wet/plainhtml/Handouts/Handout_MSC_AK_de.pdf. Zugriff am: 18. August 2019.
- [83] S. Gerstl, *Neuartiges Material sorgt für kostengünstige Wasserstoff-Gewinnung: Brennstoffzellen bergen großes Potential für saubere Speicherung von Strom. Doch die Erzeugung von Wasserstoff aus Wasser erfordert viel Energie und teure Materialien. Forscher der Washington State University haben nun eine Methode vorgestellt, die mit Hilfe eines kostengünstigen Materials auf einfachem Weg Wasserstoff produzieren könnte*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/neuartiges-material-sorgt-fuer-kostenguenstige-wasserstoff-gewinnung-a-683194/>. Zugriff am: 08718/2019.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Untersuchungsdesign	8
Abbildung 2.1: Die österreichische Automobilwirtschaft im Wertschöpfungsnetzwerk.....	10
Abbildung 2.2: Bruttoproduktionswert (BPW) der österreichischen Automobilwirtschaft, 2018, Mio. Euro	12
Abbildung 2.3: Bruttowertschöpfung (BWS) der österreichischen Automobilwirtschaft, 2018, Mio. Euro	13
Abbildung 2.4: Totale Wertschöpfung, Top-10-Sektoren, 2018, Mio. Euro	14
Abbildung 2.5: Beschäftigungseffekte, 2018, in Köpfen	15
Abbildung 3.1: Entwicklung der CO ₂ -Emissionen in Europa nach Sektoren 1990-2016	18
Abbildung 3.2: Neuzulassungen von batteriebetriebenen Elektroautos in Österreich bis September 2019.....	19
Abbildung 3.3: Prognostizierte CO ₂ Zielverfehlung und mögliche Strafzahlungen laut PA Consulting, 2018.....	22
Abbildung 3.4: Prognostizierte weltweite Entwicklung der Fahrzeugneuzulassungen bis 2030.....	25
Abbildung 3.5: PKW-Produktion in China, Europa und USA, 2018, in Mio.	26
Abbildung 3.6: Neuzulassungen von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen in USA, EU und China 2014-2017	27
Abbildung 4.1: Primärenergiequellen verknüpft mit Antriebstechnologien (Eigene Darstellung).....	29
Abbildung 4.2: Klassifizierung der Antriebsarten und deren elektrische Funktionen	30
Abbildung 4.3: Vergleich der Herstellungskosten von Verbrennerfahrzeugen und Elektrofahrzeugen.....	33
Abbildung 4.4: Komplexitätsreduktion vom Verbrenner- zum Elektromotor	34
Abbildung 4.5: Einsatzgebiete von Batterie und Brennstoffzelle	39
Abbildung 5.1: Darstellung des Basis-Szenarios 2018 und der Szenarien für die Verteilung der Antriebstechnologien 2030.....	43
Abbildung 5.2: Darstellung des Basis-Szenarios (Verteilung der Antriebstechnologien 2018)	44
Abbildung 5.3: Darstellung des Real-Szenarios (Verteilung der Antriebstechnologien 2030).....	46
Abbildung 5.4: Darstellung von Szenario 1 / langsame Elektrifizierung (Verteilung der Antriebstechnologien 2030).....	47
Abbildung 5.5: Darstellung von Szenario 3 / schnelle Elektrifizierung (Verteilung der Antriebstechnologien 2030).....	48
Abbildung 5.6: Darstellung von Szenario 4 / extreme Elektrifizierung (Verteilung der Antriebstechnologien 2030).....	49
Abbildung 6.1: Bruttoproduktionswert (direkt, indirekt und induziert) in der Automobilindustrie 2030, im Vergleich der Antriebstechnologien	52
Abbildung 6.2: Bruttowertschöpfung (direkt, indirekt und induziert) in der Automobilindustrie 2030, im Vergleich der Antriebstechnologien	53
Abbildung 6.3: Beschäftigung (direkt, indirekt und induziert) in der Automobilindustrie 2030, in Köpfen,	54
Abbildung 6.4: Real-Szenario vs. Basis-Szenario, prozentuelle Veränderung der Ergebnisse	55
Abbildung 6.5: Bruttoproduktionswert der Automobilwirtschaft 2030, Szenarienvergleich, in Mio. Euro	56
Abbildung 6.6: Bruttoproduktionswert der Automobilindustrie 2030, Szenarienvergleich, in Mio. Euro	57

Abbildung 6.7: Bruttowertschöpfung der Automobilwirtschaft 2030, Szenarienvergleich, in Mio. Euro	58
Abbildung 6.8: Bruttowertschöpfung der Automobilindustrie 2030, Szenarienvergleich, in Mio. Euro	59
Abbildung 6.9: Beschäftigte in der Automobilwirtschaft 2030, Szenarienvergleich, in Köpfen	60
Abbildung 6.10: Beschäftigte in der Automobilindustrie 2030, Szenarienvergleich, in Köpfen	61

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Abgrenzung der Automobilwirtschaft nach ÖNACE-Kategorien	11
Tabelle 2: Zusammenfassung ökonomischer Effekte, nach Szenarien	61

ANHANG A: Unabhängige Expertenliste

Titel	Name	Kategorie	Institution
Prof.	Han, Zheng	Wissenschaft	Tongji Universität, Chair Professor of Innovation and Entrepreneurship
	Neckermann, Lukas	Industrie	Neckermann Strategic Advisors, Lyft
	Sigl, Kurt	Politik	Bundesverband eMobilität, Präsident und Gründer
Prof.	Herrmann, Andreas	Wissenschaft	Universität St. Gallen, Direktor Institut Customer Insight
	Metzger, Robert	Industrie	eMove360°, Geschäftsführer und Gründer
	Reisinger, Anton	Industrie	ehemaliger Bereichsleiter BMW Clean Energy
	Richter, Maximilian	Wissenschaft	Universität St. Gallen, Doktorand Institut Customer Insight
	Brauer, Gernot	Politik	Autor, Journalist, ehemaliger Head of Strategic Communication BMW
Prof.	Danzer, Michael	Wissenschaft	Universität Bayreuth, Leitung des Bayerischen Zentrums für Batterietechnik
	Walser, Rober	Wissenschaft	Technische Universität München, Masterstudium Batterietechnik
	Kuhnert, Felix	Industrie	PwC, Partner, Global Automotive Lead
	Stürmer, Christoph	Industrie	Chief Marketing Officer (CMO), Clean Energy Global GmbH

ANHANG B: Stand der Forschung

Für die Studie wurde eine Meta-Analyse von aktuellen Studien durchgeführt. Im Anhang B werden die interessantesten Forschungsergebnisse sowie Vor- und Nachteile beschrieben.

Verbrennungsmotor (Benzin/Diesel)

CO₂ Reduktion durch synthetische Kraftstoffe:

- Eine Forschung an alternativen Kraftstoffen, also Biodiesel, -ethanol oder Methanhydrat führt langfristig zu einer Öl-Unabhängigkeit und einer Regulation der CO₂-Emissionen. [66]
- Durch die Entwicklung und den Nutzen von synthetischen Kraftstoffen, auch E-Fuels genannt, werden herkömmliches Benzin oder Diesel durch Kraftstoffe ersetzt, die aus CO₂, Strom und Wasserstoff hergestellt werden. Diese sind aufgrund ihrer Herstellung CO₂-neutral und verbrennen nahezu rußfrei. [67]

Reduktion von Emissionen durch Abgas Vor- und Nachbehandlung:

- Durch eine Weiterentwicklung der heutigen Katalysatortechnik können Wirkungsgrade von bis zu 99% in der Reduktion des NO_x Ausstoßes erreicht werden [68]
- Durch die Nutzung eines zusätzlichen Elektromotors wird der Turbolader des Fahrzeugs in seiner Anlaufphase unterstützt, um auch in diesem ineffizienten Betriebspunkt den Gasdruck im Zylinder zu erhöhen. Hierdurch wird der Abgasausstoß verringert. [69]

Reduktion des Kraftstoffverbrauchs:

- Eine Abmagerung des Gasgemisches im Zylinder, was eine Erhöhung des Luftanteils und eine Verringerung des Benzinanteils im zu zündenden Gas des Kolbens bewirkt, führt zur Treibstoffeinsparung bei gleicher Leistung. Das hierdurch erschwerte Zünden wird durch eine spezielle Anordnung der Zündkerze und der Einspritzdüse sichergestellt. [69]
- Durch die Konstruktion von Modellen zur Abbildung des Abgasemissionsverhaltens können die emissionsintensivsten Betriebspunkte von verschiedensten Fahrzeugen ermittelt werden. Dies ist wichtig, um geeignete Gegenmaßnahmen für jeden untersuchten Antriebstyp zu finden [70]

Wirkungsgradsteigerung durch die Weiterentwicklung der Motoren:

- Ein Vergleich von Diesel-Pkw-Motoren mit stationären, nicht durch Bauraum limitierten Diesel-Motoren (beispielsweise eingesetzt in Schiffen und Kraftwerken), zeigt das noch vorhandene Potential der Wirkungsgradoptimierung herkömmlicher Verbrennungsmotoren. Diese erreichen aktuell bestenfalls 37%, wobei künftig bis zu 54%, wie bei Schiffsmotoren üblich, möglich sind. [66]
- Durch eine Abwärmenutzung der Motoren in Fahrzeugen, also die Umwandlung der Wärme in elektrische Energie, kann eine Steigerung der Energieausbeute des verwendeten Kraftstoffs erwirkt werden. Die gewonnene elektrische Energie wiederum kann dann für den Antrieb, die Bordelektronik, etc. verwendet werden. [66]

Vorteile Verbrennungsmotor (Benzin/Diesel):

- Günstige Anschaffungskosten
- Hohe Reichweiten
- Vollständig ausgebautes Tankstellennetz
- Verlässlichkeit bei heißen und kalten Außentemperaturen

Nachteile Verbrennungsmotor (Benzin/Diesel):

- Verbrennung ist immer mit lokalen Emissionen verbunden
- Schallemissionen
- Hohe Wartungskosten im Vergleich zum Elektroauto

Verbrennungsmotor (Gas)

CO₂ Reduktion durch synthetische Kraftstoffe:

- Durch die Forschung an der Erzeugung eines künstlichen Erdgases, hergestellt aus CO₂, Strom und Wasserstoff, kann in Zukunft herkömmliches Erdgas ersetzt werden. Da bei der Produktion CO₂ verwendet wird, führt dies zu einer erhöhten Nachhaltigkeit. [71]

Simulation und Entwicklung neuer Motorkonzepte

- Simulationen von Forschungseinrichtungen erlauben die Schlussfolgerung, dass Fahrzeuge, bei denen Gas in einem herkömmlichen Ottomotor verbrannt wird, in allen Betriebspunkten weniger Schadstoffe emittieren als bei der Verwendung von Benzin. [70]
- Bei der Forschung und Entwicklung speziell auf Gas ausgelegter Motoren, konnten diese noch nicht serienreifen Systeme Wirkungsgrade von bis zu 45% erreichen. Diese Motoren wurden nicht auf der Basis bereits existierender Motoren gebaut. [72]

Vorteile Verbrennungsmotoren (Gas)

- Umweltschonend im Vergleich zu Benzin und Diesel
- Geringere Kraftstoffkosten, da Erdgas subventioniert wird

Nachteile Verbrennungsmotoren (Gas)

- Kein flächendeckendes Tankstellennetz
- Geringere Reichweite als Benzin und Dieselfahrzeuge

Hybrid-Systeme

Wirkungsgradsteigerung durch die Kombination der verschiedenen Stärken einzelner Systeme:

- Eine Steigerung des Wirkungsgrades und somit eine Senkung des CO₂ Ausstoßes kann durch Hybridisierung von Fahrzeugen erreicht werden. Angefangen bei hochmotorisierten Fahrzeugen wird heutzutage die Hybridisierung von Fahrzeugen mit kleineren Motoren vorangetrieben. Die Wirkungsgradoptimierung ist hier jedoch nicht so effektiv. [66]
- Aktuelle Simulationen zum Verhalten von Brennstoffzellen in Elektrofahrzeugen ermöglichen deren Einsatz als Range Extender. Eine derartige Hybridisierung kann zu hohen Wirkungsgradsteigerungen führen. [73]

Reichweitenerhöhung durch Solarpanels

- Die Ausstattung von Plug-In-Hybriden, mit Solarpanels auf Dach und Motorhaube, ermöglichen eine Reichweitenerhöhung durch die direkte Nutzung der erzeugten Energie während der Fahrt oder ein Laden im Stillstand des Fahrzeugs. [74]

Vorteile Hybrid-Systeme (PHEV)

- Langstreckentauglich durch Verbrennungsmotor
- Sparsam im Stop-and-Go Verkehr und in der Stadt bei aufgeladener Batterie,
- Bremsenergie wird zurückgewonnen

Nachteile Hybrid-Systeme (PHEV)

- Ungenügende E-Reichweite durch geringe Batteriekapazität.
- Hoher Treibstoffverbrauch, sobald E-Reichweite überschritten ist.
- Hohes Fahrzeuggewicht mit komplexer Technik und tendenziell höheren Wartungskosten als herkömmliche Verbrenner, ganz abgesehen von wartungsarmen Elektrofahrzeugen.
- Eingeschränktes Platzangebot im Kofferraum und teilweise auch in der zweiten Sitzreihe aufgrund der beiden Antriebsarten.

Elektromotor (Batterie)

Kostenreduktion in der Produktion führt zu insgesamt günstigeren Batterien:

- Ein Ersetzen des kritischen und teuren Rohstoffes Lithium durch weit verbreitetes Natrium führt zu wesentlicher Förderung der Nachhaltigkeit und einer Reduktion der Kosten. Der Nachteil ist hier die geringere resultierende Energiedichte. [75]
- Durch neue, weiterentwickelte Produktionsverfahren wird versucht, eine Kostenreduktion zu erwirken. Ein Beispiel hierfür ist der Versuch, 3D-gedruckte Bauteile, wie den Stator, in Elektromotoren einzubringen und sogar ganze Motoren in 3D zu drucken. [76]
- Eine Kostenreduktion von Li-Ion Batterien kann ebenfalls durch eine kosteneffizientere Herstellung erreicht werden. In aktuellen Versuchen konnte bei der Elektrodenfertigung Zeit eingespart werden, was die Zellen kostengünstiger werden lässt. [77]

Höhere Reichweiten durch Steigerung der Energiedichte:

- Um mehr Energie in einem Fahrzeug zur Verfügung zu haben, werden viele neue Speicherkonzepte getestet. Die gewünschte Steigerung der Energiedichte der Batterien kann durch neue Materialien und Technologien, wie beispielsweise in der Entwicklung von Festkörperlzellen umgesetzt, erreicht werden. Diese Technologie benötigt keinen flüssigen Elektrolyt mehr, sondern basiert rein auf Lithiumverbindungen. [78]

Reduktion von Kobalt, Lithium und Nickel:

- Ein Trend in der Entwicklung neuer Konzepte ist das Einführen anorganischer, nicht brennbarer Elektrolyten in Batterien, in denen dann kein Kobalt mehr benötigt wird. Diese erhöhte Sicherheit und die längere Haltbarkeit als bei herkömmlichen Li-Ion-Zellen, steigert die Zuverlässigkeit von Batterien und senkt zudem den Preis. [79]

Vorteile Elektromotor (Batterie)

- Lokal emissionsfrei
- Leiser Betriebszustand
- Geringere Wartungskosten
- Starke Beschleunigung
- Kostenloses Parken in vielen Innenstädten und Kaufprämien
- Sehr gut geeignet für den Stadtverkehr

Nachteile Elektromotor (Batterie)

- Nicht langstreckentauglich
- Lange Ladezeiten,
- Teurer Anschaffungspreis,
- Hohes Gewicht

Elektromotor (Brennstoffzelle/H₂)

Polarisierte Wahrnehmung von FCEV aus Sicht der Bevölkerung

- „Einer Erhebung zufolge, deren Ergebnisse in der Studie "The Hydrogen Fuel Cell Vehicles - A Global Analysis" vor einigen Monaten publiziert wurden, sind von 2013 bis Ende 2017 erst 6364 Brennstoffzellenfahrzeuge weltweit verkauft worden.“ [80]

Erhöhung der Speichereffizienz und Erleichterung des Transports:

- Durch das Binden von H₂ an eine Trägerflüssigkeit, wie Dibenzyltoluol, steigt dessen umstrittene Speichereffizienz. Zudem wird das gesamte Handling, wie der Transport des Kraftstoffes, erleichtert, da für diesen flüssigen Stoff die bereits vorhandene petrochemische Infrastruktur genutzt werden kann. Diese umfasst Tankklaster, Tankstellen, etc. [81]

Kostenreduktion bei der Herstellung von Brennstoffzellen:

- Der Preis von Brennstoffzellen soll durch eine Verringerung und Ersetzen des Platingehalts in den Reaktoren erreicht werden. [73]
- Die derzeit wartungsanfälligen und stabilitätslimitierenden Keramikkomponenten in den Reaktoren werden durch Metallsubstrate in sogenannten „metallgestützten Brennstoffzellen“ ersetzt, wobei neben der Verbesserung der mechanischen Performance auch noch die Kosten gesenkt werden. [81] (Entwickelndes Institut [82])

Kostenreduktion bei der Herstellung von Wasserstoff:

- In der Herstellung von Wasserstoff wird eine Kostenreduktion durch eine effizientere Katalysereaktion angestrebt. Hierbei werden speziell entwickelte, kostengünstigere Katalysatormaterialien wie Nickel-Eisen-Nanoschwämme verwendet. [83]

Vorteile der Brennstoffzelle/H₂

- Emissionsfrei
- Wasserstoff ist in unendlicher Menge verfügbar
- Hohe Reichweiten (bis 600km)
- Schnelle Betankung (3-5 Minuten)
- Keine Motorengeräusche

Nachteile Brennstoffzelle/H₂

- Schlechter Wirkungsgrad im Vergleich zu Elektrofahrzeugen
- Schlecht ausgebaute Infrastruktur
- Hohe Anschaffungskosten

Auf der Siegerstraße bleiben: Automotive Cluster der Zukunft bauen

Projektbericht / Research Report

Autorinnen und Autoren:

Dr. Hans-Peter Kleebinder, unabhängiger Mobilitätsexperte, Speaker/Kurator und Studienleiter Smart Mobility Management an der Exekutive School der Universität St. Gallen

Dr. Anna Kleissner, Wirtschaftsforscherin und Mitglied des Vorstandes, Economica Institut für Wirtschaftsforschung, Wien.

Ing. Michael Semmer BSc BSc, Inhaber von Michael Semmer Advisory, Doppel-Masterand Tongji University, Shanghai und TU Graz

Impressum

Alle Angaben dieser Publikation beziehen sich grundsätzlich sowohl auf die weibliche als auch auf die männliche Form. Zur besseren Lesbarkeit wurde meist auf die zusätzliche Bezeichnung in weiblicher Form verzichtet.

Herausgeber

Council 4 GmbH