Automobile Wertschöpfung 2030/2050

Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie

Endbericht

IPE Institut für PolitikEvaluation
ika INSTITUT FÜR KRAFTFAHRZEUGE RWTH AACHEN UNIVERSITY
fka
Roland Berger

Impressum

Gesamtverantwortung

Universität des Saarlandes

Univ.-Prof. Dr. Ashok Kaul

Autoren

IPE Institut für Politikevaluation GmbH

Univ.-Prof. Dr. Marcus Hagedorn
Sandra Hartmann
Dr. Daniela Heilert

fka GmbH

Christian Harter
Ingo Olschewski

Institut für Kraftfahrzeuge, RWTH Aachen University

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Lutz Eckstein

Roland Berger GmbH

Markus Baum
Dr. Torsten Henzelmann
Dr. Thomas Schlick

Unter der Mitarbeit von Manuel Seid und Manuel Yoon.

Stand

Dezember 2019

Haftungsausschluss
Die Angaben im Text sind unverbindlich und dienen lediglich zu Informationszwecken. Ohne spezifische professionelle Beratungsleistung sollten keine Handlungen aufgrund der bereitgestellten Informationen erfolgen. Haftungsansprüche gegen IPE Institut für Politikevaluation GmbH, fka GmbH, Institut für Kraftfahrzeuge, RWTH Aachen University sowie Roland Berger GmbH, die durch die Nutzung der in der Publikation enthaltenen Informationen entstanden sind, sind grundsätzlich ausgeschlossen.

© 2019 IPE Institut für Politikevaluation GmbH, fka GmbH und Roland Berger GmbH. Alle Rechte vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis ... 7
Tabellenverzeichnis ... 12
Abkürzungsverzeichnis ... 13
Glossar ... 17
Executive Summary ... 21
Ziel und Aufbau der Studie ... 27
I. Vor welchen Herausforderungen steht die Automobilindustrie? ... 29
1. Trends und Treiber des Strukturwandels ... 29
1.1 Fokussierte Technologiepfade als Antwort auf den Strukturwandel ... 31
1.2 Technologiepfad Effizienzsteigerung und Emissionsvermeidung ... 36
1.3 Technologiepfad Vernetzung und Automatisierung ... 43
2. Wirkung der Technologiepfade auf fahrzeugtechnische Hauptgruppen ... 47
3. Ausblick: Wie Shared Mobility-Konzepte die Struktur der Wertschöpfung verändern werden ... 53
II. Wie ist die Automobilindustrie in Deutschland auf den Strukturwandel vorbereitet? ... 56
1. Allgemeine Situation ... 56
1.1 Status Quo ... 58
1.2 Perspektiven ... 68
1.3 Exkurs: Zuliefererbefragung ... 71
2. Elektrifizierung des Antriebsstrangs ... 73
2.1 Status Quo ... 73
2.2 Perspektiven ... 80
2.3 Exkurs: Zuliefererbefragung ... 83
3. Vernetztes und automatisiertes Fahren ... 86
3.1 Status Quo ... 86
3.2 Perspektiven ... 90
4. Neue Mobilitätskonzepte ... 93
4.1 Status Quo ... 94
4.2 Perspektiven ... 97
5. Digitalisierung von Produktion und Arbeit „Industrie 4.0“ ... 99
5.1 Status Quo ... 101
5.2 Perspektiven ... 103
III. Welche ökonomischen Folgen hat der sektorale Strukturwandel in der Automobilindustrie? ... 105
1. Methodik ... 107

1.1 Modellierung der Szenarien und der Referenzfahrzeuge ... 107
1.2 Schritt 1: Prognose von Absatz und Produktion ... 110
1.3 Schritt 2: Prognose der Wertschöpfung ... 111
1.4 Schritt 3: Prognose der Beschäftigungsentwicklung ... 112
1.5 Datenbasis ... 112
2. Annahmen ... 112
2.1 Szenariospezifische Annahmen ... 113
2.2 Szenarioübergreifende Annahmen ... 117
3. Zwischenergebnisse ... 129
3.1 Fahrzeugtechnische Entwicklung ... 130
3.2 Mobilitätsnachfrage ... 134
3.3 Modal Split, Motorisierungsgrad und Neuzulassungen in Deutschland ... 135
3.4 Produktion in Deutschland ... 138
3.5 Exporte ... 143
4. Ergebnisse ... 144
4.1 Automobilindustrie ... 145
4.2 Automobilhandel und Aftermarket ... 162
4.3 Arbeitsplatzeffekte in der Automobilindustrie, dem Automobilhandel und dem Aftermarket im Vergleich ... 165
4.4 Verflechtungen entlang der Wertschöpfungskette der Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen ... 166
4.5 Abschätzung des Umsatzpotenzials von Shared Mobility-Konzepten in Deutschland ... 170
5. Sensitivitätsanalyse ... 173
5.1 Handelsrestriktionen ... 174
5.2 Verstärkte Importe ... 178
6. Exkurs: Verschiebung der Qualifikationsniveaus und Kompetenzanforderungen durch Elektromobilität ... 180
6.1 Qualifikation der akademischen und beruflichen Erstausbildung sowie Weiterbildung ... 181
6.2 Kompetenzanforderungen und Berufe: Prognose des IAB und des BIBB ... 183
IV. Welche Perspektiven bietet die Elektromobilität für die Stromwirtschaft? ... 187
1. Das Stromnetz in der Verkehrs- und Energiewende ... 187
1.1 Struktur des Strommarktes in Deutschland ... 188
1.2 Funktion des Stromnetzes ... 190
1.3 Lokale Herausforderungen im Stromnetz ... 191
2. Wirtschaftliche Potenziale durch die Elektromobilität im Strommarkt ... 194
2.1 Herstellung von Hard- und Software für Ladeeinrichtungen ... 195

2.2 Vertrieb und Transport von Ladeinfrastrukturkomponenten ... 196
2.3 Installation ... 196
2.4 Betrieb der Ladesäule ... 197
2.5 Wartung und Reparatur der Ladeinfrastruktur ... 200
2.6 Mehrwertdienstleistungen ... 200
3. Potenzialanalyse von Geschäftsmodellen durch Elektromobilität im Strommarkt ... 205
3.1 Annahmen zum Ausbau der Ladeinfrastruktur und zu deren Integration ins Stromnetz ... 206
3.2 Zwischenergebnisse ... 208
3.3 Ergebnisse zu wirtschaftlichen Potenzialen je Geschäftsmodell ... 211
V. Wie kann die Politik die Transformation der Automobilindustrie erfolgreich begleiten? 215
1. Ordnungspolitische Leitlinien ... 216
2. Handlungsfelder und Methodik ... 217
3. Dekarbonisierung des Verkehrssektors ... 218
3.1 Ladeinfrastruktur und Ladesysteme ... 218
3.2 Batterietechnologie ... 222
3.3 Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie ... 224
3.4 Synthetische Kraftstoffe ... 229
4. Vernetztes und automatisiertes Fahren und Shared Mobility ... 231
4.1 Übergeordnete Maßnahmen ... 232
4.2 Digitale Infrastruktur und Datenstandards ... 234
4.3 Automatisierte Fahrfunktionen im Straßenverkehr ... 236
4.4 Neue Geschäftsmodelle ... 239
5. Strommarkt: Verkehrs- und Energiewende ... 245
5.1 Sektorkopplung: Vehicle-to-Grid Lösungen ... 246
5.2 Stromnetz ... 248
6. Regionalpolitische Handlungsfelder und Arbeitsmarkt ... 252
6.1 Anpassung von Qualifikationsanforderungen und Berufsbildern ... 252
6.2 Fachkräfte aus dem Ausland ... 257
6.3 Regionale Förderinstrumente ... 259
6.4 KMU-Förderung ... 260
Literaturverzeichnis ... 266
Anhang ... 284
1. Tabellen ... 284
2. Methodik ... 289
3. Referenzfahrzeuge ... 294

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im gesamten Text nur die männliche Form verwendet. Selbstverständlich sind beide Geschlechter gemeint.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Thematischer Aufbau der Studie ... 28
Abb. 2: Vernetzung und Automatisierung sowie Effizienzsteigerung und Emissionsvermeidung als künftige Technologiepfade ... 34
Abb. 3: Elektrifizierung des Antriebsstrangs ... 34
Abb. 4: Klassifikation von Automatisierungsstufen ... 36
Abb. 5: Geltende CO_2-Minderungsanforderungen in der EU, den USA und in China ... 37
Abb. 6: Herstellungspfade und Einsatzbereiche klimafreundlicher synthetischer Kraftstoffe ... 39
Abb. 7: Entwicklung der öffentlich zugänglichen Ladeinfrastruktur in Deutschland, 2009 bis 2019 ... 41
Abb. 8: Ladeinfrastruktur in Deutschland nach Ladesystemen, 2018 ... 42
Abb. 9: Systemaufbau zur Realisierung automatisierter Fahrfunktionen ... 50
Abb. 10: Tendenzielle Sensorausstattung nach Automatisierungslevel ... 50
Abb. 11: Automatisiertes fahrerloses Shuttle an einer Haltestelle ... 54
Abb. 12: Fahrerloses Taxi mit Smartphone-App ... 55
Abb. 13: Übersicht der Automobilwirtschaft ... 59
Abb. 14: Anteile von sozialversicherungspflichtig Beschäftigten, Wertschöpfung und Bruttoanlageinvestitionen in der Automobilindustrie (WZ29) an der deutschen Gesamtwirtschaft, 2011 bis 2018 ... 60
Abb. 15: Übersicht der Beschäftigung in der Automobilwirtschaft im Jahr 2018 ... 61
Abb. 16: Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte in der Automobilindustrie (WZ29), 2011 bis 2018 ... 62
Abb. 17: Produktion deutscher OEMs im In- und Ausland, 2011 bis 2018 ... 63
Abb. 18: Beschäftigung, Wertschöpfung und Umsatz in der Automobilindustrie, im Automobilhandel und Aftermarket, 2017 ... 64
Abb. 19: Realer Exportwert deutscher Zulieferer für Teile und Zubehör, 2011 bis 2018 ... 66
Abb. 20: Reale F&E-Ausgaben und deren Anteil am Gesamtumsatz in der Automobilindustrie, 2011 bis 2017 ... 67
Abb. 21: Entwicklung der Neuzulassungen von Pkw in Deutschland nach Antriebsart im Zeitverlauf, 2011 bis 2018 ... 74
Abb. 22 Marktanteile deutscher Konzernmarken in den wichtigsten Märkten, 2017 ... 77
Abb. 23: Patentanmeldungen in den Bereichen Verbrennungsmotor, Elektro- und Hybridantrieb, 2011 bis 2018 ... 77
Abb. 24: Patentanmeldungen zum autonomen Fahren, Januar 2010 bis Juli 2017 ... 89
Abb. 25: Wert der von den 16 weltweit größten Automobilkonzernen getätigten bzw. angekündigten Investitionen im Zeitraum 2010 bis 2017 nach Zielländern ... 103
Abb. 26: Schematische Darstellung der Modellierung ... 105

Abb. 27: Übersicht der Arbeitsschritte der Quantifizierung des Strukturwandels in der Automobilwirtschaft 106
Abb. 28: Definition der Szenarien 109
Abb. 29: Zusammenhang zwischen Absatz und Produktion von Pkw 111
Abb. 30: Unterstellte Entwicklung der Batteriekosten 116
Abb. 31: Entwicklung der Erwerbsbevölkerung, 2017 und in der Studie verwendete Prognose 2020 bis 2050 122
Abb. 32: Wertschöpfung pro Fahrzeug im SEG-2 im Referenzszenario 124
Abb. 33: Eckdaten der Entwicklung des SEG-2 im Referenzszenario 131
Abb. 34: Eckdaten der Entwicklung des SEG-2 im Szenario Verstärkte Elektrifizierung 132
Abb. 35: Eckdaten der Entwicklung des SEG-2 im Szenario Verstärkte Automatisierung 133
Abb. 36: Prognose der Personenkilometer (ohne Luftverkehr) in Deutschland, 2018 bis 2050 .. 134
Abb. 37: Entwicklung des Motorisierungsgrades, 2017 und Prognose 2020 bis 2050 137
Abb. 38: Pkw-Neuzulassungen in Deutschland, 2017 und Prognose 2020 bis 2050 137
Abb. 39: Pkw-Produktion nach Antriebsarten, 2017 und Prognose 2020 bis 2050 138
Abb. 40: Pkw-Produktion in Deutschland, 2017 und Prognose 2020 bis 2050 140
Abb. 41: Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen (BEV und PHEV) in unterschiedlichen Referenzszenarien, 2020 bis 2050 142
Abb. 42: Entwicklung der Exporte über die Szenarien, 2017 bis 2050 143
Abb. 43: Reale Wertschöpfung in der Automobilindustrie, 2017 und Prognose von 2020 bis 2050 146
Abb. 44: Prognose der Arbeitsplätze in der Automobilindustrie im Referenzszenario im Jahr 2050 148
Abb. 45: Arbeitsplätze in der Automobilindustrie, 2017 und Prognose von 2020 bis 2050 148
Abb. 46: Vergleich der Entwicklung der Arbeitsplätze in der Automobilindustrie und der Erwerbsbevölkerung für alle vier Szenarien, 2017 und Prognose 2020 bis 2050 150
Abb. 47: Verteilung der Beschäftigten und Betriebe in der Automobilindustrie (WZ29) nach Betriebsgrößenklassen, 2018 153
Abb. 48: Verteilung der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in der Automobilindustrie (WZ29) nach Bundesländern, 1. Quartal 2018 154
Abb. 49: Veränderung der Arbeitsplätze in der Automobilindustrie im Progressiven Szenario nach Bundesländern, 2017 und Prognose von 2020 bis 2040 155
Abb. 50: Prognostizierte Entwicklung der Erwerbsbevölkerung (15 bis 64 Jahre) bis 2030 und 2040 nach Bundesländern 155
Abb. 51: Prognostizierter Anteil der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in der Automobilindustrie (WZ29) an der Gesamtwirtschaft im Progressiven Szenario, 2017 und Prognose 2030 bis 2040 156
Abb. 52: Anteile von sozialversicherungspflichtig Beschäftigten bei Zulieferern (WZ29.3) an der Automobilindustrie (WZ29) nach Bundesländern, 1. Quartal 2018 157

Abb. 53: Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte bei Zulieferern (WZ29.3) nach Bundesländern, 1. Quartal 2018 ... 158
Abb. 54: Verteilung der Beschäftigten in WZ29 auf Qualifikationsniveaus in Deutschland, 2012 und 2018 ... 159
Abb. 55: Verteilung der Beschäftigten in WZ29.1 (OEMs) und WZ29.3 (Zulieferer) auf Qualifikationsniveaus in Deutschland, 2012 und 2018 ... 160
Abb. 56: Prognostizierte Entwicklung des Arbeitsangebots nach beruflichem Anforderungsniveau (BIBB und BMAS) ... 161
Abb. 57: Angebot und Nachfrage nach Experten mit mindestens vierjährigem abgeschlossenem Hochschulstudium, 2015 und IAB/BIBB-Prognose 2020 bis 2035 ... 161
Abb. 58: Arbeitsplätze im Automobilhandel und Aftermarket, 2017 und Prognose von 2020 bis 2050 ... 162
Abb. 59: Arbeitsplätze im Automobilhandel, 2017 und Prognose 2020 bis 2050 ... 163
Abb. 60: Arbeitsplätze im Aftermarket, 2017 und Prognose 2020 bis 2050 ... 164
Abb. 61: Arbeitsplätze in der Automobilindustrie, Automobilhandel und Aftermarket im Referenzszenario, 2017 und Prognose von 2030 bis 2050 ... 165
Abb. 62: Arbeitsplätze in verflochtenen Sektoren (ohne WZ29,45), 2015 und Prognose 2017 bis 2030 ... 166
Abb. 63: Prognose der Veränderung der Arbeitsplätze in verflochtenen Sektoren nach Wirtschaftszweig, Prognose bis 2030 ... 168
Abb. 64: Umsatzpotenziale Shared Mobility, 2016* und Prognose von 2017 bis 2030 ... 173
Abb. 65: Reales Wachstum der Teile-Exporte nach China, 2011 bis 2017 ... 177
Abb. 66: Potenzielle Arbeitsplatzeffekte bei Erhöhung der US-Importzölle oder einer Verschärfung der Local-Content Anforderungen, 2017 und Prognose 2020 bis 2050 ... 178
Abb. 67: Marktanteile im europäischen Pkw-Markt (Europäische Union (EU) + Europäische Freihandelsassoziation (EFTA)), 2017 ... 179
Abb. 68: Potenzielle Arbeitsplatzeffekte bei einer Aufhebung der EU-Importzölle, 2017 und Prognose 2020 bis 2050 ... 180
Abb. 69: Differenz des Bedarfs an Beschäftigten (Erwerbstätige) zwischen IAB/BIBB-Basis- und Elektromobilitätsszenario nach Anforderungsniveau, Prognose 2020 bis 2035 ... 184
Abb. 70: Bedarf an Erwerbspersonen in typischen Berufen der Herstellung und des Vertriebs von Fahrzeugen, IAB/BIBB-Prognose 2020 bis 2035 ... 185
Abb. 71: Nachfragerückgang im IAB/BIBB-Elektromobilitätsszenario nach Berufen, Prognose 2035 ... 186
Abb. 72: Entwicklung der öffentlichen Ladeinfrastruktur, 2018 und Prognose 2020 bis 2030 ... 210
Abb. 73: Entwicklung der privatem Ladeinfrastruktur, Prognose 2020 bis 2030 ... 211
Abb. 74: Arbeitsplätze für den Bau und Unterhalt privater Ladeinfrastruktur, Prognose von 2020 bis 2030 ... 211
Abb. 75: Übersicht der Handlungsfelder ... 216
Abb. 76: Marktteilnehmer im Roland Berger Automotive Profit Pool Modell mit Beispielunternehmen ... 289

Abb. 77: Berechnungslogik Roland Berger Automotive Profit Pool Modell 291
Abb. 78: Roland Berger Automotive Profit Pool Modell: Modellstruktur 292
Abb. 79: Technologieauswahl Fahrzeugkonfigurationen 294
Abb. 80: Status Quo der Referenzfahrzeuge SEG-1 295
Abb. 81: Status Quo der Referenzfahrzeuge SEG-2 296
Abb. 82: Status Quo der Referenzfahrzeuge SEG-3 297
Abb. 83: Referenzszenario – SEG-1 – Konventioneller Antriebsstrang 298
Abb. 84: Referenzszenario – SEG-1 – Hybrider Antriebsstrang 299
Abb. 85: Referenzszenario – SEG-1 – Batterieelektrischer Antriebsstrang 300
Abb. 86: Referenzszenario – SEG-2 – Konventioneller Antriebsstrang 301
Abb. 87: Referenzszenario – SEG-2 – Hybrider Antriebsstrang 302
Abb. 88: Referenzszenario – SEG-2 – Batterieelektrischer Antriebsstrang 303
Abb. 89: Referenzszenario – SEG-2 – Brennstoffzellenfahrzeug 304
Abb. 90: Referenzszenario – SEG-3 – Konventioneller Antriebsstrang 305
Abb. 91: Referenzszenario – SEG-3 – Hybrider Antriebsstrang 306
Abb. 92: Referenzszenario – SEG-3 – Batterieelektrischer Antriebsstrang 307
Abb. 93: Verstärkte Elektrifizierung – SEG-1 – Konventioneller Antriebsstrang 308
Abb. 94: Verstärkte Elektrifizierung – SEG-1 – Hybrider Antriebsstrang 309
Abb. 95: Verstärkte Elektrifizierung – SEG-1 – Batterieelektrischer Antriebsstrang 310
Abb. 96: Verstärkte Elektrifizierung – SEG-2 – Konventioneller Antriebsstrang 311
Abb. 97: Verstärkte Elektrifizierung – SEG-2 – Hybrider Antriebsstrang 312
Abb. 98: Verstärkte Elektrifizierung – SEG-2 – Batterieelektrischer Antriebsstrang 313
Abb. 99: Verstärkte Elektrifizierung – SEG-2 – Brennstoffzellenfahrzeug 314
Abb. 100: Verstärkte Elektrifizierung – SEG-3 – Konventioneller Antriebsstrang 315
Abb. 101: Verstärkte Elektrifizierung – SEG-3 – Hybrider Antriebsstrang 316
Abb. 102: Verstärkte Elektrifizierung – SEG-3 – Batterieelektrischer Antriebsstrang 317
Abb. 103: Verstärkte Automatisierung – SEG-1 – Konventioneller Antriebsstrang 318
Abb. 104: Verstärkte Automatisierung – SEG-1 – Hybrider Antriebsstrang 319
Abb. 105: Verstärkte Automatisierung – SEG-1 – Batterieelektrischer Antriebsstrang 320
Abb. 106: Verstärkte Automatisierung – SEG-2 – Konventioneller Antriebsstrang 321
Abb. 107: Verstärkte Automatisierung – SEG-2 – Hybrider Antriebsstrang 322
Abb. 108: Verstärkte Automatisierung – SEG-2 – Batterieelektrischer Antriebsstrang 323
Abb. 109: Verstärkte Automatisierung – SEG-2 – Brennstoffzellenfahrzeug 324
Abb. 110: Verstärkte Automatisierung – SEG-3 – Konventioneller Antriebsstrang 325
Abb. 111: Verstärkte Automatisierung – SEG-3 – Hybrider Antriebsstrang 326

Abb. 112: Verstärkte Automatisierung – SEG-3 – Batterieelektrischer Antriebsstrang 327
Abb. 113: Progressives Szenario – SEG-1 – Konventioneller Antriebsstrang 328
Abb. 114: Progressives Szenario – SEG-1 – Hybrider Antriebsstrang 329
Abb. 115: Progressives Szenario – SEG-1 – Batterieelektrischer Antriebsstrang 330
Abb. 116: Progressives Szenario – SEG-2 – Konventioneller Antriebsstrang 331
Abb. 117: Progressives Szenario – SEG-2 – Hybrider Antriebsstrang 332
Abb. 118: Progressives Szenario – SEG-2 – Batterieelektrischer Antriebsstrang 333
Abb. 119: Progressives Szenario – SEG-2 – Brennstoffzellenfahrzeug 334
Abb. 120: Progressives Szenario – SEG-3 – Konventioneller Antriebsstrang 335
Abb. 121: Progressives Szenario – SEG-3 – Hybrider Antriebsstrang 336
Abb. 122: Progressives Szenario – SEG-3 – Batterieelektrischer Antriebsstrang 337

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Neuzulassungen von elektrifizierten Pkw (BEV, PHEV, REEV und FCEV) (Europäische Union (EU) + Europäische Freihandelsassoziation (EFTA)), 2013 und 2018 75

Tab. 2: Pilotprojekte zur Integration von automatisierten Fahrzeugen und Ridepooling in das Angebot des ÖPNV 95

Tab. 3: Berechnung der Importquoten 120

Tab. 4: Verflechtungen der inländischen Produktion von Kraftwagen und Kraftwagenteilen (WZ29), 2015 127

Tab. 5: Entwicklung des Modal Split, 2017 bis 2030 136

Tab. 6: Prognose der Veränderung der Arbeitsplätze in der Automobilindustrie, 2017 und Prognose von 2020 bis 2050 149

Tab. 7: Prognose der Veränderung der Arbeitsplätze im Automobilhandel und Aftermarket, 2017 und Prognose von 2020 bis 2050 163

Tab. 8: Prognose der Veränderung der Arbeitsplätze in verflochtenen Sektoren, 2017 und Prognose 2020 bis 2050 167

Tab. 9: Datenquellen 284

Tab. 10: Vergleich der Einführung von Automatisierungsstufen in den Referenzfahrzeugen des SEG-2 286

Tab. 11: Input-Output-Tabelle (inländischen Produktion von Kraftwagen und Kraftwagenteilen (WZ29)), 2015 287

Tab. 12: Übersicht Pkw-Produktion nach Antriebsart 288

Tab. 13: Regionen des Automotive Profit Pool Modells 293

Abkürzungsverzeichnis

AC: Alternating current/Wechselstrom
ACEA: European Automobile Manufacturers' Association
ADAC: Allgemeiner Deutscher Automobilclub
ADAS: Advanced Driver Assistance Systems/Fahrerassistenzsystem
AG: Aktiengesellschaft
B2B: Business-to-Business
BAB: Bundesautobahn
BAFA: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BDEW: Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
BDI: Bundesverbands der Deutschen Industrie
BEV: Battery Electric Vehicle/Batterie-elektrisches Fahrzeug
BIBB: Bundesinstitut für Berufsbildung
BIP: Bruttoinlandsprodukt
BHO: Bundeshaushaltsordnung
BMAS: Bundesamt für Arbeit und Soziales
BMBF: Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMVI: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWi: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BuW: Begleit- und Wirkungsforschung Schaufenster Elektromobilität
CAM: Center of Automotive Management
CAPEX: Capital expenditure/Investitionsausgaben
CCS: Combined charging system/Kombiniertes Ladesystem (europäischer Standard)
CFO: Chief Financial Officer
CPO: Charge Point Operator
CNG: Compressed Natural Gas/Erdgas
DAT: Deutsche Automobil Treuhand
DC: Direct current/Gleichstrom
DIN: Deutsches Institut für Normung
DLR: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
DSGVO: Datenschutzgrundverordnung
DTA: Digitales Testfeld Autobahn
EAFO: European Alternative Fuels Observatory
EBIT: Earnings Before Interest and Taxes/Gewinn vor Zinsen und Steuern
EC: EU Transport in figures

ECF: European Climate Foundation
EEX: European Energy Exchange/Marktplatz für Energie
EFTA: Europäische Freihandelsassoziation
EmoG: Elektromobilitätsgesetz
EMP: E-Mobility Provider
EnBW: Energie Baden-Württemberg AG
EnWG: Energiewirtschaftsgesetz
EU: Europäische Union
EV: Electric Vehicle/Elektrofahrzeug
FCEV: Fuel Cell Electric Vehicle/Brennstoffzellenfahrzeug
FGH Forschungsgemeinschaft für Elektrische Anlagen und Stromwirtschaft e.V.
FZ: Fahrzeugzulassungen
F&E: Forschung und Entwicklung
GWS: Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung
HEV: Hybrid Electric Vehicle/Hybridfahrzeug
HMI: Human Machine Interface (Mensch-Machine-Schnittstelle)
IAB: Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung
IAF: Institut für Arbeitswissenschaft, Fabrikautomatisierung und Fabrikbetrieb
IEA: International Energy Agency
ICE: Internal Combustion Engine/Fahrzeug mit Verbrennungsmotor (Benzin und Diesel)
IFMO: Institut für Mobilitätsforschung
IW: Institut der deutschen Wirtschaft Köln
IFA: Institut für Automobilwirtschaft
IKT: Informations- und Kommunikationstechnik
KBA: Kraftfahrt-Bundesamt
KFZ: Kraftfahrzeug
KldB: Klassifikation der Berufe
KMU: Kleine und mittelständische Unternehmen
KOAF: Kommunikations- und Koordinierungsplattform Automatisiertes Fahren
kWh: Kilowattstunde
LIB: Lithium-Ionen-Batterie
LIS: Ladeinfrastruktur
LNG: Liquefied Natural Gas/Flüssiges Erdgas
LPG: Liquefied Petrolium Gas/Flüssiggas
MaaS: Mobility-as-a-Service
MEW: Verband der mittelständischen Energiewirtschaft

MLR: Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
MVV: Mannheimer Versorgungs- und Verkehrsgesellschaft
NEFZ: Neuer europäischer Fahrzyklus (Vorgänger des WLTP-Messverfahrens)
NFC: Near Field Communication/Kontaktloses zahlen mit Kredit-/Girokarte
NFZ: Nutzfahrzeug
NPE: Nationale Plattform Elektromobilität (ging zum 01.01.2019 in NPM über)
NPM: Nationale Plattform Zukunft der Elektromobilität
OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development
OEM: Original Equipment Manufacturer/Automobilhersteller
OICA: Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles
OMV Österreichischer Erdöl- und Erdgaskonzern
OPEX: Operational Expenditure/Betriebsausgaben
ÖPNV: Öffentlicher Personennahverkehr
ÖPV: Öffentlicher Personenverkehr
OTA: Over-the-Air
PAYD: Pay-As-You-Drive
PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicle
Pkm: Personenkilometer
Pkw: Personenkraftwagen
RED II: Renewable Energy Directive II
REEV: Range-extended Electric Vehicle/Elektrofahrzeug mit Reichweitenverlängerer
SAE: Society of Automotive Engineers
SMA: System-, Mess- und Anlagentechnik
StVZO: Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
SUV: Sport utility vehicle
TCO: Total Cost of Ownership
THG: Treibhausgas
TU: Technische Universität
UNIDO: United Nations Industrial Development Organization
USA: Vereinigte Staaten von Amerika
V2V: Vehicle-to-Vehicle-Kommunikation
V2I: Vehicle-to-Infrastructure-Kommunikation
V2X: Vehicle-to-X/Vehicle-to-Everything-Kommunikation
VDA: Verband der Automobilindustrie
VDMA: Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer
VGR: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung

VKU: Verband kommunaler Unternehmen

WLTP: Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure (Nachfolger des NEFZ)

WWF: World Wide Fund for Nature (Profitfreie Stiftung für Umweltorganisation)

WZ: Wirtschaftszweig

xEV: Electric vehicle/Elektrofahrzeug

ZEW: Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH Mannheim

ZLEV: Zero and low emission vehicle

Glossar

Aftermarket

beinhaltet den Teilehandel sowie Arbeit von Werkstätten. Gemäß der Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ 2008) des Statistischen Bundesamtes werden „Instandhaltung und Reparatur von Kraftwagen“ (WZ45.2) und der „Handel mit Kraftwagenteilen und -zubehör“ (WZ45.3) als Aftermarket definiert.

Anforderungsniveau (auch Kompetenzanforderungen)

bildet den Komplexitätsgrad eines Berufs durch vier Anforderungsniveaus entsprechend der Klassifikation der Berufe (KldB2010) ab: „Helfer- und Anlerntätigkeiten“ (kurz: Helfer), „fachlich ausgerichtete Tätigkeiten“ (kurz: Fachkräfte), „komplexe Spezialistentätigkeiten“ (kurz: Spezialisten) und „hoch komplexe Tätigkeiten“ (kurz: Experten). Es wird angenommen, dass bestimmte Fähigkeiten, Fertigkeiten und Kenntnisse zur Ausübung eines Berufs erforderlich sind, welche das Anforderungsniveau abbildet. Entscheidend für die Zuweisung ist die typische formale Qualifikation (s. Qualifikationsniveau) für einen Beruf und nicht die tatsächliche Qualifikation, die eine Person mitbringt. So ist für Helfer- und Anlerntätigkeiten keine bzw. eine einjährige Berufsausbildung erforderlich. Fachlich ausgerichtete Tätigkeiten erfordern eine mindestens 2-jährige Berufsausbildung oder einen berufsqualifizierenden Abschluss einer Berufsfach- oder Kollegschule. Für komplexe Spezialistentätigkeiten wird eine Meister- oder Technikerausbildung bzw. ein gleichwertiger Fachschul- oder Hochschulabschluss benötigt. Auch der Abschluss einer Fach- oder Berufsakademie oder gegebenenfalls der Bachelorabschluss einer Hochschule erfüllen dieses Anforderungsniveau. Hoch komplexe Tätigkeiten erfordern typischerweise ein mindestens vierjähriges, abgeschlossenes Hochschulstudium.

Automobilhandel

erfasst den Verkauf von Neu- und Gebrauchtwagen. Im Folgenden wird gemäß der Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ 2008) des Statistischen Bundesamtes der „Handel mit Kraftwagen“ (WZ45.1) als Automobilhandel definiert.

Automatisiertes Fahren

beschreibt Funktionen, die den Fahrer bei der Erfüllung seiner Fahraufgabe unterstützen. Zur Abgrenzung der Funktionsumfänge von Fahrerassistenz- und Automatisierungssystemen wird die sechsstufige SAE-Skala angewendet (SAE, 2016), welche von Level 0 (Keine Automatisierung) bis Level 5 (Fahrerloses Fahren) reicht. Mit steigendem Level steigt auch der Funktionsumfang des Systems und die Verantwortung des Fahrers für die Fahraufgabe nimmt ab. Im teilautomatisierten Fahren (Level 2) muss der Fahrer die Längs- und Querführung sowie den Verkehr dauerhaft überwachen. In hochautomatisierten Fahrzeugen (Level 3) ist keine dauerhafte Überwachung des Fahrers notwendig. Das System erkennt seine Grenzen selbst und fordert die Übernahme durch den Fahrer rechtzeitig an. Im Fall der Vollautomatisierung (Level 4) kann das System im spezifischen Anwendungsfall alle Situationen automatisch bewältigen. In Level 5 ist fahrerloses Fahren möglich. Das System kann während der gesamten Fahrt alle Situationen automatisch bewältigen.

Battery Electric Vehicle (BEV)

batterie-elektrische Fahrzeuge, die durch einen Elektromotor angetrieben werden und ihre Energie aus einer extern aufladbaren Batterie erhalten.

Bruttowertschöpfung

Maßstab für den ökonomisch relevanten (direkten) Beitrag einer Branche zur gesamtwirtschaftlichen Leistung. Diese wird durch Abzug der Vorleistungen von den Produktionswerten errechnet und umfasst damit nur den im Produktionsprozess geschaffenen Mehrwert.

Carpooling

Gruppe von Personen, die regelmäßig gemeinschaftlich ein Fahrzeug zur Zurücklegung einer gemeinsamen Wegstrecke nutzt.

Carsharing

das Angebot oder die Vermittlung eines Kraftfahrzeuges zur kurzzeitigen Nutzung. Die Aufnahme und Rückgabe von Fahrzeugen im Carsharing kann stationsbasiert oder stationsunabhängig organisiert sein. „Stationsbasiertes Carsharing“ lässt dabei Anfang und Ende der Kurzzeitmiete nur an vordefinierten Stationen zu. Bei „Free Floating Carsharing“-Konzepten kann der Nutzer seine Miete an jedem Punkt innerhalb eines definierten Gebiets beenden, z.B. auf einem öffentlichen Parkplatz.

Deutsche Automobilhersteller (OEM)

Automobilhersteller, die in Deutschland Pkw produzieren. Dazu zählen die Marken BMW, Mercedes-Benz, VW, Smart, Audi, Porsche, Opel und Ford.

Elektrofahrzeuge

Sammelbegriff für BEVs, PHEVs, REEVs und FCEVs.

eRoaming

bietet für Besitzer von Elektrofahrzeugen die Möglichkeit, an Ladesäulen Strom zu beziehen – unabhängig davon, mit welchem Ladesäulenbetreiber sie einen Vertrag geschlossen haben. Der Zugang wird beispielsweise über eine Ladekarte realisiert und die Autorisierung und Abrechnung erfolgt über das eRoaming.

Fuel Cell Electric Vehicles (FCEV)

Fahrzeuge mit Brennstoffzelle, die auch zu Elektromobilität hinzugerechnet werden, da sie einen Elektromotor besitzen.

Hochvoltsystem

Systeme und Bauteile eines Kraftfahrzeuges, die mit Gleichspannung über 60 Volt und bis zu 1.500 Volt oder mit Wechselspannung über 30 bis höchstens 1.000 Volt betrieben werden, insbesondere bei Hybrid- und Brennstoffzellentechnologie sowie Elektrofahrzeugen.

Hybrid Electric Vehicle (HEV)

reine Hybridfahrzeuge. Dazu zählen sowohl Full-Hybride als auch Mild- und Microhybride. Sie sind nicht extern aufladbar.

Kleine und mittlere Unternehmen (KMU)

Betriebe mit weniger als 250 Beschäftigten. Zu beachten ist dabei die Abweichung zur EU-Empfehlung: Entsprechend der EU-Empfehlung 2003/361/EU sind KMU durch weniger als 250 Beschäftigte und einen Jahresumsatz von max. 50 Mio. Euro definiert.

Mobility-as-a-Service (MaaS)

Konzept für die inter- und multimodale Mobilität im Personen- und Gütertransport, das alle bekannten Verkehrsträger integriert.

Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)

Fahrzeuge, die sowohl einen konventionellen als auch einen elektrischen Antriebsstrang besitzen. Außerdem verfügen sie über eine extern aufladbare Batterie.

Qualifikationsniveau

bezeichnet den höchsten Berufsabschluss, den eine Person erworben hat. Die Bundesagentur für Arbeit unterscheidet hierbei zwischen „Ausbildung unbekannt“, „ohne beruflichen Ausbildungsabschluss“, „mit anerkanntem Berufsabschluss“ und „mit akademischem Berufsabschluss“. Zu den anerkannten Berufsabschlüssen zählen „anerkannte Berufsausbildungen“ und „Meister-, Techniker-, sowie gleichwertige Abschlüsse“. Unter akademische Abschlüsse fallen „Bachelor, Master, Diplom, Magister, Staatsexamen und Promotion“.

Range Extended Electric Vehicle (REEV)

Elektrofahrzeug mit Reichweitenverlängerer und zwei Antriebssträngen, wobei der Fokus jedoch auf dem elektrischen Antriebsstrang liegt. Der Verbrennungsmotor dient lediglich dazu, die Batterie aufzuladen und somit die Reichweite des Fahrzeugs zu verlängern.

Ridepooling

Zusammenlegung von Verkehrsbedarfen einzelner Personen auf weitgehend deckungsgleichen Wegstrecken mittels Fahrzeugen, die nicht zum ÖPNV gehören.

Ridesharing

Mitnahme von Passagieren auf einer ohnehin stattfindenden und nicht kommerziell angesetzten Fahrt mit einem Fahrzeug des Individualverkehrs.

Shared Mobility

Konzepte zur flexiblen Nutzung von Mobilität, ohne ein eigenes Fahrzeug besitzen zu müssen. Dies wird unter anderem durch Carsharing, Ridesharing und Ridepooling realisiert.

Smart Grids

bezeichnen ein intelligentes Stromnetz. Ein Stromnetz wird dann intelligent, wenn innerhalb des Netzes ein Informationsaustausch erfolgt, mit dessen Hilfe die Stromerzeugung, der Verbrauch und die Speicherung dynamisch gesteuert und überwacht werden können.

Synthetische Kraftstoffe

können sowohl gasförmig als auch flüssig sein und gleichen in ihrer Zusammensetzung zwar herkömmlichen Kraftstoffen wie Benzin oder Erdgas, werden jedoch unter Aufwendung großer Mengen Energie aus Wasser- und Kohlenstoff hergestellt.

Total Cost of Ownership (TCO)

Gesamthaltungskosten eines Gutes, die für den Nutzer anfallen. Neben den Anschaffungskosten fallen somit sämtliche Kosten in die Betrachtung, welche durch den Einsatz des Gutes im Laufe seiner Nutzungsdauer anfallen. Das können etwa Energiekosten, Wartungskosten oder Kosten für Versicherungen sein. Für weitere Informationen siehe auch Kasten 1.

Vehicle-to-Infrastructure-Kommunikation (V2I)

Austausch von Informationen zwischen Fahrzeugen mit Elementen der Straßeninfrastruktur.

Vehicle-to-Vehicle-Kommunikation (V2V)

Austausch von Informationen des einzelnen Fahrzeugs mit anderen Fahrzeugen.

Vernetztes Fahren

die Kommunikation von Fahrzeugen untereinander, aber auch mit der Infrastruktur oder anderen Personen. Informationen, die untereinander ausgetauscht werden, beziehen sich beispielsweise auf den Verkehrsfluss, Unfälle, Baustellen oder die Wetterlage.

Wallbox

eine Wandladestation, d.h. eine Ladeeinrichtung, die an der Wand befestigt wird.

Zero and Low Emission Vehicle (ZLEV)

Pkw oder leichte Nutzfahrzeuge, die weniger als 50 g CO_2/km ausstoßen.

Executive Summary

Die Automobilwirtschaft steht vor zwei einschneidenden Veränderungen: Erstens werden konventionelle Fahrzeugantriebe sukzessive durch Elektrofahrzeuge verdrängt. Zweitens werden sich Menschen künftig völlig anders fortbewegen: Automatisierte Fahrfunktionen, vernetzte Mobilität und neue intermodale Mobilitätsdienstleistungen treiben diese Entwicklung voran. Insgesamt wird der sektorale Strukturwandel den Industriestandort Deutschland maßgeblich verändern. Denn die Automobilwirtschaft ist die wirtschaftsstärkste Branche des Landes. Sie sichert 2,2 Mio. und damit sieben Prozent der Arbeitsplätze in Deutschland. Darüber hinaus tätigen die Unternehmen in der Automobilindustrie mehr als ein Drittel der deutschen Investitionen in Forschung und Entwicklung (F&E). Die Automobilindustrie ist damit die forschungsstärkste Branche in Deutschland.

Die Studie „Automobile Wertschöpfung 2030/2050“ im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) untersucht die aktuellen Herausforderungen und die Folgen des Strukturwandels in der Automobilwirtschaft. Aus der Analyse werden wirtschaftspolitische Handlungsempfehlungen abgeleitet, mit dem Ziel, die Bedeutung der Automobilwirtschaft für den Innovations- und Industriestandort Deutschland auch in Zukunft zu erhalten. Nur so können Wertschöpfung und wettbewerbsfähige Arbeitsplätze dauerhaft gesichert werden.

Um die Unsicherheit zukünftiger Entwicklungen adäquat zu berücksichtigen, betrachten wir den Pkw-Bereich entlang vier Szenarien. Diese gehen in ihren Grundannahmen von jeweils unterschiedlichen technologischen und regulatorischen Entwicklungen aus und damit auch von einer unterschiedlich schnellen Marktdurchdringung der Elektromobilität und automatisierter Fahrfunktionen in den untersuchten Zeiträumen bis 2030, 2040 und darüber hinaus.

Unabhängig vom jeweiligen Szenario verändern Elektromobilität und automatisierte Fahrfunktionen die Zusammensetzung eines Fahrzeugs – aber unterschiedlich stark: Während die Elektromobilität insbesondere auf einem fundamental veränderten Antriebsstrang beruht, basiert das automatisierte Fahren vor allem auf technologischen Innovationen in den Bereichen Elektrik und Elektronik sowie Softwaresteuerung. Für Letzteres muss etwa die Sensorausstattung der Fahrzeuge zur Umfeldwahrnehmung grundlegend angepasst werden. Für die Produktion, Wertschöpfung und Beschäftigungssituation in Deutschland haben diese Veränderungen teils schwerwiegende Konsequenzen. Zudem werden Elektromobilität und das automatisierte Fahren völlig neue Qualifikationsanforderungen an die Beschäftigten der Automobilindustrie stellen.

Folgende zentralen Erkenntnisse lassen sich aus der Analyse ableiten:

Die Zahl der Arbeitsplätze in der deutschen Automobilwirtschaft wird zunächst im Zuge der Umstellung auf Elektromobilität zurückgehen. Längerfristig wird das Vordringen von Shared Mobility und fahrerlosen Mobilitätsangeboten zu einem weiteren deutlichen Rückgang von Arbeitsplätzen führen.

Die Elektromobilität wird insbesondere durch die europäische CO_2-Flottenregulierung vorangetrieben. Gleichzeitig wird die Effizienz des Verbrennungsmotors weiter optimiert, der zumindest bis 2030 noch in der Mehrheit aller neuen Pkw verbaut werden dürfte. Im darauffolgenden Jahrzehnt gewinnen die Elektrofahrzeuge aber die Oberhand und werden bis 2040 je nach Szenario einen Anteil von 70% bis 85% an allen Pkw-Neuzulassungen in Deutschland erreichen. Für die Produktion bedeutet der Wandel hin zur Elektromobilität,

dass sich nicht nur die im Pkw verbauten Komponenten verändern, sondern deren Anzahl auch maßgeblich verringert wird. Im Ergebnis wird der Anteil des Antriebsstrangs (ohne Batterie) an der automobilen Wertschöpfung eines Pkw deutlich sinken. Diese Entwicklung schadet vor allem deutschen Zulieferern, die bei der Herstellung der betroffenen Komponenten aktuell führende Weltmarktpositionen einnehmen. Diese Zulieferer müssen ihre Geschäftsmodelle und ihre Produktangebote entsprechend anpassen, was erhebliche Investitionen in F&E, die Umstellung bestehender Produktionslinien und die Umqualifizierung der Beschäftigten erfordert.

Für automatisiertes Fahren und Shared Mobility-Konzepte wird die Schaffung eines regulatorischen Rahmens und der Ausbau der digitalen Straßen- und Mobilfunkinfrastruktur ein zentraler Treiber des Strukturwandels sein. Neue Shared Mobility-Konzepte führen durch die effizientere Nutzung der Fahrzeuge zu einer abnehmenden Fahrzeugnachfrage. Dies kann durch fahrerlose Mobilitätsangebote noch verstärkt werden. Automobilhersteller und Zulieferer werden deshalb versuchen, Lösungen zu finden, um dem drohenden Rückgang des Fahrzeugabsatzes infolge von Nutzungsänderungen durch neue Geschäftsmodelle entgegenzuwirken.

In jedem Fall werden die Elektrifizierung des Pkw-Marktes, das automatisierte Fahren sowie neue Angebote für Shared Mobility die Automobilwirtschaft fundamental verändern.

Sowohl in der Automobilindustrie als auch im Automobilhandel und Aftermarket sind bis 2040 jeweils bis zu 300.000 Arbeitsplätze gefährdet. Das entspricht etwa jeweils einem Drittel bzw. der Hälfte der Beschäftigten im Jahr 2017.

Das Startjahr des Modells ist das Jahr 2017. Bis 2040 werden in der deutschen Automobilindustrie, je nach Szenario, zwischen 130.000 und 300.000 der – auf Basis von Daten der Bundesagentur für Arbeit – 920.000 Arbeitsplätze im Jahr 2017 verlorengehen. Im Automobilhandel und im Aftermarket sind noch einmal zwischen 250.000 und 300.000 der insgesamt 640.000 Arbeitsplätze gefährdet. Zusätzlich kann es in eng mit der Automobilindustrie verbundenen Industrien, wie zum Beispiel im Bereich der Metallerzeugnisse oder der Gummi- und Kunststoffwaren, bis 2030 zu einem weiteren Rückgang von 40.000 bis 70.000 Arbeitsplätzen kommen.

Der Beschäftigungsrückgang wird von verschiedenen Faktoren getrieben. Ein Teil wird durch arbeitsplatzsparenden technischen Fortschritt verursacht, der durch Elektromobilität zusätzlich verstärkt wird. Eine weitere Ursache für den Arbeitsplatzabbau ist auf einen Rückgang der Pkw-Nachfrage in Deutschland und Westeuropa zurückzuführen, dem wichtigsten Exportmarkt der deutschen Automobilindustrie. Auch eine global steigende Pkw-Nachfrage kann dies nicht kompensieren. Denn die Pkw-Produktion und die Wertschöpfung in Deutschland können davon nur in geringem Maß profitieren, sodass der Marktanteil der deutschen Exporte an der globalen Nachfrage sukzessive abnehmen wird. Zwar kommt es insgesamt zu einem Anstieg der Produktion der Automobilindustrie. Im Ergebnis wirken sich diese Faktoren aber negativ auf die Beschäftigung aus.

Werden vorausschauende Maßnahmen ergriffen, lassen sich die Folgen durch den Wandel hin zur Elektromobilität abmildern. Die Umstellung zur Elektromobilität allein wird dann den Automobil- und Innovationsstandort Deutschland nur in geringem Maße schwächen.

Die gute Nachricht: Sowohl die Wertschöpfungsveränderungen als auch Arbeitsplatzverluste durch den Übergang zur Elektromobilität sind, bis 2030 und auch

danach, relativ gut abschätzbar und damit für die Unternehmen planbar. Dies liegt daran, dass sich die Entwicklung der Elektromobilität aufgrund der stringenten Emissionsregulierung gut prognostizieren lässt. Der Zeitpunkt des Strukturwandels ist verhältnismäßig günstig und fällt mit dem demografisch bedingten Rückgang der Erwerbsbevölkerung in Deutschland zusammen. Ein großer Teil des Arbeitsplatzabbaus wird daher durch den Fachkräfterückgang aufgefangen. Auch wird der Ladeinfrastrukturaufbau für Elektromobilität eine signifikante Zahl von Arbeitsplätzen schaffen.

Automatisiertes Fahren und Shared Mobility stellen die Automobilwirtschaft und den Industriestandort Deutschland vor große Herausforderungen.

Im Gegensatz zur Elektromobilität sind die Auswirkungen von neuen Shared Mobility-Angeboten hochgradig unsicher. Dies betrifft sowohl den Zeitpunkt als auch die Geschwindigkeit des Transformationsprozesses im Mobilitätssektor insgesamt und in der Automobilwirtschaft im Besonderen.

Trotz dieser Schwierigkeiten kommt die vorliegende Analyse zu dem Schluss, dass die Risiken eines verschleppten Strukturwandels für den Industriestandort Deutschland existenziell wären. Denn für die deutsche Automobilindustrie steht viel auf dem Spiel: Setzt sie sich – flankiert durch eine zielorientierte Regulierung – an die Spitze der Entwicklung des automatisierten Fahrens und beschleunigt somit den Transformationsprozess, bleibt Deutschland auch langfristig als Industriestandort attraktiv. Verschleppt sie hingegen den Strukturwandel und überlässt die Innovations-, Technologie- und Marktführerschaft der internationalen Konkurrenz, könnte der gesamte Automobilstandort Deutschland zur Disposition stehen.

Der Automobilwirtschaft in Deutschland kann auch künftig eine wichtige Rolle als Innovationstreiber und Arbeitsplatzgarant zukommen. Durch gezielte, planvoll aufeinander abgestimmte Maßnahmen kann die Politik im Zusammenspiel mit den Unternehmen und Sozialpartnern die Voraussetzungen dafür schaffen.

Die erfolgreiche Transformation der Automobilwirtschaft bedarf eines ganzheitlichen Ansatzes. Das bedeutet, dass Politik, Forschung und Industrie ein gemeinsames Vorgehen anstreben müssen. Die Politik muss den Transformationsprozess der Automobilwirtschaft flankieren und unterstützen. Durch entsprechende aufeinander abgestimmte Maßnahmen können zukunftsfähige Arbeitsplätze gesichert und der Industriestandort Deutschland gestärkt werden. Oberstes Ziel muss dabei die Schaffung von technologieoffenen, innovationsfreundlichen und wettbewerbsfähigen Rahmenbedingungen sein. Als Beispiel ist hier der legislative Rahmen beim Testen automatisierter Fahrfunktionen zu nennen. Wirtschaftliche Entscheidungsträger, Akteure der Forschungslandschaft und Sozialpartner können mithilfe organisatorischer Tätigkeiten bei der Umsetzung wirtschaftspolitischer Maßnahmen unterstützend tätig werden. Darüber hinaus können Unternehmen und Forschungseinrichtungen durch eine Fokussierung der Forschungstätigkeiten einen wichtigen Beitrag leisten.

Zielführende wirtschaftspolitische Maßnahmen lassen sich in drei Themengebiete unterteilen:

1. **Eine technologieoffene Klimaschutzpolitik, die alle Technologien zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors berücksichtigt und angemessen fördert, kann dem gesamten Wirtschaftsstandort Deutschland nutzen.**

Ein zentraler Treiber der Elektromobilität ist der Aufbau der Ladeinfrastruktur im privaten Bereich, da der überwiegende Teil der Ladevorgänge genau dort stattfinden wird. Entsprechend sollten maßgeschneiderte Förderprogramme gestaltet werden. Aufgrund der substanziellen Auswirkungen des Ladeinfrastrukturaufbaus auf den Strommarkt empfehlen wir außerdem die Erstellung eines Plans, der die künftige Entwicklung der Elektromobilität abbildet und entsprechende Auswirkungen auf das Stromnetz dokumentiert. Auf dieser Basis können beispielsweise in Netzentwicklungsplänen notwendige Netzverstärkungs- und Netzausbaumaßnahmen für Elektrofahrzeuge frühzeitig (und gegebenenfalls auch präventiv) eingeplant werden. Kurz- und mittelfristig kann Netzengpässen durch netzdienlich steuerbare Ladeeinrichtungen entgegengewirkt werden. Vehicle-to-Grid-Lösungen sollten deshalb gefördert bzw. sinnvoll reguliert werden. Sie ermöglichen es unter anderem, den in der Fahrzeugbatterie gespeicherten Strom in Zeiten mit erhöhtem Energiebedarf wieder ans Stromnetz zurückzugeben und tragen so zur Netzstabilisierung bei. Entsprechend sollte in diesem Bereich eine Förderung von F&E erfolgen. Auch sind gesetzliche Anpassungen zu prüfen, zum Beispiel hinsichtlich der Haftungsfragen.

Sowohl bei der nächsten Batteriegeneration als auch bei der Wasserelektrolyse handelt es sich um General-Purpose-Technologien, also um Schlüsseltechnologien, die mehrere Wirtschaftsbereiche betreffen und deshalb das Wirtschaftswachstum maßgeblich fördern können. Wir empfehlen daher eine F&E-Förderung beider Technologien.

Synthetische Kraftstoffe können in der Bestandsflotte von Pkw, vor allem aber auch in anderen Bereichen des Verkehrssektors, wie etwa bei Nutzfahrzeugen oder im Schiffsverkehr, einen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten. Entsprechend sollte eine F&E-Förderung synthetischer Kraftstoffe erfolgen. So kann ein effektiver Beitrag zur Senkung der Herstellungskosten geleistet werden.

Insgesamt ist eine Förderung von Pilotanwendung für alle drei Technologien sinnvoll, damit Unternehmen in Deutschland die komplette Wertschöpfungskette erforschen und in den Markt bringen können. Je mehr Teile der Wertschöpfungskette in räumlicher Nähe abgedeckt werden, desto einfacher sind Forschungskooperationen. Dies ist ein wesentlicher Vorteil geschlossener Wertschöpfungsketten. Auf eine Produktionsförderung aller drei Technologien in großem Umfang sollte jedoch verzichtet werden, da die Produktion langfristig auch unter Marktbedingungen möglich ist. Denn hier wirken angebots- und nachfrageseitige Instrumente bereits unterstützend. Elektromobilität (inkl. Brennstoffzellen-Pkw) wird beispielsweise über den Umweltbonus oder die Dienstwagenbesteuerung nachfrageseitig gefördert. Die CO_2-Flottengrenzwerte der EU geben einen angebotsseitigen Impuls für alle drei Technologien, ebenso die Renewable Energy Directive II (RED II): Synthetische Kraftstoffe und Wasserstoff können seitdem auch den erneuerbaren Energiequellen zugerechnet werden. Dies sollte schnellstmöglich ins nationale Recht umgesetzt werden.

Wir empfehlen darüber hinaus eine F&E-Förderung der Brennstoffzellentechnologie sowie die Erstellung einer Roadmap zum Ausbau des Wasserstofftankstellennetzes in Deutschland analog zum Vorreiter Japan.

2. Durch Schaffung günstiger Rahmenbedingungen, welche die Erprobung und Markteinführung automatisierter Fahrfunktionen in Deutschland vorantreiben, können deutsche Unternehmen Leitanbieter werden und dadurch Wertschöpfung im Land halten.

Fundamental zur Sicherung des Industriestandortes Deutschland und der deutschen Wertschöpfung ist die Möglichkeit, neue Technologien zu entwickeln und zu testen. Dabei helfen könnten sogenannte Reallabore, mit denen sich Innovationen zeitlich und räumlich begrenzt und unter realen Bedingungen erproben lassen. Dabei geht es vor allem um die allgemeine Verbesserung standortpolitischer Rahmenbedingungen für innovative Mobilitätsformen. In Deutschland bestehen jedoch praktische Hemmnisse: Die deutsche Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) ermöglicht es zwar, eine Betriebserlaubnis für Einzelfahrzeuge zu erteilen, verweist dabei aber auf die jeweiligen Bezirksregierungen. Die im Einzelfall jeweils an Fahrzeug und Fahrzeugbetrieb gestellten konkreten Anforderungen sind jedoch kommunal, landes- und bundesweit nicht deckungsgleich. Wir empfehlen im Bereich des vernetzten und automatisierten Fahrens daher die Einführung eines bundeseinheitlichen innovationsfreundlichen Genehmigungsprozesses beim Testen automatisierter Fahrfunktionen.

Darüber hinaus muss ein besseres Verständnis der Auswirkungen von Shared Mobility auf das Konsumentenverhalten gewonnen werden. Noch immer ist es weitgehend unverstanden, inwieweit sich Nachfrage und Zahlungsbereitschaft für traditionelle Mobilitätsdienstleistungen – wie zum Beispiel Taxi oder öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV) – durch neue, insbesondere auch fahrerlose Mobilitätsangebote verändern werden. Großflächige Feldexperimente können Antwort auf diese Frage liefern. Auch die Einbindung der Kommunen spielt bei der Einführung neuer Mobilitätskonzepte eine wichtige Rolle und muss entsprechend vorangetrieben werden.

Ihr volles Potenzial können neue Geschäftsmodelle im Bereich vernetzten Fahrens und Shared Mobility nur dann entfalten, wenn wichtige Fragen zur Datennutzung geklärt sind. Darunter fallen etwa Standards für den Austausch oder die Verarbeitung von Fahrzeug- und Umfelddaten sowie die Datensicherheit im Allgemeinen. Deshalb ist es wichtig, offene Fragen in diesem Bereich schnellstmöglich zu klären und den Ausbau der Datenökonomie weiter voranzubringen.

3. Die Risiken des Strukturwandels können auch in Regionen, die besonders stark von der Automobilindustrie abhängig sind, durch vorausschauende Maßnahmen signifikant vermindert werden. Hierzu bedarf es einer systematischen Requalifizierung von Beschäftigten, vorausschauender regionalpolitischer Förderinstrumente sowie einer Förderung von KMU.

Regional variiert die Bedeutung der Automobilindustrie erheblich. Sie ist insbesondere in Baden-Württemberg, Bayern, Bremen, Niedersachsen und dem Saarland ein wichtiger Pfeiler der Wirtschaft. In diesen Bundesländern arbeitet fast jeder zwanzigste Beschäftigte in der Automobilindustrie. Dagegen spielt sie in fünf Bundesländern (im Norden/Nordosten Deutschlands) praktisch keine Rolle. Wie stark die Konzentration der Automobilindustrie ist, zeigt auch die folgende Zahl: 2018 entfallen rund zwei Drittel der 940.000 Beschäftigten in der deutschen Automobilindustrie auf nur drei Bundesländer – Bayern, Baden-Württemberg und Niedersachsen.

Ohne Zweifel wird die aktuelle Transformation der Automobilwirtschaft zu einer Neuplanung und Verlagerung von Produktionsstätten führen. Bei Werksschließungen und einem entsprechend massiven Abbau von Arbeitsplätzen kann der regionale Arbeitsmarkt in seiner

Aufnahmekapazität (temporär) überfordert sein. Ansatzpunkt für unsere Handlungsempfehlungen sind darum Maßnahmen und Instrumente, die Beschäftigung und Qualifikation der Arbeitnehmer vorausschauend sichern und Arbeitsmarktfriktionen im Transformationsprozess beseitigen oder abmildern.

Wir empfehlen insbesondere neue, vorausschauende regionalpolitische Förderinstrumente zu entwickeln und zu implementieren. Diese sollten an der regionalen, länder- oder landkreisspezifischen Mittelzuweisung mithilfe von vorlaufenden, zukunftsgerichteten Frühindikatoren für den Strukturwandel ansetzen. So kann regionale Strukturschwäche verhindert werden, anstatt erst Abhilfe zu schaffen, wenn gravierende Probleme bereits aufgetreten sind.

Darüber hinaus sollte im Rahmen einer präventiven Arbeitsmarktpolitik eine zusätzliche berufs- oder jobspezifische Qualifikation ermöglicht werden, wenn es durch den Strukturwandel zu unvermeidbaren Kürzungen der Arbeitszeit („Kurzarbeit“) kommt. Auch sollte die gezielte und systematisch durchgeführte Anwerbung höchstqualifizierter Fachkräfte aus dem Ausland initiiert werden, denn in hoch innovativen Tätigkeitsfeldern wie dem automatisierten Fahren gibt es nur ein begrenztes heimisches Angebot solcher Experten.

Um neue Geschäftsmodelle zu entwickeln, müssen komplett neue Kompetenzen aufgebaut werden, zum Beispiel in den Bereichen der Batterietechnik oder der Künstlichen Intelligenz. Unter den Zulieferern finden sich viele kleine Betriebe, die oft über geringe finanzielle Spielräume verfügen und sich durch einen erhöhten Spezialisierungsgrad auszeichnen. Beides erschwert die Restrukturierung und kann bei der Transformation der Branche zum Wettbewerbsnachteil werden. Ein wichtiger Baustein zur Bewältigung der regionalen Arbeitsmarkttransformation ist deshalb die Förderung von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU). Dazu zählt auch die Harmonisierung der Förderantragstellung sowie der Ausbau der Förderberatung für KMU. Außerdem empfehlen wir die Ausweitung von Förderprogrammen für sogenannte "Midrange Companies", also größere Unternehmen, die gerade nicht mehr unter die Definition der KMU fallen, aber dennoch ähnliche Strukturen aufweisen. Auch sollten die Förderinstrumente für Start-ups ausgebaut werden, um speziell im Bereich neuer Mobilitätskonzepte Innovationen zu unterstützen.

Die gesamte Automobilwirtschaft – insbesondere aber die Automobilindustrie – steht vor der Herausforderung, ihre Wertschöpfungsanteile trotz des Strukturwandels langfristig zu sichern. Die Politik kann dafür die Rahmenbedingungen schaffen, damit die teilweise regional tief verankerte Automobilindustrie und der Standort Deutschland auch künftig wettbewerbsfähig bleiben. Die erforderlichen Spielräume für bessere Rahmenbedingungen sind ohne Zweifel vorhanden – Politik und Wirtschaft sollten sie in einer gemeinsamen und koordinierten Anstrengung nutzen.

Ziel und Aufbau der Studie

Die ökonomischen Folgen des Strukturwandels in der deutschen Automobilwirtschaft sowie die industrie- und wirtschaftspolitischen Handlungserfordernisse sind komplex. Sie wurden bislang vor allem mit einem bundesländerspezifischen Blick adressiert. Eine Analyse der Folgen für die gesamte Automobilwirtschaft in Deutschland ist bisher nicht im Detail erfolgt. Sie steht deshalb im Mittelpunkt des Forschungsprojekts „Automobile Wertschöpfung 2030/2050“, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) Anfang 2018 beauftragt und Ende 2019 abgeschlossen wurde.

Hauptziel dieses Forschungsvorhabens ist die Untersuchung der ökonomischen Folgen des Strukturwandels im Pkw-Bereich und die Erarbeitung von wirtschaftspolitischen Handlungsempfehlungen. Diese sollen dazu beitragen, dass die Automobilwirtschaft auch in Zukunft eine tragende Rolle am Industriestandort Deutschland spielt. Nur so können Wertschöpfung und wettbewerbsfähige Arbeitsplätze dauerhaft gesichert werden. Gleichzeitig sollen die ambitionierten CO_2-Flottengrenzwerte der EU erreicht werden.

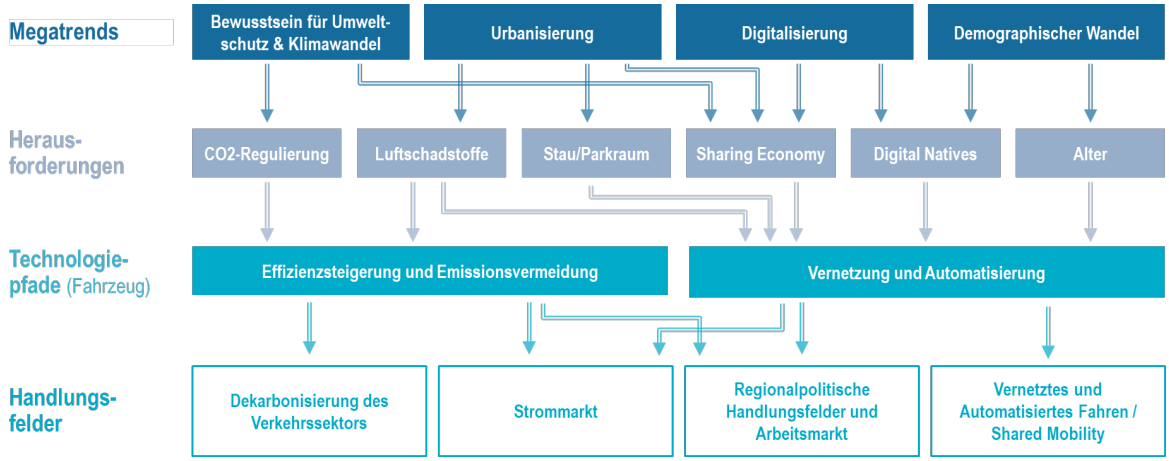
Als Auslöser des Strukturwandels werden vier „Megatrends“ – also Trends mit einer besonders hohen und langfristigen Bedeutung – betrachtet: die Urbanisierung, ein zunehmendes Bewusstsein für Umweltschutz und Klimawandel, die Digitalisierung des Verkehrssystems sowie der demographische Wandel.[1]

Aus diesen Megatrends ergeben sich für die Akteure in der Automobilwirtschaft Herausforderungen, auf die sie Antworten finden müssen. Mögliche technologische Lösungen lassen sich grundsätzlich in sogenannten „Technologiepfaden“ bündeln. Aus fahrzeugtechnischer Sicht werden insbesondere die beiden Technologiepfade *Effizienzsteigerung und Emissionsvermeidung* sowie *Vernetzung und Automatisierung* einen wesentlichen Lösungsbeitrag leisten. Für die Ausgestaltung dieser Technologiepfade auf Unternehmensebene bedarf es regulatorischer, infrastruktureller und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen. Entlang dieser Rahmenbedingungen werden wirtschaftspolitische Handlungsempfehlungen gegeben. Sie sollen Deutschland als Standort für die Automobilwirtschaft der Zukunft stärken und langfristig Arbeitsplätze sichern (siehe Abb. 1).

Die zentralen wirtschaftspolitischen Maßnahmen lassen sich thematisch in vier Handlungsfelder aufteilen: Elektromobilität, Vernetztes und automatisiertes Fahren sowie Shared Mobility, der Strommarkt sowie regionalpolitische Handlungsfelder und Arbeitsmarkt.

[1] Trends ergeben sich aus breit wirksamen, allgemeinen Veränderungen und Innovationen (Saritas und Smith, 2011). Sie wirken über Jahrzehnte hinweg. Trends mit einer besonders hohen und langfristigen Bedeutung über alle gesellschaftlichen Bereiche hinweg werden als Megatrends bezeichnet. Sie können durch einzelne Akteure (Organisationen, Staaten) nicht grundlegend verändert werden.

Abb. 1: Thematischer Aufbau der Studie



Quelle: IPE. Eigene Darstellung.

Das Forschungsvorhaben gliedert sich nach den folgenden fünf Kernfragen:

I. Vor welchen Herausforderungen steht die Automobilindustrie?
II. Wie ist die Automobilindustrie in Deutschland auf den Strukturwandel vorbereitet?
III. Welche ökonomischen Folgen hat der sektorale Strukturwandel in der Automobilindustrie?
IV. Welche Perspektiven bietet die Elektromobilität für die Stromwirtschaft?
V. Wie kann die Politik die Transformation der Automobilindustrie erfolgreich begleiten?

In Teil I werden die zentralen Trends und Treiber des sektoralen Strukturwandels präsentiert. Teil II beschreibt die aktuelle Situation der deutschen Automobilwirtschaft hinsichtlich struktureller und technologischer Herausforderungen. Teil III quantifiziert den strukturellen Wandel in der Automobilindustrie. Hierfür werden szenariospezifische Prognosen der Entwicklung von Wertschöpfung, Produktion und Beschäftigung der deutschen Automobilindustrie bis 2030 bzw. bis 2050 erstellt. Teil IV beleuchtet die Wechselwirkungen des automobilen Strukturwandels mit der Stromwirtschaft. Abschließend werden in Teil V die Handlungsempfehlungen dargestellt.

I. Vor welchen Herausforderungen steht die Automobilindustrie?

Im folgenden Kapitel werden die künftigen Herausforderungen der Automobilindustrie identifiziert und deren mögliche technologische Auswirkungen vorgestellt.

Zunächst werden in Kapitel 1 die zentralen Faktoren, welche die Entwicklung der Automobilindustrie im Zeitraum bis 2050 treiben, diskutiert. Diese „Megatrends“ stellen die Akteure der Automobilindustrie vor neue Herausforderungen. Um diese erfolgreich zu meistern, gibt es verschiedene technologische Stellhebel. Mögliche technologische Lösungen lassen sich in sogenannten Technologiepfaden bündeln. Wir betrachten zwei dieser fahrzeugtechnischen Technologiepfade: (1) „Effizienzsteigerung und Emissionsvermeidung“ und (2) „Vernetzung und Automatisierung“. Auch betrachten wir wichtige Rahmenbedingungen, Trends und Treiber wie etwa Infrastruktur oder Regulierung, die sich auf die Entwicklung der Technologiepfade auswirken.

In Kapitel 2 werden Anpassung der Technologieausstattung entwickelter und produzierter Fahrzeuge auf Basis der Technologiepfade beschrieben. Dies erfolgt entlang der klassischen Fahrzeughauptgruppen Antriebsstrang, Elektrik und Elektronik, Karosseriestruktur und Exterieur, Interieur sowie Fahrwerk.

Abschließend wird in Kapitel 3 beschrieben, inwiefern vernetztes und automatisiertes Fahren neue Geschäftsmodelle wie Shared Mobility-Konzepte ermöglicht und welche Auswirkungen diese auf die automobile Wertschöpfung in Deutschland haben können.

1. Trends und Treiber des Strukturwandels

Unterschiedliche gesellschaftliche, ökologische und regulatorische Entwicklungen werden in den kommenden Jahren zu einem Strukturwandel in der Automobilindustrie führen. Diese Entwicklungen lassen sich am besten in Form von Trends und Treibern beschreiben. Trends ergeben sich üblicherweise aus breit wirksamen, allgemeinen Veränderungen und Innovationen (Saritas und Smith, 2011). Sie wirken über mehrere Jahre oder sogar Jahrzehnte hinweg. Trends mit einer besonders hohen und langfristigen Bedeutung über alle gesellschaftlichen Bereiche hinweg werden als Megatrends bezeichnet. Treiber hingegen wirken spezifischer und unmittelbarer auf beispielsweise Organisationen und Institutionen. Sie haben im Gegensatz zu Trends nicht unbedingt eine globale Wirkung. Darüber hinaus können Trends durch einzelne Akteure, wie z.B. Organisationen oder Staaten, nicht grundlegend verändert werden, während Treiber durch spezifische Akteure zumindest teilweise beeinflussbar sind.

„Das Wichtigste in Kürze“: Herausforderungen für die Automobilindustrie

Unterschiedliche gesellschaftliche, ökologische und regulatorische Entwicklungen werden in den kommenden Jahren zu einem Wandel in der Automobilindustrie führen. Als zentrale Megatrends, welche diese Entwicklungen am besten charakterisieren, lassen sich der demografische Wandel, die Urbanisierung, das zunehmende Bewusstsein für Umweltschutz und Klimawandel sowie die Digitalisierung identifizieren.

Daher muss die Automobilindustrie auf die Herausforderungen, die sich zukünftig durch den Strukturwandel ergeben werden, Antworten finden. Insbesondere die beiden Technologiepfade Effizienzsteigerung und Emissionsvermeidung sowie Vernetzung und Automatisierung werden einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, diese zu meistern. Zur Ausgestaltung dieser Technologiepfade bedarf es regulatorischer, infrastruktureller und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen.

Grundsätzlich bestehen innerhalb der Technologiepfade – auch für vorgegebene Klimaziele – technologische Alternativen sowie Möglichkeiten zur kombinatorischen Verwendung von Einzeltechnologien. So kann im Sinne von technologischen Alternativen beispielsweise eine Effizienzsteigerung über eine Optimierung des konventionellen Antriebsstrangs oder dessen Elektrifizierung erzielt werden.

Besonders für den ersten Technologiepfad Effizienzsteigerung und Emissionsvermeidung kommt der Regulierung bis zur Entstehung eines sich selbst tragenden Marktes eine zentrale Bedeutung zu. Dabei stellen vor allem die europäischen CO_2-Flottengrenzwerte für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge (im folgenden CO_2-Flottengrenzwerte) die Automobilhersteller vor große Herausforderungen. Diese ist zwar technologieneutral formuliert, setzt jedoch aufgrund der angewandten Berechnungsmethodik einen starken Anreiz für lokal zumindest teilweise emissionsfreie Fahrzeuge (ZLEVs), insbesondere aber für BEVs und PHEVs. Ein Treiber für eine schnellere Marktdurchdringung elektrifizierter Antriebe ist der Ausbau der Ladeinfrastruktur. Ein rascher Ausbau im privaten und öffentlichen Bereich könnte die Entstehung eines sich selbst tragenden Marktes beschleunigen, da hierdurch dem Nachteil kürzerer Reichweiten von Elektrofahrzeugen entgegengewirkt werden kann.

Bezüglich des zweiten Technologiepfades Vernetzung und Automatisierung wird die Beseitigung regulatorischer Schranken die zentrale Voraussetzung des Strukturwandels sein. Hier definiert das Zulassungsrecht den entscheidenden Rahmen und ist vom Gesetzgeber entsprechend anzupassen. Ferner sind datenschutz- und haftungsrechtliche Fragestellungen zu klären, um insbesondere für gewerbliche Mobilitätsdienstleister einen rechtlich sicheren Rahmen zu definieren. Aber auch eine gut ausgebaute digitale Straßen- und Mobilfunkinfrastruktur spielt eine wichtige Rolle. So kann z.B. durch einen raschen Ausbau der 5G-Mobilfunkinfrastruktur die Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen deutlich vereinfacht und damit beschleunigt werden. Auch wenn 5G nicht zwingend flächendeckend für die Einführung automatisierter Fahrfunktionen erforderlich ist.

Die beiden Technologiepfade betreffen die Fahrzeughauptgruppen unterschiedlich stark und ziehen daher unterschiedliche Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzeffekte nach sich.

Der Technologiepfad Effizienzsteigerung und Emissionsvermeidung verändert insbesondere den Antriebsstrang fundamental. Der Technologiepfad Automatisierung

betrifft vordergründig die Fahrzeugdomäne Elektrik und Elektronik. Dazu muss etwa die Sensorausstattung zur Umfeldwahrnehmung grundlegend angepasst werden. Darüber hinaus muss die Verarbeitung der Daten, beispielsweise mittels Künstlicher Intelligenz, signifikant erweitert werden. Darüber hinaus sind aber auch die Fahrwerk-Aktuatoren für Lenkung und Bremse fehlertolerant auszulegen, sowie die Mensch-Maschine-Schnittstelle zu gestalten.

Der Technologiepfad Vernetzung und Automatisierung kann insbesondere im Zusammenspiel mit Shared Mobility-Konzepten die automobile Wertschöpfung maßgeblich verändern. So können mithilfe von fahrerlosen Shuttles nicht nur Kosten (z.B. Personalkosten) eingespart werden, sondern Mobilitätsangebote auch dort zur Verfügung gestellt werden, wo der ÖPNV nicht wirtschaftlich operieren kann. Wichtig ist dabei eine sinnvolle Integration in den ÖPNV. Ansonsten könnte es zu einer Steigerung des Verkehrsaufkommens kommen. Es wird somit voraussichtlich zu einer Verlagerung des privaten Fahrzeugbesitzes oder der Fahrzeugnutzung hin zu neuen Mobilitätskonzepten kommen, was langfristig einen Rückgang des Motorisierungsgrades zur Folge hätte.

1.1 Fokussierte Technologiepfade als Antwort auf den Strukturwandel

Die Megatrends Urbanisierung, ein neues Bewusstsein für Umweltschutz und Klimawandel, die Digitalisierung sowie der demographische Wandel führen zu einem Strukturwandel in der Automobilindustrie. Davon betroffen sind nicht nur die Fahrzeughersteller, sondern alle Akteure im Wertschöpfungsnetzwerk der Automobilindustrie. Das folgende Kapitel skizziert die wichtigsten technologischen, gesellschaftlichen und gesamtwirtschaftlichen Herausforderungen.

Ein wachsendes Bewusstsein für Umweltschutz und Klimawandel zieht sukzessiv strengere Ziele bei der Senkung von lokalen und globalen Schadstoffemissionen nach sich

Obwohl Emissionsstandards in den vergangenen Jahren bereits verschärft worden sind, gefährdet ein hoher Ausstoß von Treibhausgasen und Schadstoffen die Umwelt bzw. die Gesundheit der Bevölkerung. Als globales Phänomen sind zunächst die verkehrsbedingten Treibhausgasemissionen – hauptsächlich CO_2-Emissionen – längst im Mittelpunkt der gesellschaftlichen und politischen Diskussion angelangt. Das liegt unter anderem daran, dass der Verkehrssektor zu den größten Verursachern von Treibhausgasen, insbesondere von CO_2, gehört. 2016 stammten ca. 22% aller CO_2-Emissionen in der EU aus dem Straßenverkehr (European Environment Agency, 2018). Zu beachten ist, dass CO_2-Emissionen global wirken, ihre Auswirkungen bleiben also nicht auf einen begrenzten Radius um den Ort der Emission beschränkt.

Im Gegensatz zu den Treibhausgasen entfalten gesundheitsschädliche Luftschadstoffe wie Stickoxide (NOx) sowie Feinstaub lokale Auswirkungen. Sie weisen besonders in Städten und Ballungsgebieten hohe Konzentrationen auf. Neben der Industrie gehört auch der Fahrzeugbestand mit Verbrennungsmotor zu den Hauptverursachern. In Innenstädten beträgt der Anteil des Verkehrs an den Stickoxidemissionen bis zu 80% (Karl et al., 2017). Die Reduktion von Treibhausgas- und Schadstoffbelastungen stellt daher ein zentrales Handlungsfeld für die Automobilindustrie dar. Wichtiger Treiber dieser Entwicklung sind immer strengere regulatorische Vorgaben, welche zusätzlich durch ein wachsendes

Bewusstsein für Klimawandel, Umweltschutz, Ressourcen und Gesundheit in der Bevölkerung unterstützt wird.

Durch die Urbanisierung nehmen Verkehrsprobleme wie Stau und Mangel an Parkraum zu

Bei der Urbanisierung handelt es sich um einen weiteren Megatrend, der die Ausbreitung und Verstärkung städtischer Lebens-, Wirtschafts- und Verhaltensweisen zusammenfasst.[2] Bei unverändert hoher Mobilitätsnachfrage wird dieser Trend je nach Stärke der Ausprägung zu lokalen Verkehrsproblemen wie Stau oder zu geringem Parkraum führen. Somit gewinnt eine effiziente Nutzung des in Städten zur Verfügung stehenden Raums immer mehr an Bedeutung. Ziel ist dabei, die nur begrenzt zur Verfügung stehende Verkehrsfläche sowohl im fließenden als auch im ruhenden Verkehr, effizient auszunutzen. Insbesondere durch Parkraumprobleme treten Carsharing und Ridesharing-Ansätze in den Vordergrund, da diese individuelle Mobilität in Städten ermöglichen, ohne dass ein eigener Stellplatz für das Fahrzeug notwendig ist. So kann zukünftig auch eine weiter hohe Nachfrage nach Individualmobilität befriedigt werden.

Digitale Angebote müssen zukünftig auch in Fahrzeuge integriert werden

Mit dem demografischen Wandel wird es neben der Zunahme des Anteils älterer Menschen auch zu einer veränderten Nachfrage durch mittlere Altersgruppen im Erwerbsalter kommen. Diese Gruppe weist die höchste Mobilitätsnachfrage auf und beinhaltet die meisten Fahrzeugkäufer. In Verbindung mit dem technologischen Megatrend der Digitalisierung steigen Anteil und Bedeutung der sogenannten „Digital Natives“ an den Mobilitätsnachfragern. Als „Digital Natives“ werden all diejenigen bezeichnet, die im Zeitalter IT-basierter Angebote aufgewachsen sind und durch die der Umgang mit diesem Angebot als selbstverständlich empfunden wird. Ein weiteres Handlungsfeld bei der künftigen Ausgestaltung von Fahrzeugen und Mobilitätsangeboten stellen somit die Übertragung der entsprechenden Informations- und Kommunikationsmöglichkeiten in das Fahrzeug sowie damit einhergehend ein gesteigerter Komfort während der Fahrt dar.[3]

Die beiden Trends des gesteigerten Umweltbewusstseins und der Digitalisierung werden durch Sharing Economy verbunden

Die technologischen Möglichkeiten der Digitalisierung verhelfen dem Phänomen der Sharing Economy als Antwort auf ein gesteigertes Bewusstsein um Umwelt- und Nachhaltigkeitsthemen zum Durchbruch. Sharing im Bereich der Mobilität bedeutet, dass ein Transportmittel wie beispielsweise ein Auto oder Fahrrad nicht exklusiv besessen oder genutzt, sondern mit anderen entgeltlich oder unentgeltlich geteilt wird. Herausgebildet haben sich dabei bisher vor allem die Mobilitätskonzepte *Carsharing, Ridesharing* und *Ridepooling*. Diese sogenannte Shared Mobility-Konzepte und entsprechende Dienstleistungen besitzen generell ein hohes Potenzial, das bestehende Mobilitätssystem, insbesondere in urbanen Räumen, grundlegend umzuwälzen[4] (Roland Berger, 2014). Da ein gemeinschaftlich genutzter Pkw, z.B. eines Carsharing- oder Mietwagenanbieters, die gleiche Mobilitätsleistung wie mehrere Pkw im privaten Besitz abdeckt, kann es zu einer

---

2 Siehe https://www.berlin-institut.org/online-handbuchdemografie/bevoelkerungsdynamik/auswirkungen/urbanisierung.html.
3 Siehe https://www.presseportal.de/pm/19526/2273615.
4 Siehe https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/how-shared-mobility-will-change-the-automotive-industry.

Verringerung der Pkw-Nachfrage kommen. Inwiefern dadurch auch der Fahrzeugabsatz zurückgeht, hängt im Wesentlichen von den Fahrzeughaltedauern in den Carsharing- und Ridesharing-Flotten ab und ob Shared Mobility-Konzepte ein Substitut für privat gehaltene Fahrzeuge darstellen oder komplementär als Ergänzung genutzt werden. Für die Automobilindustrie bedeutet dieser Trend, dass künftige Fahrzeugklassen zunehmend den neuen Mobilitätskonzepten angepasst werden müssen. Darüber hinaus müssen die etablierten Unternehmen Lösungen finden, dem drohenden Rückgang des Fahrzeugabsatzes bzw. Motorisierungsgrades durch neue Geschäftsmodelle und attraktive Fahrzeuge entgegenzutreten.

Der demografische Wandel stellt neue Anforderungen an Mobilitätslösungen

Eine weitere relevante Entwicklung stellt der demografische Wandel dar. Dieser führt nicht nur zu einer alternden Gesellschaft, sondern auch zu einem höheren Alter der Personen, die Mobilität nachfragen werden. In der EU wird damit gerechnet, dass der Anteil der über 65-jährigen von 19% im Jahr 2015 auf 30% im Jahr 2050 ansteigen wird.[5] Eine Veränderung der Altersstruktur führt zu einer Verschiebung der Anforderungen an Mobilitätslösungen. Häufig kommt es mit zunehmendem Alter zu einer schlechteren Sinneswahrnehmung, zu längeren Reaktionszeiten, zu eingeschränkter Beweglichkeit, sowie zu einer schnelleren Überforderung durch komplexe Fahrsituationen. Da die Kundengruppe der Senioren in den kommenden Jahren deutlich anwachsen wird, führen diese Einschränkungen zu einer höheren Gewichtung der spezifischen Anforderungen an die Entwicklung der Fahrzeuge. Diese umfassen daher unter anderem einen hohen Fahrkomfort, einen bequemen Einstieg, gute Rundumsicht und eine einfache Fahrzeugbedienung (Howe, 2015). Jedoch kann es trotz entsprechender Gestaltung des Fahrzeuges gegebenenfalls nicht mehr möglich oder auch individuell nicht mehr gewünscht sein, ein Fahrzeug selbst zu führen. Wesentliche Herausforderungen bestehen hinsichtlich der alternden Bevölkerung demnach darin, einerseits die Mobilität im Generellen sicherzustellen, sowie darüber hinaus die veränderten Anforderungen in der Gestaltung der Fahrzeuge und Infrastruktur zu berücksichtigen.

Antworten auf die Herausforderungen können in zwei zentralen Technologiepfaden gebündelt werden: Effizienzsteigerung und Emissionsvermeidung sowie Vernetzung und Automatisierung

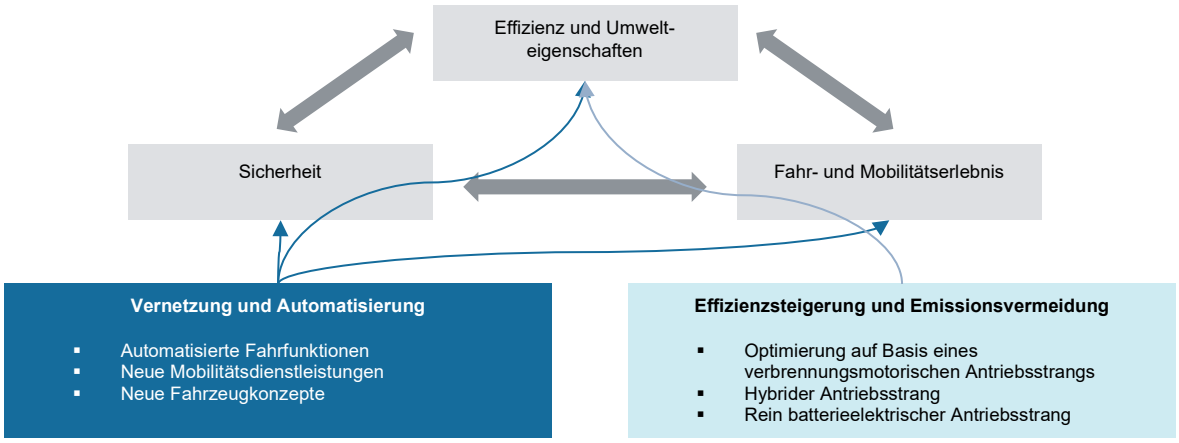
Durch die beschriebenen gesamtgesellschaftlichen Trends und Treiber des Strukturwandels ergeben sich somit neue Herausforderungen für die Automobilindustrie, welche das Spannungsfeld der Fahrzeugentwicklung zwischen Sicherheit, Effizienz- und Umwelteigenschaften sowie Fahr- und Mobilitätserlebnis weiter intensivieren. Es gilt nun für die Akteure der Automobilindustrie, diese Herausforderungen mit innovativen technologischen Lösungen und Mobilitätsangeboten unter Beachtung der Zielkonflikte zu meistern.

Gegenwärtig sind zwei fahrzeugtechnische Technologiepfade als mögliche Lösungen für die Herausforderungen von großer Bedeutung. Die Effizienzsteigerung und Emissionsvermeidung sowie Vernetzung und Automatisierung im Sinne einer automatisierten Navigation, Längs- und Querführung des Fahrzeuges (siehe Abb. 2).

[5] Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten der United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (World Population Prospects 2019, Online Edition. Rev. 1. Medium Variant).

Darüber hinaus können neue Mobilitätskonzepte unterstützend zur Lösung der Herausforderungen beitragen.

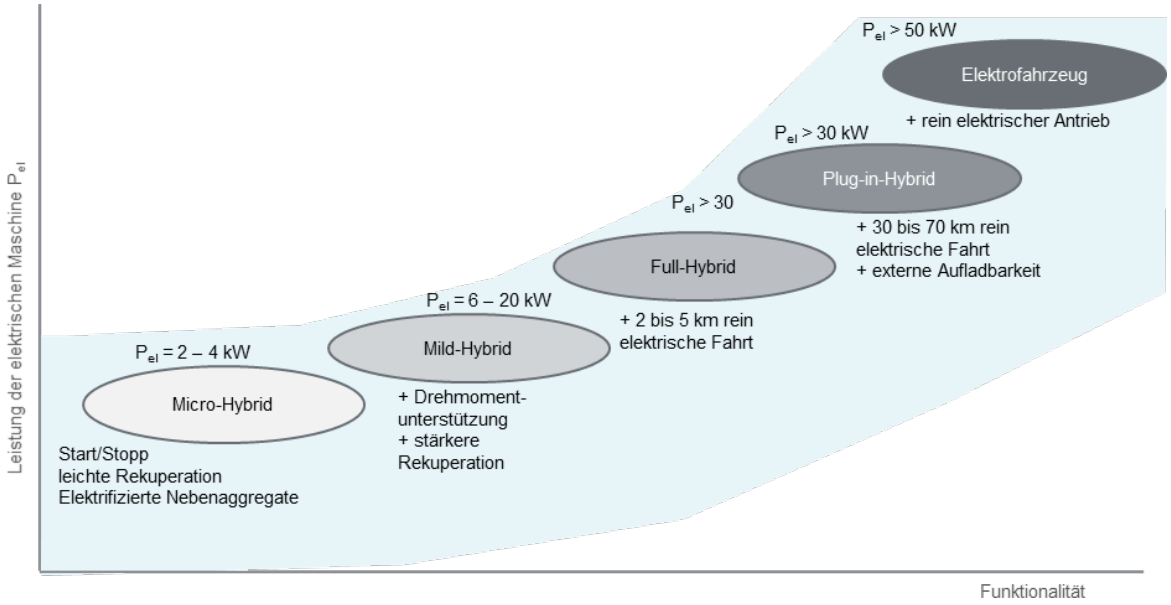
Abb. 2: Vernetzung und Automatisierung sowie Effizienzsteigerung und Emissionsvermeidung als künftige Technologiepfade



Quelle: fka. Eigene Darstellung.

Der **Technologiepfad der Effizienzsteigerung und Emissionsvermeidung** adressiert in erster Linie das **Handlungsfeld der Effizienz- und Umwelteigenschaften** und somit die negativen Auswirkungen des Verkehrs auf die Umwelt. Dabei sind über die Optimierung des konventionellen Antriebsstrangs und des Gesamtfahrzeuges hinaus verschiedene Stufen der **Elektrifizierung des Antriebsstrangs** möglich, um Treibhausgas- und Schadstoffemissionen in der Nutzungsphase zu verringern. Je höher aber die Marktrelevanz des rein elektrischen Antriebs wird, desto stärkere Umwälzungen der automobilen Wertschöpfung werden eintreten.

Abb. 3: Elektrifizierung des Antriebsstrangs



Quelle: fka. Eigene Darstellung.

Die elektrifizierten Antriebe können je nach Leistungsniveau des Elektromotors sowie typischen Funktionalitäten in verschiedene Klassen eingeteilt werden (siehe Abb. 3). Es

besteht zunächst die Möglichkeit, ganz auf eine Elektrifizierung des Antriebsstrangs zu verzichten und den Verbrennungsmotor stattdessen mit einer Wirkungsgradsteigerung zu optimieren. Die ersten Stufen der Elektrifizierung stellen Micro- und Mild-Hybridfahrzeuge dar. Diese ermöglichen es zwar noch nicht, elektrisch zu fahren, jedoch sorgen sie für eine Effizienzsteigerung. Full- und Plug-in-Hybride (PHEVs) hingegen ermöglichen rein elektrisches Fahren mit begrenzter Reichweite. Dabei stellen PHEVs die erste Stufe der Elektrifizierung dar, bei der es eine extern aufladbare Batterie gibt. Vollständig elektrifiziert hinsichtlich des Antriebsstrangs sind batterieelektrische Fahrzeuge (BEVs).

Eine lokal emissionsfreie Alternative zu BEVs sind Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEVs). Bei diesen wird Wasserstoff mithilfe einer Brennstoffzelle in Elektrizität umgewandelt. Diese wird anschließend genutzt, um das Fahrzeug mittels eines Elektromotors anzutreiben. Damit es sich um klimaneutrale Mobilität handelt, muss jedoch die Herstellung des verwendeten Wasserstoffs – wie bei Elektromobilität auch – durch Strom aus erneuerbaren Energien erfolgen.

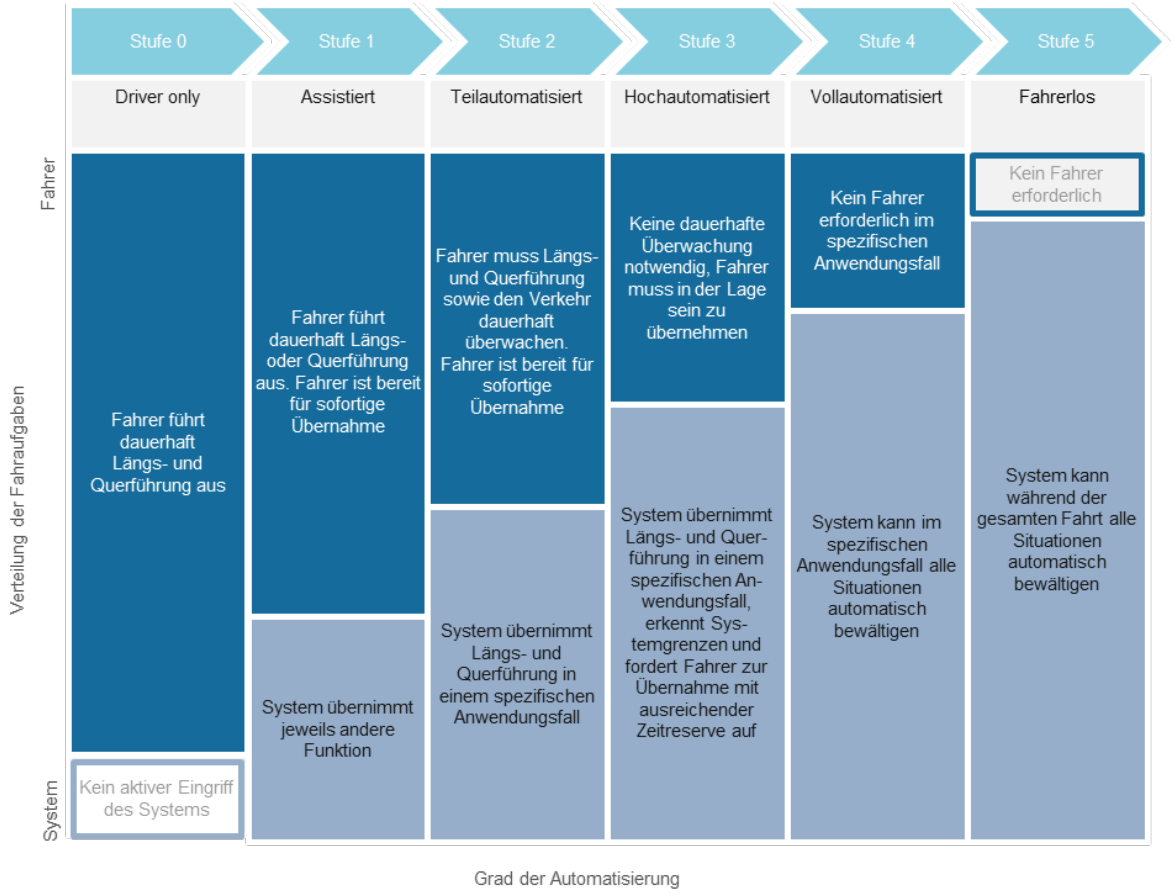
Der zweite **Technologiepfad Vernetzung und Automatisierung** adressiert alle drei Handlungsfelder (Effizienz- und Umwelteigenschaften, Fahr- und Mobilitätserlebnis, Sicherheit). Er ermöglicht das vernetzte und automatisierte Fahren. Das vernetzte Fahren bezeichnet die Kommunikation zwischen Fahrzeugen (auch Vehicle-to-Vehicle-Kommunikation (V2V)) sowie zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur (auch Vehicle-to-Infrastructure-Kommunikation (V2I)). Das automatisierte Fahren beschreibt Funktionen, die den Fahrer bei der Erfüllung seiner Fahraufgabe unterstützen oder ihn von der Fahraufgabe zeitweise oder ganz entlasten. Durch die Kombination von vernetztem und automatisiertem Fahren werden insbesondere die **Ziele Sicherheit und Mobilitätserlebnis** adressiert. Jedoch sind auch **Umwelt- und Effizienzaspekte** dadurch berührt. Denn mithilfe der Vernetzung des Fahrzeugs kann z.B. ein optimierter Verkehrsfluss und damit eine höhere Gesamteffizienz des Verkehrs erzielt werden (VDA, 2015a). Im Hinblick auf die **Fahrzeugsicherheit** kann das vernetze und automatisierte Fahren vor allem die Anzahl sowie die Schwere der Unfälle maßgeblich verringern (Winkle, 2015). Aber auch das **Fahr- und Mobilitätserlebnis** wird sich dadurch verändern. Zum einen kann das Fahren deutlich angenehmer werden, wenn Aufgaben wie die Längs- und Querführung des Fahrzeugs vom System übernommen werden. Zum anderen kann die Zeit im Fahrzeug von den Passagieren deutlich effizienter genutzt werden. Darüber hinaus ermöglicht das vernetzte und automatisierte Fahren die Entwicklung neuer Mobilitätskonzepte, z.B. der Einführung von automatisierten Shuttlediensten, wovon vor allem auch die alternde Gesellschaft profitieren kann. In diesem Zusammenhang bietet es sich ebenfalls für die Akteure der Automobilindustrie an, innovative, auf die jeweilige Zielgruppe zugeschnittene Fahrzeugkonzepte zu entwickeln.

Der Technologiepfad Vernetzung und Automatisierung wird mit Hinblick auf die Fahrzeugtechnik entlang definierter Automatisierungsstufen beschrieben. Zur Abgrenzung der Funktionsumfänge von Fahrerassistenz- und Automatisierungssystemen wird die sechsstufige SAE-Skala angewendet (SAE, 2016), welche von Level 0 (Keine Automatisierung) bis Level 5 (Fahrerloses Fahren) reicht. Mit steigendem Level steigt auch der Funktionsumfang des Systems und die Verantwortung des Fahrers für die Fahraufgabe nimmt ab (Abb. 4).

Gravierend strukturverändernde Implikationen auf das Mobilitätssystem können dabei insbesondere ab der Stufe der Vollautomatisierung auf Level 4 erwartet werden. Denn ab dieser Stufe ist ein Fahrzeug in der Lage, innerhalb einer definierten Umgebung jede Verkehrssituation ohne Eingriff des Fahrers zu beherrschen. Der Fahrer wird somit in diesen

Situationen nicht mehr benötigt. Die Definition der Umgebung, innerhalb derer ein Fahrzeug vollautomatisiert fährt, kann sich dabei sowohl auf konkrete Regionen („geo-fenced areas“) oder auf spezifische Straßenarten (z.B. Autobahnen) beziehen. Im Zuge des fahrerlosen Fahrens auf Level 5 benötigt das Fahrzeug in keiner Umgebung oder Verkehrssituation einen Fahrer. Jede mögliche Fahrsituation wird selbstständig vom System beherrscht. Diesbezüglich verstärkt sich das Potenzial innovativer Fahrzeug- und Innenraumkonzepte sowie von Mobilitätsdienstleistungen.

Abb. 4: Klassifikation von Automatisierungsstufen



Quelle: fka. Eigene Darstellung in Anlehnung an (VDA 2015a).

Inwiefern die skizzierten Technologiepfade tatsächlich umgesetzt werden und wie diese dabei konkret ausgestaltet werden, z.B. welche Automatisierungslevel wann erreicht werden oder welche Elektrifizierungsstufen sich wann im Markt durchsetzen, ist von einer Reihe spezifischer Treiber bzw. Voraussetzungen abhängig. Der jeweilige Status Quo, Entwicklungstendenzen und Wirkungszusammenhänge dieser Treiber auf die Technologiepfade werden im Folgenden beschrieben. So können im weiteren Verlauf der Studie Wertschöpfungsimplikationen entlang verschiedener Szenarien abgeleitet werden.

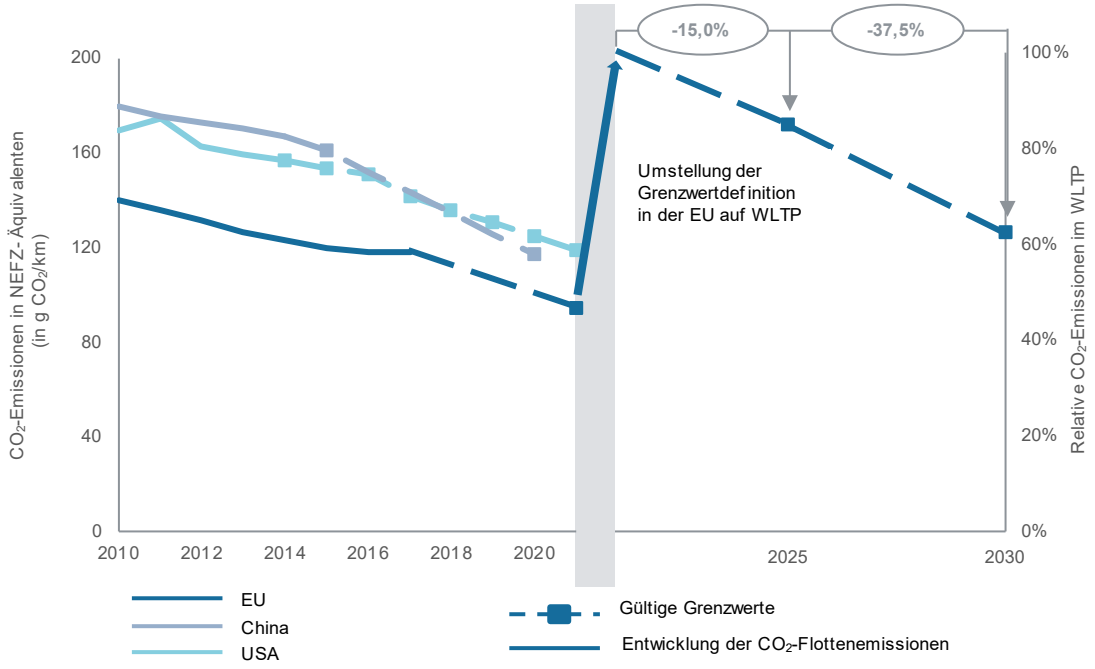
1.2 Technologiepfad Effizienzsteigerung und Emissionsvermeidung

Die generelle Relevanz des Technologiepfades Effizienzsteigerung und Emissionsvermeidung sowie dessen Ausgestaltung wird durch legislative und regulatorische Bestimmungen sowie infrastrukturelle Rahmenbedingen entscheidend getrieben und gelenkt.

Eine strengere Emissionsregulierung beschleunigt den Markthochlauf neuer Antriebsarten

Die höchste Bedeutung kommt dabei den CO_2-Flottengrenzwerten für Pkw zu, welche in der EU im Zeitverlauf verschärfende, bindende Vorgaben für die durchschnittlichen CO_2-Emissionen der Herstellerflotten formuliert. Abb. 5 fasst die international bislang erreichte Verminderung von CO_2-Emissionen von Pkw, normiert auf den bisherigen europäischen Zyklus NEFZ, zusammen und stellt sie den regulatorischen Vorgaben gegenüber. Die durchschnittlichen CO_2-Emissionen in der EU sind im internationalen Vergleich mit den USA und China am geringsten. Sie betrugen im Jahr 2017 ca. 118 g CO_2/km, was gegenüber 2010 eine Reduzierung um 15% darstellt.[6] Weitere 20% müssen gemäß den Regularien bis 2021 reduziert werden (Europäische Kommission, 2014a).

Abb. 5: Geltende CO_2-Minderungsanforderungen in der EU, den USA und in China



Quellen: fka. Eigene Darstellung basierend auf (Kang et al., 2016; Europäisches Parlament und Europäischer Rat, 2019). Bestimmung der NEFZ-Äquivalente: icct.[7]

Ausgehend von den durchschnittlichen CO_2-Flottenemissionen im Jahr 2021 im WLTP sieht die 2019 verabschiedete Verordnung eine weitere Reduktion um 15% bis 2025 und um 37,5% bis 2030 vor (Europäisches Parlament und Europäischer Rat, 2019). Gegenüber den bisher erzielten Fortschritten bezüglich der Verringerung der CO2-Emissionen erfordern die bis 2030 definierten Bestimmungen demnach eine nochmals beschleunigte Reduktion. Die Automobilhersteller (OEM – Original Equipment Manufacturer) stehen unter großem Handlungsdruck, da eine Verfehlung der CO_2-Flottengrenzwerte finanzielle Strafen zur Folge hat, die je nach Höhe der Abweichung über die Flotte gerechnet sehr hoch ausfallen können. Entsprechend stellen praktisch alle OEMs die Einhaltung der CO_2-Flottengrenzwerte in den Fokus ihrer Technologie- und Marktstrategien.

6 Siehe https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/co2-cars-emission-14.
7 Siehe https://www.theicct.org/blogs/staff/improving-conversions-between-passenger-vehicle-efficiency-standards.

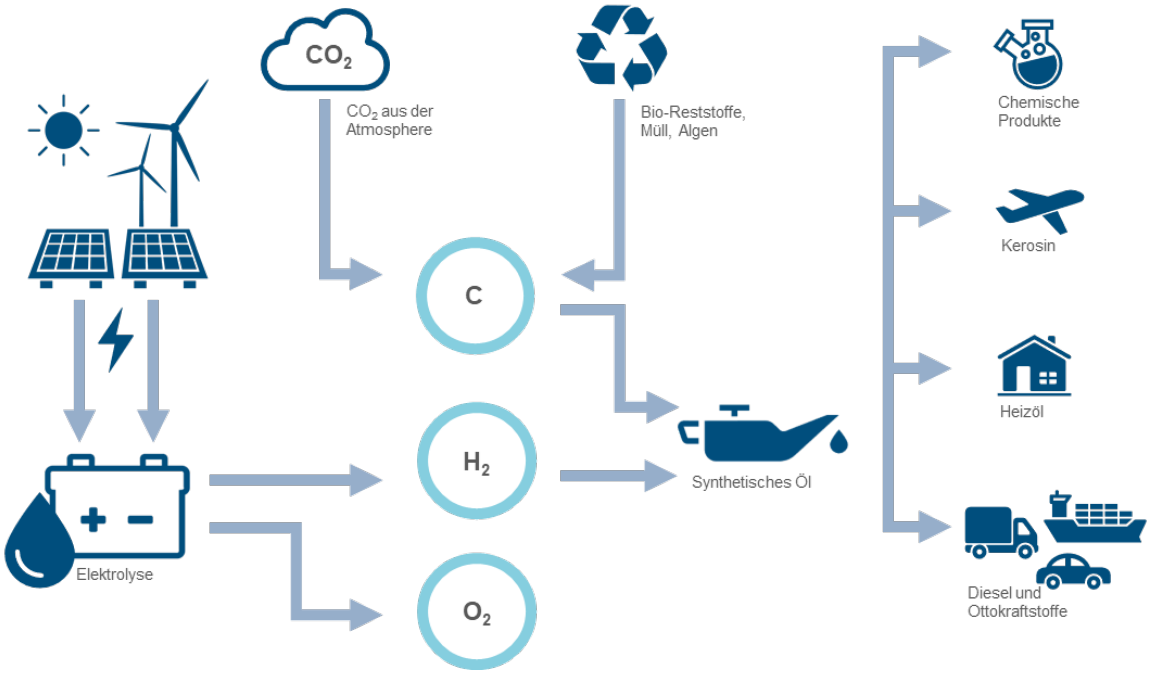
Alle bisherigen Regulierungsansätze sind grundsätzlich technologieneutral formuliert. Konkrete Technologiequoten, z.B. für elektrifizierte Fahrzeugkonzepte, werden in der EU nicht verfolgt (Europäische Kommission, 2017a). Allerdings hat die exklusive Betrachtung der lokalen Emissionen während der Fahrzeugnutzung zur Folge, dass lokal emissionsfreie Pkw (engl. zero and low emissions vehicles; ZLEVs) und speziell elektrifizierte Fahrzeugkonzepte grundsätzlich bessergestellt werden (Helms et al., 2016). Mit jeder Verschärfung der CO_2-Flottengrenzwerte ist daher davon auszugehen, dass die OEMs ihren Fokus vermehrt auf elektrifizierte Fahrzeuge legen werden, da die lokalen Emissionsreduktionsziele mittels rein verbrennungsmotorisch angetriebenen Fahrzeugen faktisch nicht mehr erreicht werden können. Dies ist insofern problematisch, als aus klimapolitischer Sicht möglicherweise effektivere oder effizientere Lösungen in der Emissionsregulierung ausgeklammert werden, die z.B. in Form von nachhaltig produzierten Kraftstoffen am (überwiegend nicht lokal emissionsfreien) Fahrzeugbestand ansetzen.

Neben der technologischen Entwicklung des Fahrzeugs als solchem ist auch die Entwicklung synthetischer Kraftstoffe denkbar, welche eine klimaneutrale Mobilität trotz Verbrennungsmotor ermöglichen. Bei synthetischen Kraftstoffen handelt es sich um chemisch synthetisierte Kraftstoffe wie Benzin, Diesel oder Methan, die unter Aufwendung von Strom aus Wasserstoff und Kohlenstoff hergestellt werden. Häufig werden synthetische Kraftstoffe daher auch als strombasierte Kraftstoffe oder eFuels bezeichnet. Stammt der Strom zur Erzeugung synthetischer Kraftstoffe ausschließlich aus erneuerbaren Energien und wird der für die Herstellung verwendete Kohlenstoff aus CO_2, das aus der Umgebung oder aus Industrieprozessen abgefangen wird, sind die synthetischen Kraftstoffe klimaneutral. Der Prozess zur Herstellung des Wasserstoffs oder synthetischen Methans wird dabei als *Power-to-Gas (PtG)* bezeichnet. Die Herstellung synthetischer flüssiger Kraftstoffe wie Benzin oder Diesel wird *Power-to-Liquid (PtL)* genannt. Zusammengefasst werden alle Verfahren zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe unter dem Begriff *Power-to-X (PtX)*. Verschiedene Möglichkeiten zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe werden in Abb. 6 dargestellt. Synthetische Kraftstoffe können – wie fossile Brennstoffe – in den meisten Verbrennungsmotoren verwendet werden oder den herkömmlichen Kraftstoffen beigemischt werden. Bei der Verbrennung entstehen jedoch weiterhin Schadstoffe, wie z.B. Feinstaub oder Stickoxide, welche aber durch eine moderne Abgasnachbehandlung weitestgehend eliminiert werden können. Synthetische Kraftstoffe können vor allem in der Bestandsflotte von Pkw sowie bei Nutzfahrzeugen, im Schiffs- sowie im Luftverkehr einen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten. Ein Nachteil ist allerdings, dass zur Erzeugung große Mengen an Energie nachhaltig bereitgestellt werden müssen.

Synthetische Kraftstoffe und Wasserstoff können seit der Renewable Energy Directive II (RED II) von 2018 auch den erneuerbaren Energiequellen zugerechnet werden. Denn laut der Renewable Energy Directive müssen bis 2020 10% des Endenergiebedarfs im Transportsektor durch erneuerbare Energie gedeckt werden. Allerdings werden Kraftstoffe aus Biomasse und erneuerbare Elektrizität gegenüber synthetischen Kraftstoffen in der RED II noch bevorzugt. Zum einen werden sie mit einem Multiplikator angerechnet, während synthetischen Kraftstoffe nur einfach angerechnet werden. Zum anderen müssen Unterquoten für sie erfüllt werden, für synthetische Kraftstoffe nicht.[8] Auch unterliegen synthetische Kraftstoffe einer Vielzahl an Anforderungen, damit sie anerkannt werden.

[8] Es ist festgehalten, dass der Beitrag von „fortschrittlichen Biokraftstoffen und Biogas“ am Anteil des Endenergieverbrauchs des Verkehrssektors im Jahr 2022 mindestens 0,2% beträgt, im Jahr 2025 mindestens 1% und bis 2030 auf mindestens 3,5% steigt (siehe https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN).

Abb. 6: Herstellungspfade und Einsatzbereiche klimafreundlicher synthetischer Kraftstoffe



Quelle: Institut für Wärme und Öltechnik.[9]

Über 2030 hinaus existieren global keine weiteren konkretisierten Regularien. Jedoch stellt das Pariser Klimaschutzabkommen von 2015, welches eine Begrenzung der Erderwärmung auf maximal 2°C vorsieht, einen langfristigen Rahmen zur Emissionssenkung in allen volkswirtschaftlichen Sektoren dar (Vereinte Nationen, 2015). Darüber hinaus findet eine erste Ableitung von Implikationen für den Verkehrssektor unter anderem in der europäischen Strategie für emissionsarme Mobilität statt, nach welcher bis 2050 eine Reduktion der verkehrsbedingten Treibhausgasemissionen um 60% gegenüber dem Basisjahr 1990 erreicht werden soll (Europäische Kommission, 2016a).

Während die EU-Regulierung der CO_2-Flottengrenzwerte und die RED II-Richtlinie Anreize auf der Angebotsseite setzen und somit einen „Regulatory Push“ darstellen, soll eine CO_2-abhängige Besteuerung den Endpreis der verschiedenen Antriebsarten so verändern, dass Konsumenten vermehrt effizientere Fahrzeuge nachfragen. Beispielsweise kann aber auch die Höhe der jährlichen Kfz-Steuern oder der in einigen EU-Mitgliedsstaaten üblichen Zulassungssteuern teilweise oder vollständig nach den CO_2-Emissionen oder dem Kraftstoffverbrauch berechnet werden. Im Jahr 2018 zogen bereits 14 EU-Mitgliedsstaaten diese Größen zur Berechnung der jährlichen Steuer bei Pkw heran (ACEA, 2018). Die Stärke der Wirkung nimmt dabei mit zunehmender Steuerhöhe bzw. mit zunehmendem Anteil von CO_2-abhängigen Komponenten der kundenrelevanten Gesamtkosten zu. Dies beeinflusst wiederum die Total Cost of Ownership (TCO) und hat somit eine Lenkungswirkung bei der Kaufentscheidung zur Folge. Auch die von staatlicher Seite umgesetzte finanzielle Förderung wie etwa der Umweltbonus oder die Dienstwagenbesteuerung setzt bei den TCO an. Kasten 1 gibt einen Überblick zum TCO-Ansatz. Durch die beschriebenen Förderinstrumente kann so die Technologieentwicklung im Technologiepfad Effizienzsteigerung und Emissionsvermeidung vorübergehend in Richtung Elektrifizierung gelenkt werden.

[9] Siehe https://www.zukunftsheizen.de/ueber-iwo/projekte-und-studien/prognos-studie.html.

Auch die Einführung einer CO_2-Bepreisung ist ein Instrument, das auf eine Lenkungswirkung abzielt. Die Bundesregierung hat sich mit dem Klimaschutzprogramm 2030 im September 2019 in erster Linie für eine Ausweitung des Emissionshandelssystems statt für eine auch diskutierte CO_2-Steuer entschieden (Bundesregierung, 2019). Daneben wurde eine Vielzahl weiterer Maßnahmen zur Förderung emissionsarmer Technologien beschlossen, wie z.B. der Ausbau der Ladeinfrastruktur oder eine Reform der Kfz-Steuer.

Eine weitere Option zur Einflussname auf die Ausgestaltung des Technologiepfades stellen konkrete Einfahr- oder Zulassungsverbote dar. Diese können von maximalen CO_2-Emissionen oder Schadstoffemissionen abhängig gemacht werden, die auf Basis der vorherzusehenden Technologieentwicklung ausschließlich von elektrifizierten Antriebskonzepten erreicht werden können. Während Einfahrverbote je nach Verbreitung nur lokal oder regional Wirkung entfalten, schließen Zulassungsverbote die Neuzulassung von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor (ICE – Internal Combustion Engine) national vollständig aus.

Kasten 1: Exkurs: Total Cost of Ownership (TCO)

Exkurs: Total Cost of Ownership (TCO)

Unter Total Cost of Ownership (TCO) werden die Gesamthaltungskosten eines Gutes verstanden, die für den Nutzer anfallen. Neben den Anschaffungskosten fallen somit sämtliche Kosten in die Betrachtung, welche durch den Einsatz des Gutes im Laufe seiner Nutzungsdauer anfallen (Grob und Lahme, 2004). Das können etwa Energiekosten, Wartungskosten oder Kosten für Versicherungen sein. Typische Produkte sind etwa Software, Haushaltsgeräte oder Fahrzeuge.

Bei Pkw sind neben den Anschaffungskosten insbesondere die Kraftstoffkosten entscheidend. Bei Fahrzeugen mit konventionellem Antrieb werden diese durch den Preis von beispielsweise Benzin bestimmt, bei Elektrofahrzeugen ist hingegen der Strompreis ausschlaggebend. Außerdem fallen die jährlichen Kosten für Versicherungen und Steuern sowie die Kosten für Wartungen und Reparaturen unter die TCO eines Pkw. Je nach Nutzungsintensität können die TCO somit variieren.

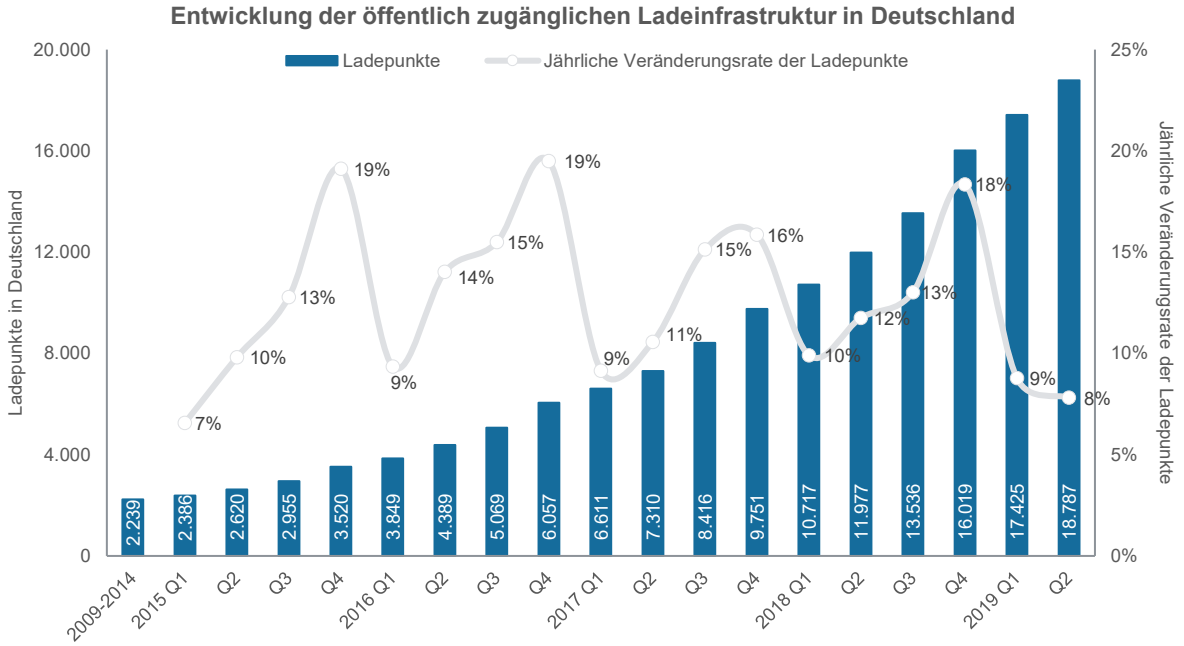
Die derzeit noch sehr hohen Anschaffungskosten schrecken viele Verbraucher vom Kauf eines Elektrofahrzeugs ab. Dem gegenüber versprechen Elektrofahrzeuge einen Kostenvorteil bei den Betriebskosten. Wartungs- und Reparaturarbeiten von Elektrofahrzeugen werden über den Lebenszyklus im Schnitt vermutlich unter denen von ICEs liegen. Grundlage dafür ist eine hinreichend lange Batterielebensdauer. Aktuell geltende steuerliche Begünstigungen sowie der Umweltbonus beim Kauf eines neuen, erstmals zugelassenen, elektrisch betriebenen Fahrzeuges gemäß §2 des Elektromobilitätsgesetzes sind bei der Berechnung der TCO auch zu berücksichtigen.

Eine flächendeckende Ladeinfrastruktur zusammen mit Privilegien im Straßenverkehr können die Attraktivität für Elektromobilität für Konsumenten deutlich erhöhen

Neben der Betrachtung der TCO ist vor allem eine uneingeschränkte Alltagstauglichkeit eine entscheidende Voraussetzung der Elektromobilität. Es ist wichtig, dass es langfristig nicht zu Einschränkungen bezüglich Routen- oder Zielortwahl kommt. In diesem Zusammenhang stellt insbesondere eine adäquate Ladeinfrastruktur eine essenzielle Voraussetzung der tatsächlichen Akzeptanz von Elektrofahrzeugen dar. Der Ausbau der elektrischen

Ladeinfrastruktur wird derzeit, auch durch öffentliche Förderung, vorangetrieben und deckt zunehmend auch Langstreckenmobilität entlang von Bundesstraßen und Autobahnen ab. Gefördert werden grundsätzlich öffentlich zugängliche Ladepunkte sowie deren Netzanschluss mit maximal 60%, gedeckelt durch einen von der Ladeleistung des Ladepunktes abhängigen Maximalbetrag. Dabei muss in jedem Fall ein Typ2-Anschluss sowie – m Falle von Gleichstrom-Ladeinfrastruktur – ein Combo-2 vorgehalten werden, um in jedem Fall das CCS-Laden zu realisieren. Im Juli 2019 stehen etwa 19.000 öffentliche Ladepunkte zur Verfügung.[10] Seit 2015 ist die Anzahl der Ladepunkte um rund 64% pro Jahr gewachsen. Die Entwicklung der öffentlich zugänglichen Ladeinfrastruktur in Deutschland ist in Abb. 7 dargestellt. Hinzu kommen private und betriebliche Ladepunkte, die in nachfolgender Grafik nicht dargestellt sind.

Abb. 7: Entwicklung der öffentlich zugänglichen Ladeinfrastruktur in Deutschland, 2009 bis 2019



Quelle: IPE. Eigene Berechnungen basierend auf Daten der Bundesnetzagentur (Liste der gemeldeten Ladeeinrichtungen, Stand: 19. Juli 2019). Die angegebenen Änderungsraten für ein Quartal sind jeweils die Veränderungsraten der Ladepunkte zum vorherigen Quartal.

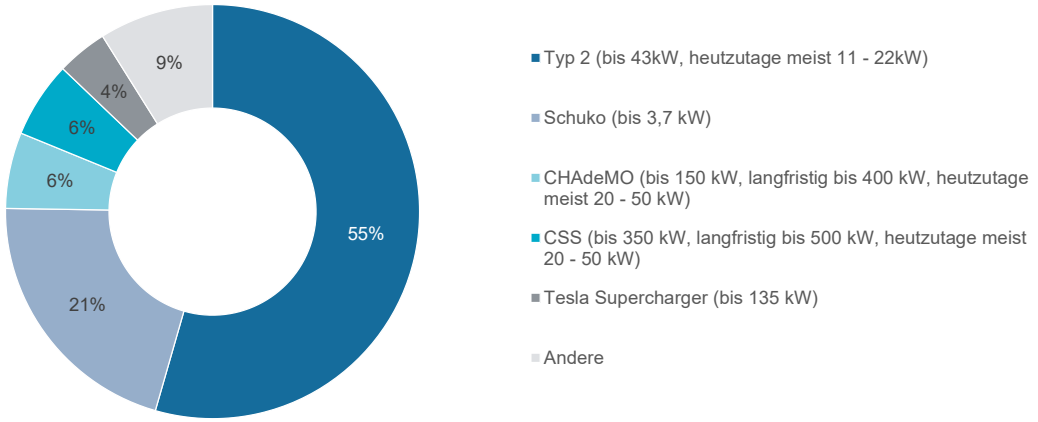
Zudem steigt die Anzahl von Ladepunkten mit einer hohen potenziellen Ladeleistung in Deutschland an, was kürzere Ladezeiten zur Folge hat und somit Elektromobilität insbesondere auf Langstrecken attraktiver macht. Ein beträchtlicher Anteil unterstützt bereits höhere Ladeleistungen (siehe Parallel dazu werden technologische Standards sowie kompatible Bezahlmodelle etabliert. Aufgrund der geringen Anzahl von Elektrofahrzeugen im Bestand, sehen sich Betreiber jedoch einem hohen wirtschaftlichen Risiko gegenüber. Der Aufbau und Betrieb der Ladeinfrastruktur ist nur bei hinreichend hoher Auslastung wirtschaftlich. Deshalb beruht der Ausbau der Ladeinfrastruktur derzeit vielfach auf öffentlichen Fördermaßnahmen.

[10] Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten der Bundesnetzagentur (Liste der gemeldeten Ladeeinrichtungen).

Abb. 8). In diesem Zusammenhang wird auch zunehmend die Standortverteilung der Ladesäulen entlang der Hauptverkehrsachsen verbessert (Brost et al., 2016).

Parallel dazu werden technologische Standards sowie kompatible Bezahlmodelle etabliert. Aufgrund der geringen Anzahl von Elektrofahrzeugen im Bestand, sehen sich Betreiber jedoch einem hohen wirtschaftlichen Risiko gegenüber. Der Aufbau und Betrieb der Ladeinfrastruktur ist nur bei hinreichend hoher Auslastung wirtschaftlich. Deshalb beruht der Ausbau der Ladeinfrastruktur derzeit vielfach auf öffentlichen Fördermaßnahmen.

Abb. 8: Ladeinfrastruktur in Deutschland nach Ladesystemen, 2018



Quelle: fka. Eigene Berechnungen basierend auf Daten von Going electric.[11]

Ziel dieser Fördermaßnahmen ist, dass sich langfristig ein flächendeckend funktionierender Wettbewerb einstellt und es zu steigenden Anteilen von Elektrofahrzeugen kommt. Dies soll wiederum einen sich selbst tragenden Markt ermöglichen (BMVI, 2017a). Neben einem ausreichenden Ausbau der Ladeinfrastruktur trägt auch die Standardisierung der Infrastruktur zu einer höheren Attraktivität der Elektromobilität bei. Bereits mit der Ladesäulenverordnung wurde ein einheitlicher Standard für die technologische Ausstattung von Ladesäulen im Hinblick auf Steckerstandards und Interoperabilität der Ladepunkte definiert (BMWi, 2016c). In Bezug auf die Bezahlsysteme wurde mit der Ladesäulenverordnung II für ab Mitte Dezember 2017 in Betrieb genommene Ladepunkte die Möglichkeit festgeschrieben, auch ohne gültigen Rahmenvertrag mit einem Ladepunktbetreiber sogenanntes punktuelles Laden zu ermöglichen (BMWi, 2017). Im Rahmen der EU-Richtlinie 2014/94 muss selbiges auch in allen weiteren EU-Mitgliedstaaten ermöglicht werden, sodass langfristig auch europaweit eine grundsätzliche Möglichkeit zum Laden gegeben ist (Europäische Kommission, 2014b). Es ist jedoch davon auszugehen, dass parallel dazu auch weiterhin Verbünde, wie z.B. Hubject, anbieterübergreifendes Laden, sog. „eRoaming“, auf vertraglicher Basis zu geringeren Gebühren anbieten werden.[12]

Es liegen derzeit keine öffentlich verfügbaren Zahlen über die Anzahl installierter Ladepunkte im privaten Umfeld vor. Nach Schätzung der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) finden ca. 85% der derzeitigen Ladevorgänge im privaten Bereich statt (NPE, 2019b). Dies unterstreicht die Bedeutung der Ladeinfrastruktur im privaten Bereich.

[11] Siehe https://www.goingelectric.de/stromtankstellen/.
[12] Siehe dazu Teil IV.

Zusammengefasst stellen der Ausbau und die Standardisierung der Ladeinfrastruktur die wesentliche Voraussetzung dar, damit Elektromobilität auch marktseitig akzeptiert wird. Eine flächendeckende Ladeinfrastruktur spielt auch eine besondere Rolle in der Diskussion, dass der tatsächliche Emissionsausstoß eines PHEVs stark von der individuellen Nutzung abhängt. Erste Untersuchungen wie etwa in Großbritannien zeigen, dass der Anteil elektrisch gefahrener Kilometer in der Praxis häufig weit unter dem zur Berechnung der Emissionen verwendeten Anteil liegt.[13] Daher ist es wichtig, Anreize für den Konsumenten zu schaffen, den Anteil der elektrisch gefahrenen Strecken zu erhöhen. Eine Möglichkeit ist die Förderung von Ladeinfrastruktur im privaten Bereich. Es gibt bereits einige Städte oder Regionen, die den Ausbau im privaten Bereich fördern.[14] Auch existiert ein Förderprogramm der KfW. Eine andere Möglichkeit der Anreizsetzung ist das angekündigte Bonusprogramm von BMW. Dies registriert elektrisch gefahrene Kilometer in Form von Prämienpunkten.[15] Diese können anschließend beim Aufladen der Batterie eingelöst werden. Auch soll die Funktion eDrive erkennen, wenn sich das Fahrzeug einer Umweltzone nähert und dann automatisch auf den elektrischen Betrieb umstellen. Aufgrund der hohen Bedeutung der Ladeinfrastruktur für die Entwicklung der Elektromobilität erfolgen in Abschnitt V.3.1 entsprechende Handlungsempfehlungen.

Auch Privilegien im Straßenverkehr sind ein Hebel, damit Elektrofahrzeuge marktseitig akzeptiert werden. Kommunen haben mit dem Elektromobilitätsgesetz (EmoG) die Möglichkeit, Elektrofahrzeuge etwa beim Angebot von Parkplätzen, bei Parkgebühren und bei der Nutzung von Sonderfahrspuren zu bevorzugen.

Der Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur befindet sich noch in den Anfängen

Während die Ladeinfrastruktur für BEV und PHEV in Deutschland kontinuierlich wächst, befindet sich der Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur für FCEVs noch in den Anfängen. So kann trotz des von Industriekonsortien mit öffentlicher Förderung geplanten Ausbaus der Wasserstoffinfrastruktur mittelfristig keine vollständige regionale sowie grenzüberschreitende Abdeckung erreicht werden.[16] Die Entwicklung des Technologiepfades Effizienzsteigerung und Emissionsminderung mittels Brennstoffzellenfahrzeugen ist daher momentan stark gehemmt. Da es sich bei der Wasserstoffinfrastruktur um eine wichtige Stellschraube handelt, erfolgen in Abschnitt V.3.3 ebenfalls entsprechend Handlungsempfehlungen zum Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur. Seitens der Bundesregierung werden die Aktivitäten zu Erzeugung, Import und Nutzung von Wasserstoff in einer Nationalen Wasserstoffstrategie gebündelt. Im Rahmen der Strategie wird ein Aktionsplan erarbeitet. Prioritär werden dabei Anwendungen im Verkehr und in der Industrie betrachtet.

1.3 Technologiepfad Vernetzung und Automatisierung

Hinsichtlich des Technologiepfades Vernetzung und Automatisierung existieren ebenfalls legislative und infrastrukturelle Trends und Treiber. Diese beeinflussen, inwiefern der Technologiepfad hinsichtlich automatisierten Fahrfunktionen, innovativen Fahrzeugkonzepten sowie neuen Geschäftsmodellen entwickelt werden kann. Die

[13] Siehe https://www.bbc.com/news/business-46152853.
[14] Siehe https://www.net4energy.com/blog/foerderung-wallbox-2019#.
[15] Siehe https://www.heise.de/autos/artikel/BMW-Ab-2020-neue-digitale-Funktionen-fuer-PHEV-4454339.html.
[16] Eine ausführlichere Beschreibung der Wasserstoffinfrastruktur erfolgt in Abschnitt II.2.1.

Entwicklung und Ermöglichung der Markteinführung von automatisierten Fahrfunktionen stellt dabei die Grundlage für weitere Wertschöpfungsstufen dar.

Die Schaffung eines regulatorischen Rahmens wird die zentrale Voraussetzung für das vernetzte und automatisierte Fahren (und somit dem zweiten Technologiepfad) sein

Unter den legislativen Treibern stellt eine **Anpassung des Zulassungs- und Verkehrsrechts** eine grundlegende Voraussetzung für die Einführung höherautomatisierter Fahrfunktionen dar. Denn sonst wird es nicht möglich sein, Fahrzeuge mit entsprechenden Fahrfunktionen zuzulassen. Der Einsatz vollautomatisierter Fahrfunktionen, also der Betrieb von Fahrzeugen in spezifizierten Umgebungen ohne Eingriff des Fahrers, wird durch das sogenannte „Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr“ auf europäischer Ebene bereits grundsätzlich erlaubt. Voraussetzung dafür ist, dass sie vom Fahrer übersteuert und deaktiviert werden können.[17] Das Wiener Übereinkommen bildet jedoch lediglich den Rahmen für das jeweils anzuwendende nationale Zulassungsrecht.

Das national jeweils geltende Zulassungsrecht, so z.B. die deutsche Fahrzeug-Zulassungsverordnung (FZV) nimmt dabei auf die internationalen ECE-Regelungen[18] Rückgriff (BMVI, 2008). Die ECE-Regelungen haben die internationale Vereinheitlichung technischer Vorschriften für Fahrzeuge und deren Komponenten zum Ziel und stellen die gegenseitige Anerkennung der Systeme von den beteiligten Vertragsstaaten sicher. Diese ECE-Regelungen ermöglichen derzeit das hoch- oder vollautomatisierte Fahren noch nicht. Konkret stehen die Funktionen des hochautomatisierten Fahrens in Widerspruch zu ECE-R 79 bezüglich Lenkanlagen, welche automatische Lenkfunktionen nur in einem Geschwindigkeitsbereich bis 10 km/h ermöglichen (UNECE, 2008). Die betroffenen Regelungen befinden sich derzeit jedoch in einem Änderungsverfahren. Grundsätzlich ist deshalb von einer positiven Entwicklung im Hinblick auf die Ermöglichung hoch- und vollautomatisierter Systeme auszugehen.

Nicht nur die Aktivitäten auf Ebene der UN-ECE zur Schaffung internationaler, technischer und verhaltensrechtlicher Vorschriften werden Geltung in der EU und Deutschland entfalten. Auch auf EU-Ebene gibt es bereits Anpassungen der Vorgaben im Hinblick auf die allgemeine Sicherheit sowie den Schutz der Fahrzeuginsassen und von ungeschützten Verkehrsteilnehmern. Darunter fallen etwa die Revision der Vorschriften über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge. Diese sehen für vernetzte und automatisierte Fahrzeuge besondere Anforderungen vor, wie z.B. Systeme zur Echtzeitinformation des Fahrzeugs über den Zustand des Fahrzeugs und der Umgebung, Systeme zur Überwachung der Fahrerverfügbarkeit oder eine ereignisbezogene Datenaufzeichnung für hochautomatisierte Fahrzeuge (Fahrmodus-Datenspeicher). Ferner sind 2019 bereits Richtlinien der EU für ein Ausnahmeverfahren der EU-Typgenehmigungsvorschriften erlassen worden („Guidelines on the Exemption Procedure for the EU Approval of Automated Vehicles“).

Die zukünftige Behandlung von vollständig fahrerlosen Fahrzeugen bleibt jedoch unklar, zumal diese auch durch das Wiener Übereinkommen noch nicht abgedeckt sind (Deutscher

[17] Siehe https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2016/04/2016-04-13-wiener-uebereinkommen.html.

[18] Übereinkommen der United Nations Economic Commission for Europe (UNECE, Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen).

Bundestag, 2017). Dies erschwert in nächster Konsequenz auch die Entwicklung innovativer Geschäftsmodelle auf Basis fahrerloser Fahrzeuge, da weiter nationale Ausnahmegenehmigungen notwendig sind.

Hinsichtlich der Gesetzgebung und Regularien für die Zulassung von automatisierten Fahrfunktionen gab es in Deutschland in der jüngsten Vergangenheit bereits wichtige Anpassungen (Roland Berger und fka, 2017b). Mit dem achten Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes (StVG) wurden wesentliche Aspekte (z.B. Haftungsverteilung, Datenaufzeichnung bei Unfällen) für den Test und Betrieb von automatisierten Fahrzeugen in Deutschland geregelt.

Insbesondere im Hinblick auf potenzielle Geschäftsmodelle ist als weitere rechtliche Rahmenbedingung das **Datenschutzrecht** zu nennen, da diese teilweise auf dem Zugriff auf Nutzer- und Fahrzeugdaten automatisierter Fahrzeuge basieren (Seiberth und Gründinger, 2018). Relevante Daten innerhalb des Fahrzeuges ergeben sich aus den Daten der Umfeldsensorik sowie deren Verarbeitung. Parallel dazu können weitere personen- und fahrzeugbezogene Daten erhoben werden, welche z.B. Aufschluss über die Position oder Geschwindigkeit des Fahrzeuges sowie über die Verwendung von Komfort- und Infotainmentfunktionen geben. Seit Mai 2018 greifen die Prinzipien der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO), welche an den Umgang mit personenbezogenen Daten hohe Anforderungen stellt. Eine zentrale Rolle nehmen hier die Sicherstellung der Einwilligung der betroffenen Person in die Datenerhebung und Datenverarbeitung, die Transparenz sowie die Zweckbindung der erhobenen Daten ein (Europäische Kommission, 2018a). Inwiefern die gegenwärtige Datenschutzgesetzgebung ein potenzielles Hemmnis zur Umsetzung neuer Geschäftsmodelle darstellt kann jedoch nur fallspezifisch beurteilt werden.

Mit der Vernetzung und der Automatisierung steigt die Komplexität der Produkte ebenso wie die Anforderungen an die Interoperabilität und an die Infrastruktur. Wesentliche Herausforderungen sind daher Standards für geeignete Schnittstellen zum Datenaustausch und somit die Klärung von **datenzugriff- und datenaustauschbezogenen** Fragen.

Das **Haftungsrecht** ist insgesamt eher von zweitrangiger Bedeutung für die weitere Entwicklung des Technologiepfades Vernetzung und Automatisierung. Zumindest im deutschen Haftungsrecht entstehen durch die Einführung teil- oder vollautomatisierter Systeme grundsätzlich keine Haftungslücken. Vereinfacht dargestellt haftet auf Grundlage des Produkthaftungsgesetzes der Hersteller eines hoch- oder vollautomatisierten Fahrzeuges, wenn sich ein Unfall während der hoch- oder vollautomatisierten Fahrphase ereignet. Der Fahrer haftet, wenn er auf entsprechende Hinweise des Systems zur Rückübernahme der Fahrzeugführung nicht adäquat reagiert, sowie bei eigenen Fahrfehlern. Im Allgemeinen ist im Zuge der Automatisierung demnach eine deutliche Verlagerung der Haftung hin zu den Fahrzeugherstellern zu erwarten.

Der Ausbau der digitalen Infrastruktur ist ein wichtiger Treiber für das vernetzte Fahren

Neben den legislativen und regulatorischen Treibern wirken auch infrastrukturelle Faktoren auf die Entwicklung und Ausgestaltung des Technologiepfades Vernetzung und Automatisierung. Als wesentliche Treiber sind hier der Ausbaugrad der Kommunikationsinfrastruktur sowie der digitalen und physischen Straßeninfrastruktur zu nennen.

Zur Realisierung automatisierter Fahrfunktionen muss das einzelne Fahrzeug Informationen über sein Umfeld erhalten. Neben der Erhebung der relevanten Daten durch die **Fahrzeug-Umfeldsensorik** können relevante Informationen auch aktiv extern bereitgestellt werden, z.B. durch andere Fahrzeuge oder durch die Straßeninfrastruktur. Der **externe Austausch von Daten** ist dabei, im Gegensatz zur Umfeldsensorik, nicht auf die räumliche Nähe, z.B. entsprechend der Sichtweite, angewiesen und bietet entsprechende Vorteile.

Wird der externe Austausch von Daten im Rahmen der Darstellung automatisierter Fahrfunktionen genutzt, ist eine lückenlose und einwandfrei funktionierende Kommunikationsinfrastruktur unerlässlich. Zum einen bedarf es Funkstandards zur beidseitigen Kommunikation. Hier sind im wesentlichen WLAN-ähnliche Standards sowie Mobilfunkverbindungen einsetzbar. Mit dem Standard IEEE 802.11p wurde bereits 2010 ein WLAN-ähnlicher Standard definiert, welcher auf die spezifischen Erfordernisse kooperativer Verkehrssysteme zugeschnittenen ist. Dieser ermöglicht insbesondere die V2V-Kommunikation im mittleren Entfernungsbereich. Die Vorteile sind eine geringe Latenz, eine hohe Datenrate sowie eine direkte Kommunikation zwischen den Fahrzeugen. Im mittleren Entfernungsbereich sind somit auch sicherheitsrelevante Anwendungen realisierbar.

Bei der Übertragung von Daten über größere Entfernungen ist hingegen die Nutzung des Mobilfunknetzes als Kommunikationskanal zielführend. Insbesondere den Anforderungen an die Echtzeitfähigkeit kann jedoch durch den aktuell verbreiteten Mobilfunkstandard 4G nicht genügt werden. **Mobilfunk der fünften Generation (5G)** soll hingegen die beschriebenen Anforderungen grundsätzlich besser erfüllen.[19] Gemäß der „5G-Strategie für Deutschland“ soll der Ausbau der 5G-Netze ab 2020 beginnen und bis 2025 flächendeckend auch entlang von Autobahnen, Bundes- und Landstraßen verfügbar sein (Bundesregierung, 2017). Äquivalente Pläne werden auf europäischer Ebene länderübergreifend auf Basis eines Aktionsplanes verfolgt (Europäische Kommission, 2016b). Werden die Infrastrukturpläne frühzeitig umgesetzt, wird eine der Voraussetzungen für die Umsetzung von Funktionen höherer Automatisierungsstufen geschaffen. Darauf aufbauend werden ebenfalls entsprechende neue Fahrzeugkonzepte sowie Geschäftsmodelle ermöglicht. Sollte der Infrastrukturausbau hingegen ausbleiben, wäre die Umsetzung solcher Funktionen und Geschäftsmodelle zwar nicht kategorisch ausgeschlossen. Jedoch müssten die Fahrzeuge allein auf Grundlage von Fahrzeugsensordaten zur Umfeldwahrnehmung fahren, was nicht nur deutlich herausfordernder, sondern auch kostenintensiver wäre. Entsprechende Handlungsempfehlungen zum Aufbau der digitalen Infrastruktur erfolgen in Abschnitt V.4.2.

Zur digitalen Straßeninfrastruktur zählt im Kontext des vernetzen und automatisierten Fahrens auch die **Beschreibung der Straßeninfrastruktur in digitalen Karten**. Unter

[19] Siehe http://www.lte-anbieter.info/5g/.

einer digitalen Karte wird in diesem Kontext weit mehr als das derzeit in Navigationsgeräten eingesetzte statische Kartenmaterial verstanden. Sie beinhaltet ein dynamisches Umgebungsmodell, anhand dessen sich das Fahrzeug in einer Umgebung verorten kann. Als zusätzliche Informationsschichten sind beispielsweise Verkehrsinformationen sowie Informationen über Gefahrenstellen mit entsprechender zeitlicher Aktualität vorzusehen. Das Fahrzeug trägt über seine Umfeldsensorik in diesem Fall gegebenenfalls zur Aktualisierung der digitalen Karten selbst bei (Roland Berger und fka, 2016). Die Entwicklung und Bereitstellung adäquater digitaler Karten wird derzeit stark von etablierten und neuen Akteuren der Automobilindustrie getrieben, z.B. im Gemeinschaftsunternehmen „Here“ unter Beteiligung der deutschen Automobilhersteller BMW, Daimler und Audi sowie der Zulieferunternehmen Bosch und Continental. Grundsätzlich wird bei fortschreitender Technologieentwicklung in diesem Bereich kein Hemmnis für die Etablierung automatisierter Fahrfunktionen gesehen.

Die digitale Straßeninfrastruktur umfasst weitere Elemente zur intelligenten Vernetzung der physischen Straßeninfrastruktur. Hierunter versteht man im Wesentlichen sogenannte **„Road Side Units“**. Diese können dazu genutzt werden, den Verkehrsfluss, den Straßenzustand oder weitere relevante Informationen zu lokalen Gefahren wie Baustellen oder Falschfahrern zu erfassen und an die einzelnen Fahrzeuge zu übermitteln. Aus der digitalen Vernetzung der Straßeninfrastruktur ergibt sich insbesondere das Potenzial, Verkehrsströme effizient steuern zu können und so Staus zu vermeiden sowie die Gesamtenergieeffizienz des Verkehrs und die Sicherheit zu verbessern. Entsprechende Funktionen werden in Deutschland künftig im Rahmen ausgewählter Testfelder erforscht.[20] Neben der digitalen Straßeninfrastruktur kann auch eine gut ausgebaute physische Straßeninfrastruktur die Darstellung automatisierter Fahrfunktionen erleichtern. Die relevanten Merkmale der Infrastruktur beziehen sich in diesem Fall auf deutliche und damit über Kamerasysteme erfassbare Fahrbahnmarkierungen und Beschilderungen (Fraunhofer IAO, 2015).

2. Wirkung der Technologiepfade auf fahrzeugtechnische Hauptgruppen

Die beiden Technologiepfade Effizienzsteigerung und Emissionsvermeidung sowie Vernetzung und Automatisierung stellen die zentralen Reaktionen der Automobilindustrie auf die beschriebenen (Mega-)Trends und Treiber dar. Sie führen zu Anpassung der Technologieausstattung entwickelter und produzierter Fahrzeuge. Zusammen mit der Entwicklung neuer Geschäftsmodelle ergeben sich wesentliche Implikationen auf die automobile Wertschöpfung in Deutschland. Aus fahrzeugtechnischer Sicht lassen sich diese Anpassungen entlang der klassischen Fahrzeughauptgruppen strukturieren. Diese umfassen:

> den Antriebsstrang,
> die Elektrik und Elektronik,
> die Karosseriestruktur und das Exterieur,
> das Interieur sowie
> das Fahrwerk.

[20] Siehe https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Digitales/uebersicht-digitale-testfelder-avf-bmvi.pdf?__blob=publicationFile.

2.1.1 Antriebsstrang

Maßnahmen zur Effizienzsteigerung und Emissionsvermeidung adressieren überwiegend den Antriebsstrang des Fahrzeuges. Ziel ist hier, die Effizienz der Energiewandlung weiter zu steigern und den Schadstoffanteil im Abgas zu vermindern.

Hierfür stehen eine Reihe von **Maßnahmen im konventionellen, verbrennungsmotorischen Antriebsstrang** zur Verfügung. Insbesondere über Optimierungen der Kernkomponenten Verbrennungsmotor, Getriebe, Nebenaggregate sowie der Abgasnachbehandlung kann die Effizienz und das Emissionsverhalten verbessert werden.

Beim **Verbrennungsmotor** stehen z.B. die Einzelmaßnahmen des Downsizings in Verbindung mit abgasstrombetriebener mechanischer oder elektrifizierter Aufladung, die variable Ventilsteuerung und die Zylinderabschaltung zur Verfügung.[21] Mit diesen Maßnahmen wird das Ziel verfolgt, den Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors insbesondere im Teillastbetrieb zu steigern.[22]

Fahrzeuggetriebe werden dahingehend optimiert, den Verbrennungsmotor möglichst häufig in einem wirkungsgradoptimalen Punkt betreiben zu können, was mit zunehmender Ganganzahl gelingt. Hierfür stehen sowohl manuelle als auch Automatikgetriebe zur Verfügung. Zudem stellt die generelle Reduzierung der Reibung im Getriebe zur Verminderung der Verlustleistung eine kontinuierliche Verbesserungsmaßnahme dar.

Nebenaggregate im Antriebsstrang, wie z.B. die Ölpumpe, tragen nicht zur eigentlichen Vortriebsfunktion bei, sind aber für den Betrieb, z.B. im Hinblick auf die Schmierung oder Kühlung, unbedingt erforderlich oder stellen wie im Falle des Klimakompressors eine wesentliche Komfortfunktion sicher. Konventionell werden diese Nebenaggregate über einen Riementrieb vom Verbrennungsmotor angetrieben. Eine Effizienzsteigerung der Nebenaggregate im konventionellen Antriebsstrang ist möglich, indem sie elektrifiziert und damit bedarfsgerecht gesteuert werden können (Wallentowitz und Freialdenhoven, 2011).

Zusätzlich zu innermotorischen Maßnahmen zur Emissionsvermeidung kann auf eine **Abgasnachbehandlung** unter jeglichen legislativen Anforderungen nicht verzichtet werden. Bei benzinbetriebenen Fahrzeugen wird in der Regel ein konventioneller 3-Wege-Katalysator eingesetzt und seit der Einführung der Schadstoffnorm Euro 6c auch bei benzinbetriebenen Fahrzeugen ein Ottopartikelfilter. Bei Dieselmotoren wird sich in allen Fahrzeugsegmenten der Einsatz eines SCR-Katalysators neben einem Oxidationskatalysator sowie einem Dieselpartikelfilter als Industriestandard etablieren.

Die Schlüsselkomponenten des rein verbrennungsmotorischen Antriebsstrangs (Verbrennungsmotor, Getriebe, Nebenaggregate, Abgasnachbehandlung, Kraftstofftanksystem) bleiben für alle Hybride grundsätzlich relevant, wobei gegebenenfalls Potenzial zur Entfeinerung existiert. Relevante zusätzliche **Schlüsselkomponenten**

---

[21] Beim Downsizing wird bei konstanter Motorisierung der Hubraum über das Zylindervolumen oder die Anzahl der Zylinder verkleinert, um eine Verringerung der Reibleistung zu erzielen und so die Energieeffizienz zu steigern.
Durch die variable Ventilsteuerung können die Ventilsteuerzeiten und ggfs. der Ventilhub eines Motors variabel an den Lastpunkt angepasst werden. Hiermit kann neben einer Verbesserung des Drehmomentverlaufs auch eine Steigerung der Motoreffizienz erzielt werden.

[22] Im Teillastbetrieb wird ein Verbrennungsmotor mit weniger als der maximal möglichen Leistung betrieben. Dies hat für gewöhnlich eine verminderte Kraftstoffausnutzung und Energieeffizienz zur Folge.

elektrifizierter Antriebsstränge stellen im Wesentlichen die Batterie als Energiespeicher, der Elektromotor als Energiewandler sowie die (im nächsten Abschnitt betrachtete) Leistungselektronik dar.

Hinsichtlich der **Batteriesysteme** stellen Lithium-Ionen-Akkumulatoren in elektrifizierten Fahrzeugen die gängigste Variante dar und bieten weiterhin Potenzial für graduelle Fortschritte hinsichtlich der wichtigsten Kenngrößen, z.B. der Energiedichte. Eine fundamentale Weiterentwicklung wird erst durch den Einsatz zukünftiger Zelltechnologien erwartet, etwa den sich noch im Forschungsstadium befindlichen Festkörperakkumulatoren. Diese weisen durch den Verzicht auf einen flüssigen Elektrolyten grundsätzliche Vorteile insbesondere bezüglich der Sicherheit auf und ermöglichen potenziell eine weitere Steigerung der Energiedichte. Ein Einsatz vor 2030 erscheint jedoch vor dem Hintergrund des gegenwärtigen Entwicklungsstandes im Massenmarkt unwahrscheinlich.

Elektromotoren gelten aufgrund der langen Entwicklungshistorie im Nicht-Automobilbereich als reife Technologie. Die Auswahl und Dimensionierung der elektrischen Maschine im elektrifizierten Antriebsstrang richtet sich unter anderem nach Anforderungen in den Bereichen Leistungscharakteristik, Kosten und Kostenrisiken, Bauraum und weiteren Kriterien. Elektromotoren im Antrieb werden in Großserienanwendungen aufgrund einer bauraumbedingt hohen Leistungsdichte gemeinhin als permanenterregte Synchronmaschine ausgeführt, seltener als Asynchronmaschine.[23] Die Abhängigkeit der permanenterregten Synchronmaschine von seltenen Erden, welche in den Permanentmagneten der Maschine verwendet werden, wird langfristig als Risiko eingestuft und ist Gegenstand aktueller Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten.

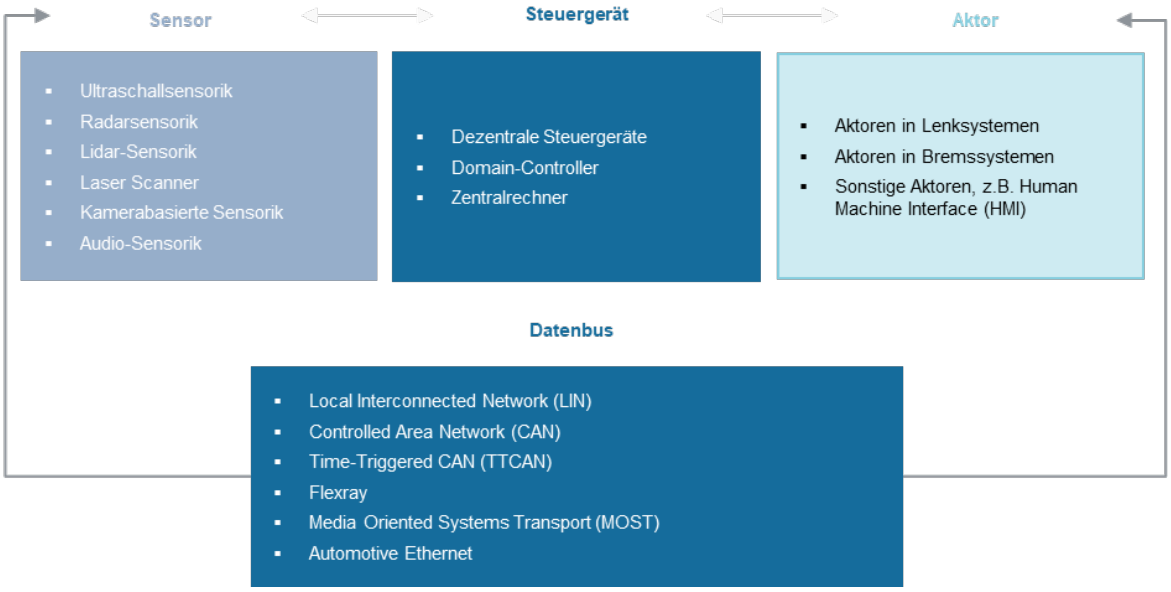
Der Technologiepfad Vernetzung und Automatisierung entfaltet hingegen nur indirekt Wirkung auf den Antriebsstrang. Zwar kommt das Eigenschaftsprofil des elektrifizierten Antriebsstrangs (hohe Dynamik, lokale Emissionsfreiheit, jedoch begrenzte Reichweiten) den Anforderungen neuer Mobilitätsdienstleistungen auf Basis automatisierter Fahrzeuge in Städten entgegen. Prinzipiell lassen sich automatisierte Fahrzeuge aber auch auf Basis konventioneller Antriebsstränge mit Automatikgetriebe darstellen. Ferner wirken sich neue Mobilitätsdienstleistungen auf die konkrete Auslegung des Antriebsstrangs im Hinblick auf Leistung und Reichweite aus. Für privat genutzte, automatisierte Fahrzeuge bestehen diese Abhängigkeiten jedoch in der Regel nicht.

2.1.2 Elektrik und Elektronik

Die Entwicklung der Fahrzeughauptgruppe Elektrik/Elektronik wird durch den Technologiepfad Vernetzung und Automatisierung substanziell beeinflusst. So werden beispielsweise Sensorik und Künstliche Intelligenz in Steuergeräten oder Rechnern als Hardware entsprechend der automatisierten Fahrfunktionen dieser Hauptgruppe zugeordnet. Damit automatisierte Fahrfunktionen umgesetzt werden können, müssen zunächst Informationen über die Umfeldsensorik erfasst und in Steuergeräten verarbeitet werden. Außerdem müssen Aktoren angesteuert werden, um eine entsprechende Reaktion des Fahrzeugs hervorzurufen. Die Informationen werden dabei über einen Datenbus, eine interne Leitungsstruktur zur Datenübermittlung, weitergeleitet (siehe Abb. 9).

[23] Eine permanenterregte Synchronmaschine verwendet Permanentmagnete anstelle von Elektromagneten zur Erzeugung des Statorfeldes im Elektromotor.

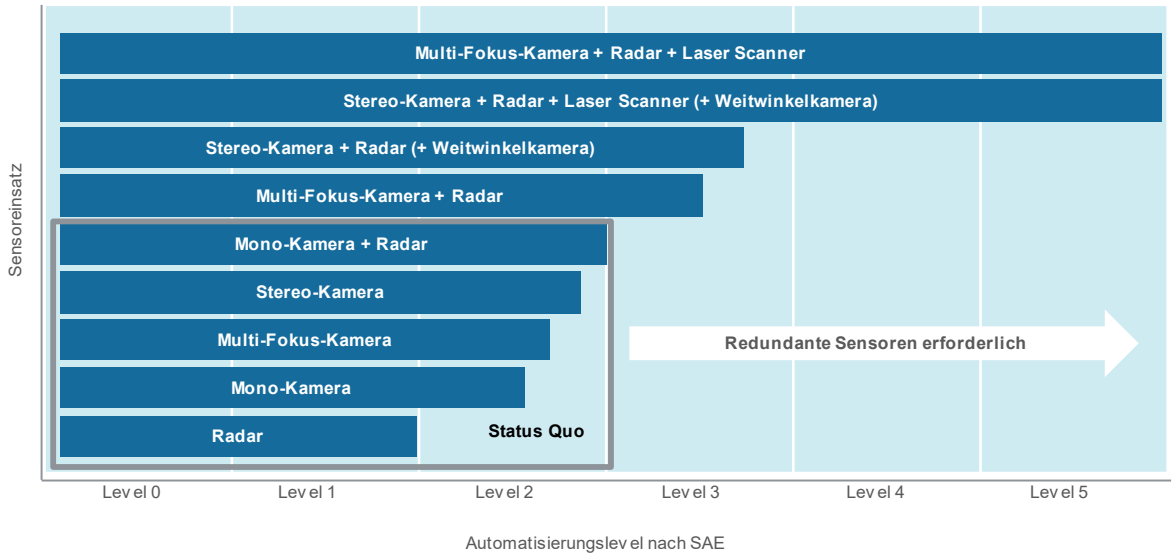
Abb. 9: Systemaufbau zur Realisierung automatisierter Fahrfunktionen



Quelle: fka. Eigene Darstellung.

Zur Erfassung von Umfelddaten stehen verschiedene Sensoren wie Kamera-, Radar-, Lidar- und Ultraschallsensoren zur Verfügung, die sich hinsichtlich ihrer Messprinzipien und damit auch ihrer spezifischen Vor- und Nachteile unterscheiden. Aus den spezifischen Vor- und Nachteilen wird deutlich, dass Umfelddaten fortgeschrittener, sicherheitskritischer Automatisierungsfunktionen von verschiedenen Sensoren gleichzeitig erfasst werden müssen. Denn durch eine Sensordatenfusion, also die Nutzung mehrerer Sensordaten, kann grundsätzlich eine höhere Qualität der Informationen über die Umwelt sichergestellt werden (siehe Abb. 10).

Abb. 10: Tendenzielle Sensorausstattung nach Automatisierungslevel



Quelle: fka. Eigene Darstellung.

Die durch die Sensoren erfassten Umfelddaten werden, auch unter Verwendung von Techniken der Künstlichen Intelligenz, wie z.B. Mustererkennung über künstliche neuronale Netze, ausgewertet. Die entsprechenden Berechnungen werden in spezialisierten

Steuergeräten mit hoher Rechenleistung vorgenommen. Generell besteht der Trend, Steuergeräte in zentralen Rechnern zusammenzufassen, welche alle Aufgaben im Bereich der Fahrerassistenzsysteme übernehmen, z.B. die Plattform NVIDIA Drive. Zur Umsetzung der Fahrzeuglängs- und Fahrzeugquerführung muss das System in die Lenkung, die Bremsanlage sowie die Antriebsregelung eingreifen können.

Der Technologiepfad Effizienzsteigerung und Emissionsvermeidung tangiert die Fahrzeughauptgruppe Elektrik/Elektronik über die potenzielle Einführung eines 48-V-Bordnetzes, welches beispielsweise eine elektrische Aufladung oder die Verwendung eines Mild-Hybrid-Antriebs ermöglicht.

2.1.3 Karosseriestruktur und Exterieur

Durch **Karosserieleichtbau**, z.B. unter Verwendung alternativer Materialkonzepte, kann das Fahrzeuggewicht und damit der Energiebedarf effektiv gemindert werden. Leichtbau auf Basis fortgeschrittener stahlintensiver Schalenbauweisen stellt in den Volumensegmenten aus wirtschaftlichen Gründen die häufigste Bauweise dar. Mit zunehmendem Fokus auf Fahrzeugleichtbau und entsprechender Akzeptanz von Mehrkosten werden steigende Anteile von Leichtmetallen wie Aluminium sowie in geringerem Umfang auch von Magnesium und faserverstärkten Kunststoffen eingesetzt.

Für elektrifizierte Fahrzeugkonzepte ergibt sich aufgrund der **Rekuperationsfähigkeiten** des Antriebs, d.h. aufgrund der technischen Fähigkeit zur Rückgewinnung von Energie, eine leicht verringerte Bedeutung des Fahrzeugleichtbaus. Der bei einer erhöhten Fahrzeugmasse größere Energieaufwand zur Beschleunigung des Fahrzeuges kann in diesem Fall bei Bremsvorgängen bis zu einer durch Batterie und Elektromotor vorgegebenen Maximalleistung zurückgewonnen werden, wenn auch unter Wirkungsgradverlusten (Redelbach et al., 2012; Hofer et al., 2014). Aus fahrdynamischer Sicht bleibt Fahrzeugleichtbau jedoch auch bei Elektrofahrzeugen weiterhin relevant. Speziell im Hinblick auf elektrifizierte Antriebsstränge ergeben sich darüber hinaus neue strukturelle Anforderungen, etwa um die Traktionsbatterie zu schützen.

Aerodynamikmaßnahmen werden schließlich unabhängig von der Antriebsart angewendet, um die benötigte Energie zu minimieren.

Die Automatisierung wirkt sich über neue Fahrzeugkonzepte auf die Karosseriebauweise und gegebenenfalls neue abzudeckende Crashlastfälle aus. Werden die Fahrzeuge im Sinne einer besseren Raumausnutzung z.B. höher oder mit geringeren Überhängen gebaut, werden gegebenenfalls Änderungen an der strukturellen Auslegung der Karosserie notwendig. Wenn die Insassen andere Sitzpositionen als bislang üblich einnehmen können, muss sich dies ebenso im Sicherheitskonzept des Fahrzeugs niederschlagen. Auch wenn Unfälle bei Fahrzeugen höherer Automatisierungsstufen seltener werden, kann dennoch langfristig nicht auf eine passive Sicherheitsstruktur bei Fahrzeugen verzichtet werden. Dies liegt daran, dass auch weiterhin der Mischverkehr mit nicht automatisierten Fahrzeugen vorherrschen wird und Unfälle somit nicht vollständig vermieden werden können.

2.1.4 Interieur

Im Fahrzeuginterieur eröffnet die Fahrzeugautomatisierung ab Level 4 **innovative Gestaltungsmöglichkeiten** und erfordert gleichzeitig neuartige Konzepte an der **Mensch-Maschine-Schnittstelle** (HMI – Human Machine Interface). Diese Tendenzen gelten sowohl bei automatisierten Fahrzeugen im privaten Besitz als auch im Zuge des Einsatzes bei neuen Shared Mobility-Konzepten.

Beispielsweise ergeben sich neue Möglichkeiten für die Anordnung der Sitze im Fahrzeug, welche von der üblichen Verteilung auf ein bis drei Reihen hintereinander und der Orientierung in Fahrtrichtung abweicht. In diesem Zusammenhang regelmäßig diskutierte Konstellationen umfassen beispielweise eine gegenüberliegende Anordnung der Sitze oder die Möglichkeit des Fahrers, seine Sitzposition und Sitzorientierung flexibel zu verändern.

Im Hinblick auf das HMI-Konzept werden etwa Bedienelemente sowie Anzeigen angepasst. Bei fahrerlosen Fahrzeugen (Level 5) können die Pedalerie sowie die Lenkeinrichtung entfallen, sofern den Insassen kein eigenständiges Fahren mehr ermöglicht werden soll. Für Level 4 können diese versenk- und ausfahrbar sein oder durch kompakte Sticks ersetzt werden, um dem Fahrer mehr Raum für andere Aktivitäten zu geben. Insbesondere für Level 3 und 4-Funktionen besteht der Bedarf nach effektiven HMI-Konzepten, um einen Fahrer auf den bevorstehenden Wechsel von hochautomatisiertem Fahren zu manuellem Fahren vorzubereiten (Kühn et al., 2016). In ersten Level 3-Anwendungen kommen bisher visuelle und akustische Signale zum Einsatz, um den Fahrer zur Übernahme der Fahraufgabe aufzufordern.

Im Rahmen des Technologiepfades Effizienzsteigerung und Emissionsminderung ist das Fahrzeuginterieur durch eine möglichst **energieeffiziente Innenraumklimatisierung** betroffen. Dies betrifft insbesondere Fahrzeuge mit elektrifiziertem Antriebsstrang, da hier nicht mehr genügend Abwärme zur Verfügung steht, die zur Beheizung des Innenraums genutzt werden könnte. Die Beheizung der einströmenden Luft erfolgt deshalb über eine elektrische Widerstandsheizung, welche jedoch aufgrund ihrer hohen elektrischen Leistungsaufnahme je nach Batteriekapazität signifikante Auswirkungen auf die Reichweite haben kann (Großmann, 2016). Zur Verringerung des Energiebedarfs können z.B. Wärmepumpen eingesetzt werden. Des Weiteren kann der Klimakompressor bei rein batterieelektrischen Fahrzeugen nicht mehr vom Verbrennungsmotor angetrieben werden. Er ist daher zukünftig ebenfalls zwingend zu elektrifizieren.

2.1.5 Fahrwerk

Das Fahrwerk des Fahrzeuges trägt über eine **Gewichts- oder Rollwiderstandsreduktion** zum Technologiepfad Effizienzsteigerung und Emissionsvermeidung bei. Wie im Gesamtfahrzeug kann auch im Fahrwerksbereich durch den Einsatz von Leichtbaumaterialien und der Anwendung von Leichtbauweisen der Fahrwiderstand reduziert werden. Als Alternativmaterialien zu Stahl eignen sich neben geschmiedetem oder gegossenem Aluminium im hochpreisigen Segment auch faserverstärkte Kunststoffe. Zudem kann durch innovative Reifenwerkstoffe oder einer deutlichen Änderung der Reifen- und Raddimensionierung eine Reduzierung des Rollwiderstandes erreicht werden.

Für automatisierte Fahrfunktionen wirkt im Bereich des Fahrwerks eine Umstellung von Lenk- und Bremssystemen auf **X-By-Wire-Technologien**, bei der Brems- bzw. Lenkwunsch des Fahrers elektronisch zum entsprechenden Aktor übermittelt werden, unterstützend. Darüber hinaus ist es möglich, dass bei vollautomatisierten Fahrzeugen Fahrwerkregelsysteme vermehrt zum Einsatz kommen, da der Fahrkomfort bei diesen eine wichtigere Rolle einnehmen könnte.[24]

[24] Ein Beispiel für ein Fahrwerkregelsystem ist die aktive Dämpferregelung, welche in Abhängigkeit der Fahrsituation und Fahrbahnbeschaffenheit eine automatische Anpassung der Dämpferhärte vornimmt und somit Bewegungen des Fahrzeugaufbaus minimieren kann.

3. Ausblick: Wie Shared Mobility-Konzepte die Struktur der Wertschöpfung verändern werden

Das vernetze und automatisierte Fahren führt nicht nur zu einer veränderten Technologieausstattung und damit erweiterten Wertschöpfungsumfängen bei bekannten Fahrzeugen. Höher automatisierte Fahrfunktionen ermöglichen auch die Etablierung neuer Geschäftsmodelle auf Basis automatisierter Fahrzeuge.

Shared Mobility-Konzepte werden zu einem Rückgang des privaten Fahrzeugbesitzes und damit des Motorisierungsgrades führen

Je nach Markterfolg der neuen Mobilitätsdienstleistungen kann zukünftig ein signifikanter Anteil der automobilen Wertschöpfung im Rahmen dieser neuen Geschäftsmodelle entstehen. Wesentliche Treiber hierfür stellen sowohl die gesellschaftliche Entwicklung und der Wandel im Hinblick auf die Sharing Economy als auch die zunehmende Verkehrsproblematik insbesondere in urbanen Räumen dar. Beides führt tendenziell zu einer Verlagerung vom Fahrzeugbesitz hin zur flexiblen Fahrzeugnutzung. Tendenziell ist daher mit einem Rückgang des privaten Fahrzeugbesitzes und auch des Motorisierungsgrades zu rechnen, d.h. dem Bestand an Pkw im Verhältnis zur Bevölkerung. Denn aufgrund der effizienteren Nutzung von Pkw durch Shared Mobility-Konzepte, werden voraussichtlich insgesamt weniger Pkw im privaten Besitz benötigt, um die Mobilitätsnachfrage zu bedienen. Dies würde sich wiederum in einer niedrigeren Anzahl an Neuzulassungen ausdrücken.

Dahingegen kein genereller Rückgang der Mobilitätsnachfrage (in Personenkilometern) zu erwarten ist, muss dieser über neue Mobilitätskonzepte und -dienstleistungen sichergestellt werden, etwa über Carsharing und Ridesharing. Entsprechende Geschäftsfelder werden in Europa insbesondere von OEMs bzw. ausgegründeten Tochtergesellschaften erschlossen. Beispielhaft sind hier die gemeinsamen Mobilitätsdienstleistungen von Daimler und BMW oder von Ford zu nennen. In diesen Fällen kommen Pkw des jeweiligen OEMs zum Einsatz. Die Wertschöpfung entfällt damit sowohl hinsichtlich der Entwicklung als auch der Produktion und der Mobilitätsdienstleistung auf die OEMs. Als Konkurrenz dazu treten insbesondere im asiatischen und nordamerikanischen – aber auch teilweise im europäischen Raum – neue Akteure auf, welche derzeit lediglich als „Vermittler“ von Mobilitätsdienstleistungen agieren, z.B. Uber, Didi Chuxing oder BlaBlaCar. Jedoch ist nicht auszuschließen, dass diese Unternehmen zukünftig weitere Anteile der automobilen Wertschöpfung übernehmen könnten.

Vollautomatisierte und fahrerlose Taxis als Verbindung aus Automatisierung und Shared Mobility-Konzepten werden zukünftig einen bedeutsamen Beitrag zur Bedienung der Mobilitätsnachfrage liefern

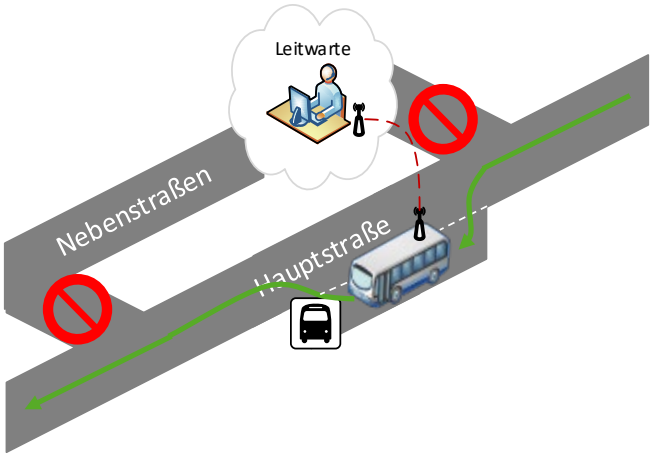
Sobald Level 4 oder 5-Funktionen flächendeckend auch im urbanen Räumen verfügbar sind, ist in Verbindung mit neuen Mobilitätskonzepten sowohl mit fundamentalen Veränderungen der Wertschöpfungsstrukturen als auch der Fahrzeugkonzepte zu rechnen. Beispielsweise können auf Abruf verfügbare, fahrerlose Pkw oder Shuttles, zur Erfüllung der Mobilitätsnachfrage genutzt werden. Die Hauptvorteile ergeben sich aus den möglichen Kosteneinsparungen durch den Wegfall des Fahrers, auf welchen in konventionellen Taxis ein Großteil der Betriebskosten entfallen (Bösch et al., 2018). Andererseits ermöglichen Level 4/5-Fahrzeuge ein flexibles Mobilitätsangebot, welches auch die Mobilitätsnachfrage in Situationen befriedigen kann, in denen der ÖPNV nicht wirtschaftlich zu bedienen ist. Wichtig ist dabei eine sinnvolle Integration in den ÖPNV, wodurch auch die Vorteile von

neuen Mobilitätskonzepten, wie Emissionsminderung und verbesserter Verkehrsfluss, umgesetzt werden können. Ansonsten könnte es zu einer Steigerung des Individualverkehrs kommen. Weitere Vorteile ergeben sich durch das sogenannte Ridepooling, d.h. aus der effizienten Bündelung einzelner nachgefragter Fahrten, wodurch die Anzahl der verwendeten Fahrzeuge zu einem gegebenen Zeitpunkt verringert werden kann.

In Anbetracht dieser Vorteile stellt der Einsatz automatisierter Fahrzeuge einen wesentlichen Umbruch für Mobilitätsdienstleistungen dar, auch im Hinblick auf die Höhe der potenziell in diesem Markt erzielbaren Umsätze (Bernhart, 2016).

Da mit einer graduellen technologischen Entwicklung der Automatisierung und der entsprechenden Infrastruktur zu rechnen ist, werden sich neue Mobilitätsdienstleistungen ebenfalls schrittweise weiterentwickeln. Bereits relativ kurzfristig können automatisierte Shuttles den ÖPNV punktuell entlang festgelegter Routen und Haltestellen unterstützen. Diese bewegen sich fahrerlos im öffentlichen Verkehr, stehen dabei in steter Verbindung mit einer überwachenden Leitwarte, von wo aus gegebenenfalls das Fahrzeug in spezifischen Verkehrssituationen auch vom Personal gesteuert werden kann (siehe Abb. 11) (Eckstein et al., 2018).

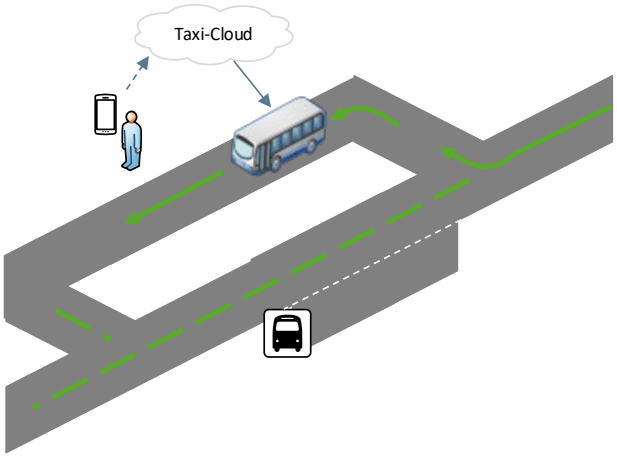
Abb. 11: Automatisiertes fahrerloses Shuttle an einer Haltestelle



Quelle: fka. Eigene Darstellung in Anlehnung an (Eckstein et al., 2018).

Die Realisierung eines vollständig fahrerlosen Fahrzeugs mit freier Ziel- und Routenwahl ist technologisch herausfordernder und wird erst um 2025 erste Modellanwendungen ermöglichen. Eine Leitwarte dient in diesem Fall nur noch als Rückfallebene im Notfall. Buchung, Fahrzeugzugang und Abrechnung erfolgen mittels einer cloudgestützten Smartphone-App (siehe Abb. 12) (Eckstein et al., 2018). Diese sind jedoch nicht vom Automatisierungslevel abhängig. So können bereits heute nichtautomatisierte Fahrzeuge, z.B. im Rahmen des Carsharings, über eine App gebucht werden. Die Wertschöpfung aus den Services der fahrerlosen Fahrzeuge kann auf unterschiedlichen Ebenen entstehen, etwa im Bereich der Fahrzeugtechnik, dem IT-Backend oder der Entwicklung, der Verwaltung und des Betriebs der Mobilitätsdienstleistungen.

Abb. 12: Fahrerloses Taxi mit Smartphone-App



Quelle: fka. Eigene Darstellung in Anlehnung an (Eckstein et al., 2018)

Damit die Wertschöpfung solcher Geschäftsmodelle zukünftig in Deutschland entsteht, ist es wichtig, dass die Automobilindustrie ausreichend auf die zukünftigen Herausforderungen vorbereitet ist. Dazu müssen einzelne Herausforderungen genauer spezifiziert werden und es muss analysiert werden, an welchen Stellen die Industrie noch weitere Vorbereitungen treffen sollte. Daher bedarf es einer Bestandsaufnahme der deutschen Automobilindustrie sowie des Technologiestandortes Deutschland. Diese erfolgt im nächsten Kapitel in Form einer Untersuchung der aktuellen Situation sowie der Perspektiven, die sich für die Automobilindustrie in den kommenden Jahrzehnten ergeben.

II. Wie ist die Automobilindustrie in Deutschland auf den Strukturwandel vorbereitet?

In diesem Kapitel werden die aktuelle Situation (Status Quo) sowie die Chancen und Herausforderungen (Perspektiven) der deutschen Automobilindustrie möglichst umfassend und doch prägnant dargestellt.

In Kapitel 1 werden die Bedeutung der Automobilindustrie, des Automobilhandels und des Aftermarkets in Deutschland anhand unterschiedlicher Kennzahlen untersucht und allgemeine Chancen und Herausforderungen beleuchtet. Danach gliedert sich die Analyse entlang der zwei Technologiepfade aus dem vorherigen Kapitel. Kapitel 2 betrachtet die Elektrifizierung des Antriebsstrangs als Ausprägung des Technologiepfades Effizienzsteigerung und Emissionsvermeidung. Kapitel 3 beleuchtet vernetztes und automatisiertes Fahren. Zusätzlich werden in Kapitel 4 neue Mobilitätskonzepte beleuchtet, die zum einen aus der Digitalisierung des Mobilitätsystems und zum anderen aus automatisierten Fahrfunktionen entstehen. Abschließend wird in Kapitel 5 die Digitalisierung von Produktion („Industrie 4.0“) und Arbeit (veränderte Fachkräfteanforderungen durch den Strukturwandel) als weiteres Themenfeld betrachtet. Die Digitalisierung von Produktion und Arbeit wird eine maßgebliche Rolle spielen, die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilindustrie zu sichern.

In der Analyse wird nicht nur die allgemeine – die ganze Automobilindustrie betreffende – Situation dargestellt, sondern es werden auch besondere Aspekte einzelner Akteure beleuchtet. Entsprechend erfolgt die Betrachtung von OEMs, Automobilzulieferern, Akteuren im Bereich Infrastrukturaufbau (Ladeinfrastruktur, digitale Infrastruktur für automatisiertes Fahren), Start-ups sowie Unternehmen im Bereich Automobilhandel und Aftermarket.

1. Allgemeine Situation

Im folgenden Kapitel wird zunächst die Bedeutung der Automobilindustrie, des Automobilhandels und des Aftermarkets in Deutschland im Status Quo anhand unterschiedlicher Kennzahlen untersucht. Danach werden themenübergreifende Perspektiven der deutschen Automobilwirtschaft beleuchtet.

In Kasten 2 befindet sich eine Abgrenzung der Begriffe Automobilindustrie, Automobilhandel, Aftermarket und Automobilwirtschaft wie sie in der vorliegenden Studie verwendet werden. Sie orientiert sich an der Abgrenzung der Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ2008) des Statistischen Bundesamtes.

Kasten 2: Volkswirtschaftliche Daten zur Erfassung der Automobilwirtschaft

Definitionen und Abgrenzungen der Automobilwirtschaft

Die *Automobilwirtschaft* umfasst neben der Kraftfahrzeugherstellung *„Automobilindustrie“* auch weitere Bereiche bzw. Wirtschaftszweige.[25] Die Abgrenzung kann sich direkt an der Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ2008) des Statistischen Bundesamtes orientieren. In dieser Systematik werden Betriebe dem Wirtschaftszweig zugeordnet, in welchem der Schwerpunkt ihrer wirtschaftlichen Tätigkeit liegt.

Entsprechend wird die Automobilindustrie durch den Wirtschaftszweig WZ29, d.h. der „Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen“ abgebildet. Dieser Wirtschaftszweig lässt sich weiter in die „Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenmotoren“ (WZ29.1), die „Herstellung von Karosserien, Aufbauten und Anhängern“ (WZ29.2) und die „Herstellung von Teilen und Zubehör für Kraftwagen“ (WZ29.3) unterteilen. Hierdurch lassen sich sowohl OEM durch den Wirtschaftszweig WZ29.1 als auch Zulieferer durch WZ29.3 identifizieren.

Weitere wichtigere Zweige der Automobilwirtschaft sind neben der Kraftfahrzeugherstellung der gesamte Aftermarket sowie der Automobilhandel. Während der Aftermarket den Teilehandel sowie Werkstätten abbildet, erfasst der Automobilhandel den Verkauf von Neu- und Gebrauchtwagen. Beide Bereiche lassen sich durch den Wirtschaftszweig WZ45 „Handel mit Kraftfahrzeugen; die Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen“ erfassen. Als Automobilhandel definieren wir im Folgenden den „Handel mit Kraftwagen“ (WZ45.1); als Aftermarket die „Instandhaltung und Reparatur von Kraftwagen“ (WZ45.2) und den „Handel mit Kraftwagenteilen und -zubehör“ (WZ45.3).

Die gesamte Automobilwirtschaft umfasst neben der oben definierten Automobilindustrie weitere Zulieferer, die nicht in der WZ29 enthalten sind. Diese Zulieferer außerhalb der WZ29 können innerhalb der Klassifikation der Wirtschaftszweige nicht identifiziert werden. Die Abgrenzung entsteht durch Zulieferer, deren Schwerpunkt der wirtschaftlichen Tätigkeit nicht in der „Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen“ (WZ29) liegt. Solche Betriebe haben ihren wirtschaftlichen Schwerpunkt beispielsweise in der „Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren“ (WZ22) oder der „Herstellung von Metallerzeugnissen“ (WZ25). Mithilfe der Input-Output-Tabellen des Statistischen Bundesamtes lassen sich jedoch Vorleistungsverflechtungen mit anderen Branchen darstellen. Aus dem Vorleistungsanteil des jeweiligen Wirtschaftszweiges kann auf Beschäftigtenanteile geschlossen werden.

Anmerkung: Monetäre Kennzahlen (Wertschöpfung, Umsatz, etc.) werden inflationsbereinigt in Euro zum Basisjahr 2010 dargestellt. Diese bereinigte Darstellung ermöglicht eine Vergleichbarkeit der Kennzahlen im Zeitverlauf. Zur Umrechnung von nominalen zu inflationsbereinigten bzw. realen Größen wird der Verbraucherpreisindex für Deutschland genutzt.

[25] Synonym wird der Begriff „Automobilindustrie im engeren Sinne“ für „Automobilindustrie“ bzw. „Automobilindustrie im weiteren Sinne“ für „Automobilwirtschaft“ verwendet (ZEW, 2009).

1.1 Status Quo

„Das Wichtigste in Kürze“: Bedeutung der Automobilwirtschaft in Deutschland

Die Automobilindustrie, der Automobilhandel und der Aftermarket sind die Branchen mit der höchsten Bruttowertschöpfung Deutschlands. 2017 waren sie insgesamt für über 6% der gesamten deutschen Wertschöpfung verantwortlich. Allein die reale Wertschöpfung der Automobilindustrie betrug 2017 rund 127 Mrd. Euro bzw. 5% der deutschen Wertschöpfung. Sie ist seit 2011 stetig gewachsen; im Schnitt pro Jahr mit über 5%. Die deutsche Automobilindustrie nimmt auch in Europa eine wichtige Rolle ein. So entstand 2016 die Hälfte der Wertschöpfung der EU-Automobilindustrie in Deutschland.[26]

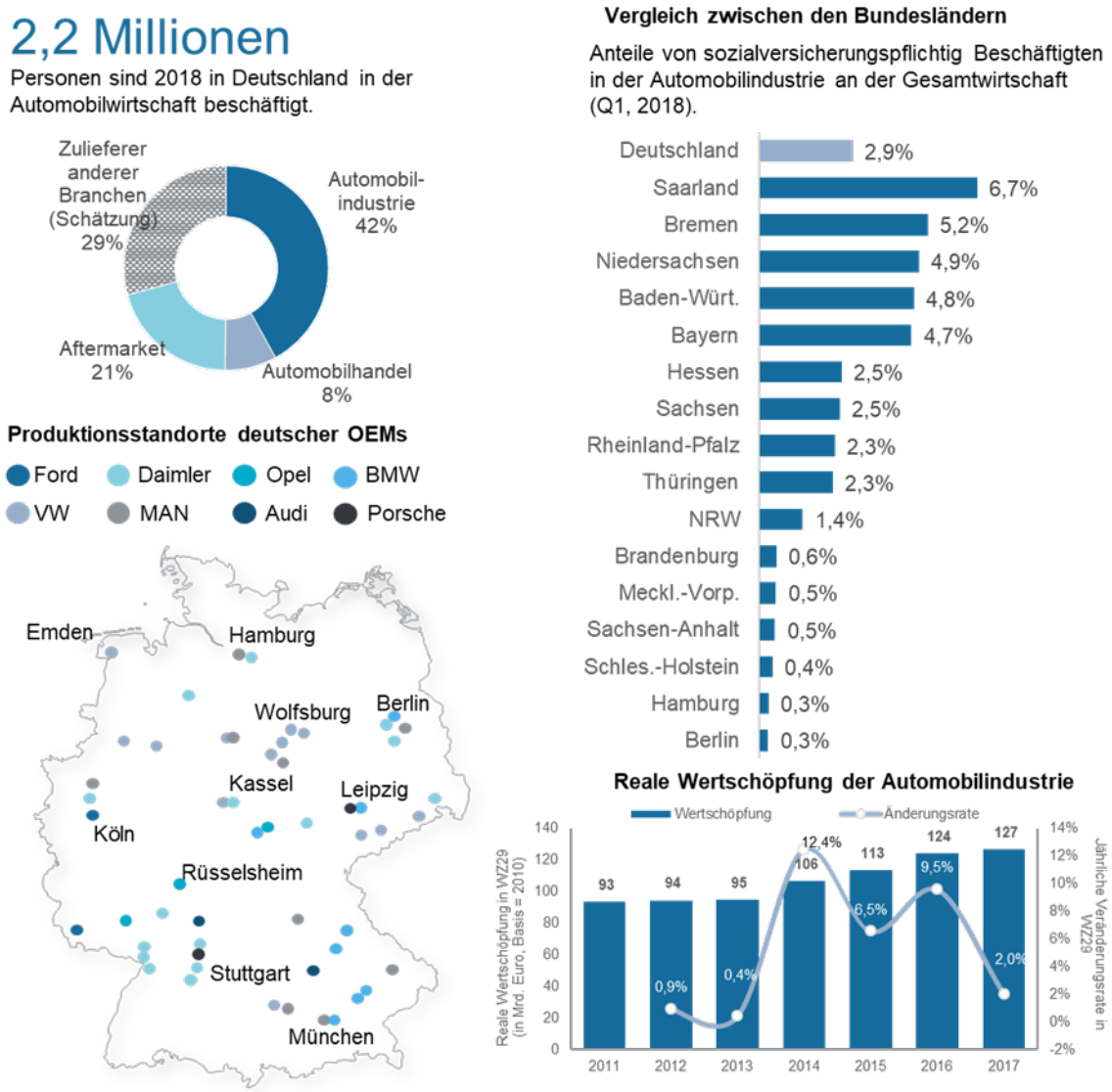
Dies macht sich auch in der Zahl der Arbeitsplätze bemerkbar. 2018 waren insgesamt 1,6 Mio. Menschen in der Automobilindustrie, dem Automobilhandel und dem Aftermarket in Deutschland beschäftigt. Das entspricht rund 5% aller Arbeitsplätze in Deutschland. Davon entfielen rund 940.000 Arbeitsplätze auf Unternehmen der Automobilindustrie. Regional variiert die Bedeutung der Automobilindustrie dabei erheblich. Sie ist insbesondere im Saarland, in Bremen, in Baden-Württemberg, in Niedersachsen und in Bayern ein wichtiger Pfeiler der Wirtschaft. In diesen Bundesländern arbeitet fast jeder zwanzigste Beschäftigte in der Automobilindustrie.

Die gesamte Automobilwirtschaft umfasst neben der Automobilindustrie weitere Zulieferer, die nicht in der WZ29 enthalten sind. Basierend auf den Input-Output-Tabellen schätzen wir für 2018 rund 650.000 zusätzliche Beschäftigte in Wirtschaftszweigen, die eng mit der Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen verflochten sind. Damit sind insgesamt 2,2 Mio. Personen in Deutschland in der Automobilwirtschaft beschäftigt. Das entspricht rund 7% aller sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten in Deutschland.

Abb. 13 stellt eine kurze Übersicht der wichtigsten Kennzahlen dar.

[26] 105 der 210 Mrd. Euro an Wertschöpfung wurden 2016 in Deutschland generiert. Quelle: Eurostat (Detaillierte jährliche Unternehmensstatistiken für die Industrie (NACE Rev. 2, B-E), Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen (C29)).

Abb. 13: Übersicht der Automobilwirtschaft



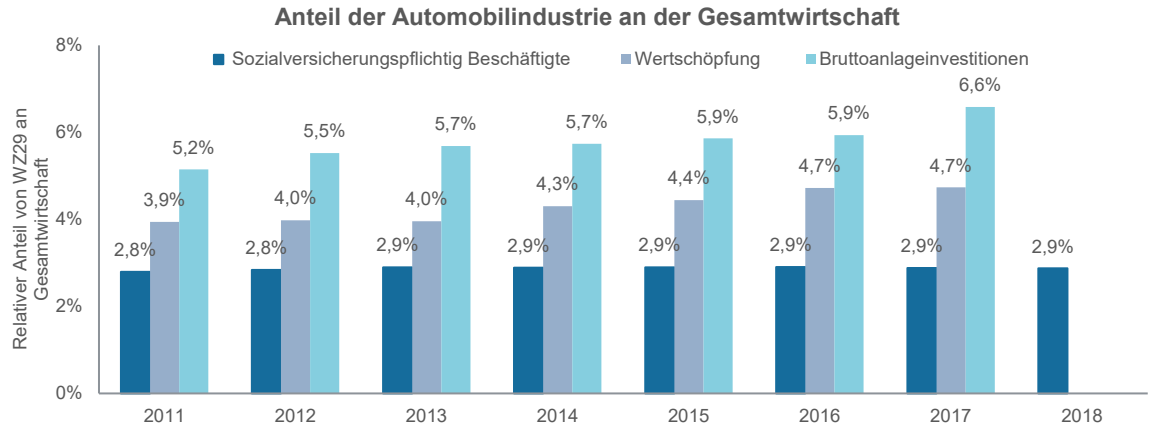
Quelle: IPE. Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte: Eigene Berechnungen basierend auf Daten der Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008), Stichtag: 31.3.2018) sowie des Statistischen Bundesamtes (Jahresbericht für Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe, Tabelle: 42271-0002 und Jahresstatistik im Handel, Tabelle: 45341-0001; Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Input-Output-Rechnung. Tabelle 2.3 Input-Output-Tabelle 2015 zu Herstellungspreisen – Inländische Produktion. Tabelle 3 Auswertungstabellen zu den Input-Output-Tabellen. CPA=Classification of Products by Activity (Statistische Güterklassifikation in Verbindung mit den Wirtschaftszweigen in der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft)). Produktionsstandorte: Zusatzauswertungen der Abteilung Märkte, Analysen, Rohstoffe, Statistik des VDA für dieses Forschungsvorhaben. Bruttowertschöpfung: Eigene Berechnungen basierend auf Daten des Statistischen Bundesamtes (Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung des Bundes, Tabelle: 81000-0103). Anmerkung: Die angegebenen Änderungsraten für ein Jahr sind jeweils die Veränderungsraten der realen Bruttowertschöpfung zum Vorjahr.

Mit einem Anteil von einem Drittel werden die meisten Pkw der EU in Deutschland produziert

Innerhalb Europas nimmt die deutsche Automobilindustrie eine herausragende Rolle ein. So stammten 2018 ein Drittel aller in der EU produzierten Pkw aus Deutschland.[27] 2016 entstand die Hälfte der Wertschöpfung der europäischen Automobilindustrie in Deutschland.[28] Diese Zahl verdeutlicht, dass die Bedeutung der Produktion von Pkw für kein anderes Land der EU so hoch ist wie für Deutschland.

Doch nicht nur für Europa, sondern vor allem für die deutsche Wirtschaft hat die Automobilindustrie eine tragende Rolle. Dies wird deutlich, wenn man die Anteile von Wertschöpfung, Bruttoanlageinvestitionen und Beschäftigung der Automobilindustrie an der Gesamtwirtschaft vergleicht (siehe Abb. 14). So betrug die reale Wertschöpfung der Automobilindustrie 2017 ca. 127 Mrd. Euro, was nahezu 5% der gesamten deutschen Wertschöpfung entspricht. Dieser Anteil ist im Vergleich mit anderen Wirtschaftszweigen beachtlich. Die Automobilindustrie erzeugt somit fast genauso viel Wertschöpfung wie das Gesundheitswesen (5,3%), welches der Wirtschaftszweig mit der größten Wertschöpfung ist.[29] Bemessen an den Bruttoanlageinvestitionen stellte die Automobilindustrie 2017 ca. 7% aller Bruttoanlageinvestitionen der deutschen Wirtschaft dar. Während der Anteil der Beschäftigten in der Branche seit 2011 nahezu konstant bei 3% ist, zeigen sich sowohl für die Anteile der Wertschöpfung als auch der Bruttoanlageinvestitionen steigende Tendenzen. So stieg die Bedeutung hinsichtlich der Wertschöpfung von 3,9% (2011) auf 4,7% (2017). Bei den Bruttoanlageinvestitionen stieg der Anteil von 5,2% (2011) auf 6,6% (2017).

Abb. 14: Anteile von sozialversicherungspflichtig Beschäftigten, Wertschöpfung und Bruttoanlageinvestitionen in der Automobilindustrie (WZ29) an der deutschen Gesamtwirtschaft, 2011 bis 2018



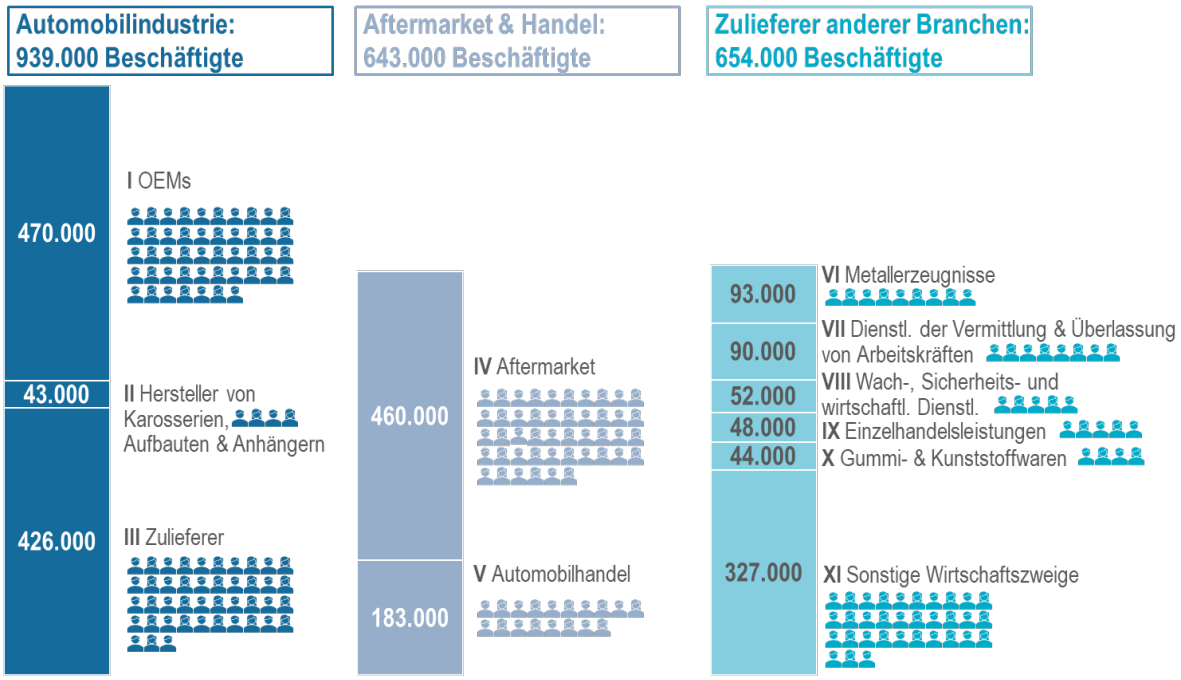
Quelle: IPE. Eigene Berechnungen basierend auf Daten der Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008)) und des Statistischen Bundesamtes (Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen des Bundes, Tabellen: 81000-0115 und 81000-0103). Wertschöpfung und Bruttoanlageinvestitionen für 2018 noch nicht verfügbar.

[27] 2018 wurden rund 32% der 16 Mio. Pkw Europas in Deutschland gefertigt. Quelle: OICA (2018).
[28] Insgesamt 105 der 210 Mrd. Euro an Wertschöpfung wurden 2016 in Deutschland generiert. Quelle: Eurostat (detaillierte jährliche Unternehmensstatistiken für die Industrie (NACE Rev. 2, B-E), Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen (C29)).
[29] Quelle: Statistisches Bundesamt (Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung des Bundes, Tabelle: 81000-0103).

2018 waren rund 7% aller sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in Deutschland in der Automobilwirtschaft angestellt

2018 waren mehr als 2,2 Mio. Beschäftigte in Deutschland in der Automobilwirtschaft tätig (siehe Abb. 15). Davon entfielen 2018 rund 940.000 Arbeitsplätze auf OEMs und Zulieferer der Automobilindustrie und mehr als 640.000 Arbeitsplätze auf den Automobilhandel und den Aftermarket. Dazu kommen geschätzt rund 650.000 Menschen, die bei weiteren Zuliefererbetrieben beschäftigt sind.[30] Diese werden zwar nicht zur Automobilindustrie gerechnet, sind aber dennoch eng mit ihr verbunden. Der größte Anteil ist mit rund 90.000 Erwerbstätigen[31] bei Betrieben der Metallindustrie zu finden. Allein die Automobilindustrie war damit der zehntgrößte Beschäftigungszweig. Zusammen mit dem Automobilhandel und dem Aftermarket stellte sie knapp 5% aller Arbeitsplätze in Deutschland.[32] Zählt man die geschätzten Beschäftigten in verflochtenen Branchen hinzu, sind es sogar fast 7%.

Abb. 15: Übersicht der Beschäftigung in der Automobilwirtschaft im Jahr 2018



Quelle: IPE. Eigene Berechnungen basierend auf Daten der Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008), Stichtag: 31.3.2018) für 2018 sowie des Statistischen Bundesamtes (Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Input-Output-Rechnung. Tabelle 2.3 Input-Output-Tabelle 2015 zu Herstellungspreisen – Inländische Produktion. Tabelle 3 Auswertungstabellen zu den Input-Output-Tabellen) für 2015. Bei den Werten der Zulieferer anderer Branchen für 2018 handelt es sich um Prognosen (siehe Teil III). Darstellung in Anlehnung an (E-mobil BW, 2019).

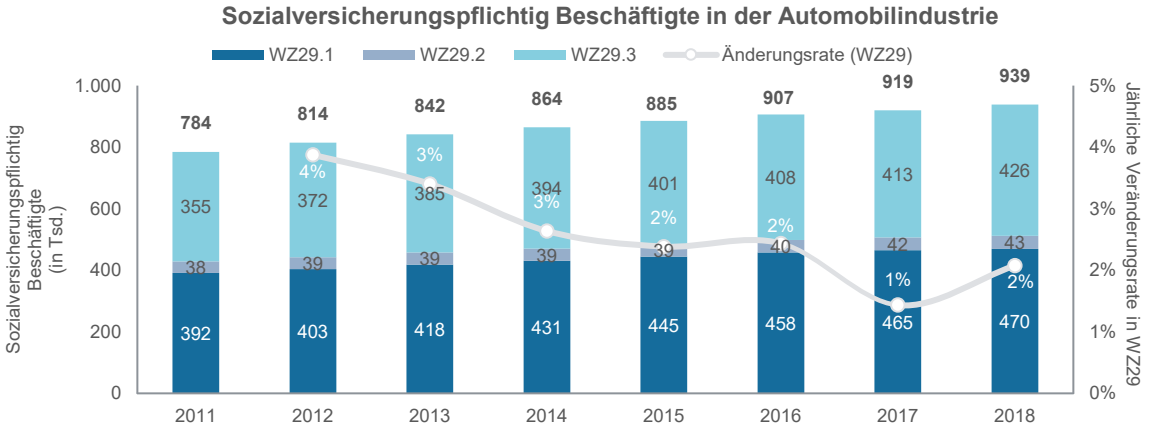
[30] 2018 stellt bereits eine Prognose der Beschäftigung dar, da die letzte Input-Output-Tabelle fürs Jahr 2015 verfügbar ist.

[31] Bei den Zulieferern anderer Branchen handelt es sich aufgrund der Datengrundlage nicht um sozialversicherungspflichtig Beschäftigte, sondern um Erwerbstätige. Weitere Ausführungen zur Berechnung erfolgen in Abschnitt III.4.4.

[32] Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten der Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008)).

Etwa die Hälfte der rund 940.000 Beschäftigten in der Automobilindustrie entfiel auf OEMs (WZ29.1). Weitere 5% der Beschäftigten waren bei Herstellern von Karosserien, Aufbauten und Anhängern (WZ29.2) und 45% bei Zulieferern (WZ29.3) angestellt. Die Anzahl der Beschäftigten in der Automobilindustrie wächst seit 2011 ununterbrochen (siehe Abb. 16). Seit 2015 jedoch mit niedrigeren Wachstumsraten.

Abb. 16: Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte in der Automobilindustrie (WZ29), 2011 bis 2018



Quelle: IPE. Eigene Berechnungen basierend auf Daten der Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008)). Anmerkung: Die WZ29 (Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen) setzt sich aus WZ29.1 (Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenmotoren), WZ29.2 (Herstellung von Karosserien, Aufbauten und Anhängern) und WZ29.3 (Herstellung von Teilen und Zubehör für Kraftwagen) zusammen. Die angegebenen Änderungsraten für ein Jahr sind jeweils die Veränderungsraten der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten zum Vorjahr. Stichtag: 31.3. des jeweiligen Jahres.

Innerhalb Deutschlands variiert die Beschäftigung in der Produktion von Pkw stark zwischen den Bundesländern

Regional unterscheidet sich die Bedeutung der Automobilindustrie stark. So stellt die Automobilindustrie beispielsweise im Saarland, in Bremen, in Baden-Württemberg, in Niedersachsen und in Bayern einen signifikant über dem Bundesdurchschnitt von 3% liegenden Anteil der Arbeitsplätze. In diesen Bundesländern war 2018 fast jeder zwanzigste Beschäftigte bei einem OEM oder einem Zulieferer angestellt (siehe Abb. 13). Auch in Bundesländern mit einem geringeren Anteil gibt es zum Teil lokal konzentrierte Automobilzentren (z.B. in Hessen), so dass auch hier die Auswirkungen des Strukturwandels einzelne Regionen besonders treffen können. Mit Ausnahme von Bremen ist die Automobilindustrie weniger beschäftigungsrelevant für Bundesländer im Norden bzw. Nordosten Deutschlands. Bemerkenswert ist auch, dass rund drei Viertel der Beschäftigten in der Automobilindustrie in Unternehmen mit mehr als 1.000 Mitarbeitern arbeiten.[33] In Unternehmen mit weniger als 250 Mitarbeitern (KMU) arbeiteten 2017 nur etwa 9% der Beschäftigten und das primär bei Zulieferern.[34] Zudem fiel die Anzahl der KMU zwischen

[33] Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten des Statistischen Bundesamtes (Jahresbericht für Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe, Tabelle: 42271-0005). Eine tiefergehende regionale Analyse der deutschen Automobilindustrie erfolgt in Abschnitt III.4.1.

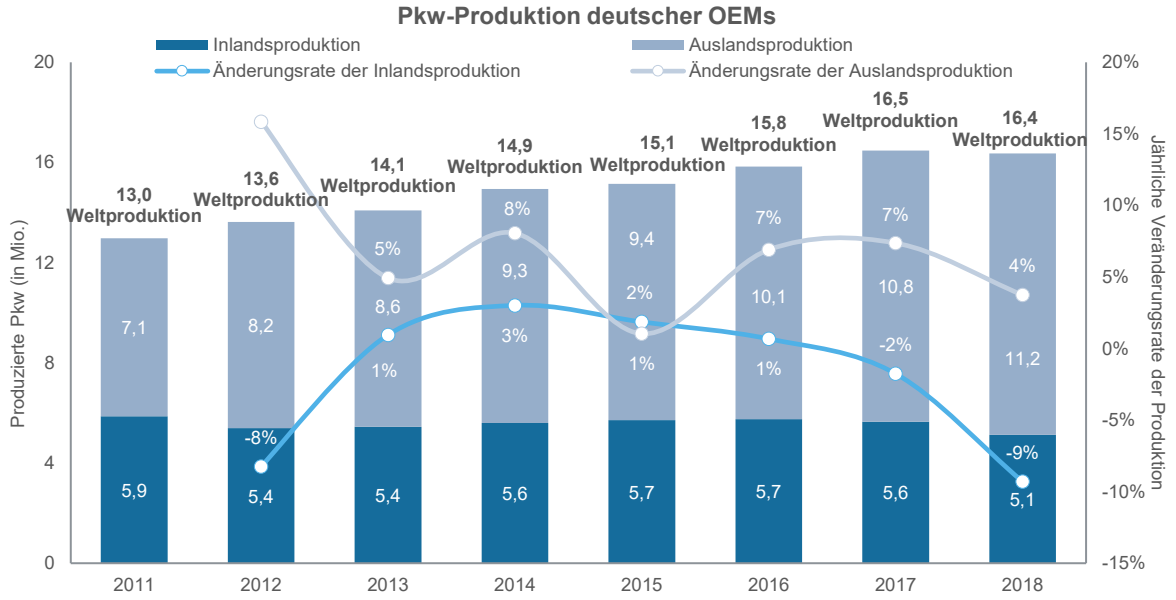
[34] Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im Folgenden für Betriebe mit weniger als 250 Beschäftigten die Bezeichnung „KMU“ verwendet. Zu beachten ist dabei die Abweichung zur EU-Empfehlung: Entsprechend der EU-Empfehlung 2003/361/EU sind KMU durch weniger als 250 Beschäftigte und einen Jahresumsatz von max. 50 Mio. Euro definiert (Quelle: https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/UnternehmenHandwerk/KleineMittlereUnternehmenMittelstand/KMUBegriffserlaeuterung.html). In unserem Fall liegen keine Informationen zur Umsatzgrenze vor. Der durchschnittliche Umsatz pro Betrieb dieser Größenordnung liegt in allen Jahren aber nur knapp über 20 Mio. Euro.

2011 und 2017. Um diesen Besonderheiten gerecht zu werden, adressieren die Handlungsempfehlungen in Kapitel V.6 Regionalpolitik sowie den Arbeitsmarkt im Allgemeinen.

Während die Inlandsproduktion von Pkw in den letzten Jahren stagnierte, hat die Auslandsproduktion deutscher OEMs zugenommen

Die weltweite Produktion deutscher OEMs hat sich in den letzten Jahren parallel zur gesamten weltweiten Pkw-Produktion entwickelt. Diese ist zwischen 2011 und 2017 stetig gewachsen und 2018 leicht zurückgegangen (OICA, 2011-2018). 2018 wurden weltweit knapp 71 Mio. Pkw produziert. Die Produktion deutscher OEMs ist in Abb. 17 dargestellt. Zwar ist die Anzahl der in Deutschland produzierten Pkw von 2011 bis 2018 von rund 5,9 Mio. auf 5,1 Mio. Pkw gesunken, die Auslandsproduktion wuchs jedoch im selben Zeitraum von 7,1 Mio. auf 11,2 Mio. Pkw.[35] Die steigende Produktion im Ausland zeigt den Trend, dass die Produktion zunehmend der Nachfrage folgt und in den Märkten vor Ort für die lokale Nachfrage produziert wird. Bei der Inlandsproduktion ist seit 2011 ein Rückgang von 5,9 Mio. auf 5,1 Mio. Pkw zu verzeichnen. Der Exportanteil an den im Inland produzierten Pkw ist dabei jedoch relativ konstant geblieben und lag pro Jahr bei etwa 77%. 2018 sind die absoluten Exporte jedoch um rund 9% im Vergleich zu 2017 zurückgegangen.[36] Der Großteil dieser Exporte wird ins europäische Ausland geliefert. Die Zahlen zeigen, dass deutsche OEMs bereits heute global gut vernetzt sind und ihre Wertschöpfungskette international etabliert haben.

Abb. 17: Produktion deutscher OEMs im In- und Ausland, 2011 bis 2018



Quelle: IPE. Eigene Berechnungen basierend auf Zusatzauswertungen der Abteilung Märkte, Analysen, Rohstoffe, Statistik des VDA für dieses Forschungsvorhaben. Anmerkung: Berücksichtigt wurden die Marken Audi, BMW, Mercedes-Benz, Ford, Opel, Porsche und VW. Anmerkungen: Die angegebenen Änderungsraten für ein Jahr sind jeweils die Veränderungsraten der Produktion zum Vorjahr.

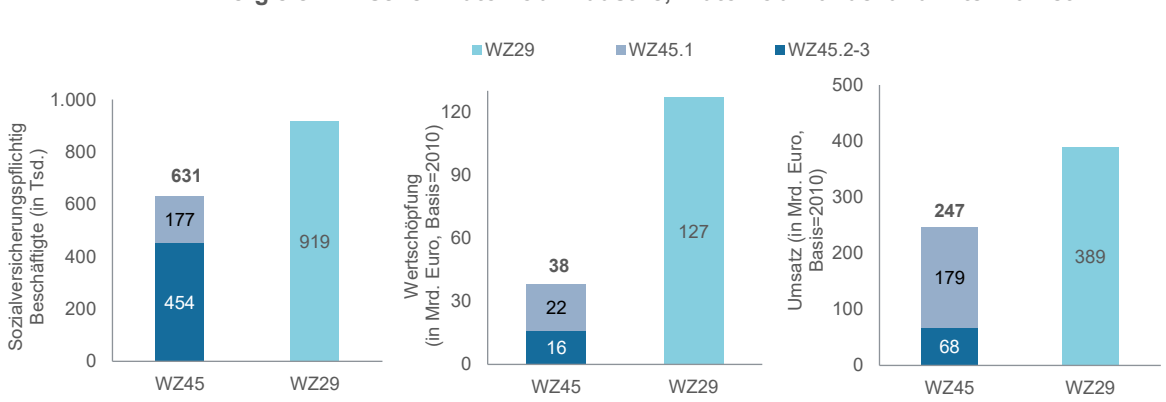
[35] Der starke Rückgang der Inlandsproduktion zwischen 2017 und 2018 ist unter anderem auf die Umstellung auf das neue Abgas-Testverfahren WLTP im September 2018 zurückzuführen. Siehe dazu https://www.zeit.de/wirtschaft/unternehmen/2019-04/statistisches-bundesamt-automobilindustrie-produktion-rueckgang.

[36] Siehe https://www.vda.de/de/services/zahlen-und-daten/jahreszahlen/export.html.

Im Gegensatz zur Industrie ist im Automobilhandel und im Aftermarket ein Trend hin zu kleineren Betrieben zu erkennen

Nicht nur die Automobilindustrie selbst trägt durch die Produktion zur automobilen Wertschöpfung bei, sondern auch der Automobilhandel (WZ.45.1) und der Aftermarket (WZ45.2-3)). Dort ist zwischen 2011 und 2017 neben dem Umsatz und der Zahl der Beschäftigten auch die Anzahl der Betriebe gestiegen.[37] Die Anzahl der Betriebe nahm seit 2011 um knapp 12% von etwa 96.000 auf 107.000 zu. Betrachtet man die Betriebsstruktur, so erkennt man anders als bei der Automobilindustrie einen Trend hin zu kleineren Betrieben (Betriebe mit weniger als 20 Beschäftigten). Während die Zahl der kleineren Betriebe um 14% stieg, fiel die der Betriebe mit mindestens 20 Beschäftigten um 11%. Nichtsdestotrotz stieg die Anzahl der Beschäftigten seit 2011 sowohl in kleineren als auch in größeren Betrieben an. Eine Übersicht über Beschäftigung, Wertschöpfung und Umsatz des Automobilhandels und des Aftermarkets im Vergleich zur Automobilindustrie findet sich in Abb. 18.

Abb. 18: Beschäftigung, Wertschöpfung und Umsatz in der Automobilindustrie, im Automobilhandel und Aftermarket, 2017



Quelle: IPE. Eigene Berechnungen basierend auf Daten der Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008), Stichtag: 31.3.2017) und des Statistischen Bundesamtes (Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung des Bundes, Tabelle: 81000-0103, Jahresbericht für Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe, Tabelle: 42271-0002, Jahresstatistik im Handel, Tabelle: 45341-0001). Basisjahr für die Inflationsbereinigung ist 2010.

Insbesondere im Aftermarket ist ein Rückgang der Anzahl der Betriebe mit mindestens 20 Beschäftigten zu beobachten. Vor allem die Anzahl der größeren Betriebe im Handel mit Kraftwagenteilen und -zubehör ist seit 2011 zurückgegangen. Der Rückgang betrug dort 27% (von etwa 1.000 auf ca. 700), während die Anzahl der Betriebe, deren Haupttätigkeit in der Instandhaltung und Reparatur von Kraftwagen liegt, um 5% anstieg.

Darüber hinaus sind vor allem Werkstätten durch eine weitere Konsolidierungswelle gefährdet, da insbesondere die Reparaturarbeiten je Fahrzeug rückläufig sind. Während es 2010 jährlich noch 0,7 Reparaturarbeiten pro Pkw gab, lag der Wert 2018 nur noch bei 0,5. Das sind 29% weniger als 2010 (DAT, 2019). Die Wartungsarbeiten pro Fahrzeug sind hingegen bei 0,9 Wartungsarbeiten pro Pkw konstant geblieben (DAT, 2019).

[37] Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten des Statistischen Bundesamtes (Jahresstatistik im Handel, Tabelle: 45341-0001, Tabelle: 45341-0002).

Pkw sowie Teile für Kraftfahrzeuge sind das Exportgut mit der höchsten Bedeutung für Deutschland

Auch wenn die Anzahl der exportierten Pkw seit 2011 relativ konstant geblieben ist, stiegen die Exportvolumen der deutschen OEMs und Zulieferer durchschnittlich um 2% pro Jahr.[38] 2018 sind die absoluten Exporte jedoch um rund 2% im Vergleich zu 2017 zurückgegangen. Der Export von Kraftwagen und Kraftwagenteilen belief sich 2018 real auf 218 Mrd. Euro, was einem Anteil von 15% an den gesamten deutschen Exporten entspricht. Die Automobilindustrie stellt somit das wichtigste Exportgut der deutschen Gesamtwirtschaft her, noch vor Maschinen (13%) und chemischen Erzeugnissen (8%). Weitgehend parallel zu den Exporten haben sich die Importe entwickelt. Diese wuchsen seit 2011 real um durchschnittlich knapp 5% pro Jahr.[39]

Aufgrund der hohen Exporte erzielt die deutsche Automobilindustrie ebenfalls einen hohen Anteil des Umsatzes im Ausland. 2018 waren es 65%.[40] Im gesamten Verarbeitenden Gewerbe ist der Anteil deutlich geringer, 2018 lag er bei 48%. Der Anteil ist für die Unternehmen der deutschen Automobilindustrie seit 2011 weitgehend konstant geblieben. Bei den OEMs (WZ29.1) lag der Anteil des Auslandsumsatzes 2018 durchschnittlich bei 71%, während er sich für Zulieferer (WZ29.3) auf nur 41% belief. Betrachtet man jedoch nur große Zulieferer liegt auch hier der Auslandsanteil deutlich über dem der gesamten Zulieferbranche.[41] Demnach sind es vor allem kleine Zulieferer, die den Großteil ihrer Produkte im Inland verkaufen. Insgesamt ist eine Zunahme des Auslandsanteils der Zulieferer zu erkennen. Ebenso lässt sich erkennen, dass die Exporte deutscher Zulieferer seit 2011 jedes Jahr gewachsen sind (siehe Abb. 19). Zwischen 2017 und 2018 jedoch lediglich mit knapp 1%. Im Schnitt betrug das jährliche Wachstum zwischen 2011 und 2018 4% pro Jahr und war damit etwas geringer als das Wachstum der Importe von Teilen und Zubehör (5% pro Jahr).

Zunehmende Auslandsverflechtungen erhöhen gleichzeitig aber auch den Druck auf deutsche Zulieferer. In der Vergangenheit lässt sich erkennen, dass Local-Content Anforderungen im Ausland immer weiter zunehmen. Dies liegt zum einen an den Vorgaben der OEMs, zum anderen aber auch an gesetzlichen Vorgaben. Beispielsweise schreibt das USMCA-Abkommen zwischen den USA, Kanada und Mexiko aus dem Jahr 2018 vor, dass der regionale Wertschöpfungsanteil eines produzierten Pkw schrittweise auf 75% erhöht werden muss, damit Fahrzeuge zollfrei zwischen den drei Ländern gehandelt werden können (United States International Trade Commission, 2019).[42]

---

[38] Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten des Statistisches Bundesamt (VGR des Bundes, Tabelle: 81000-0122).

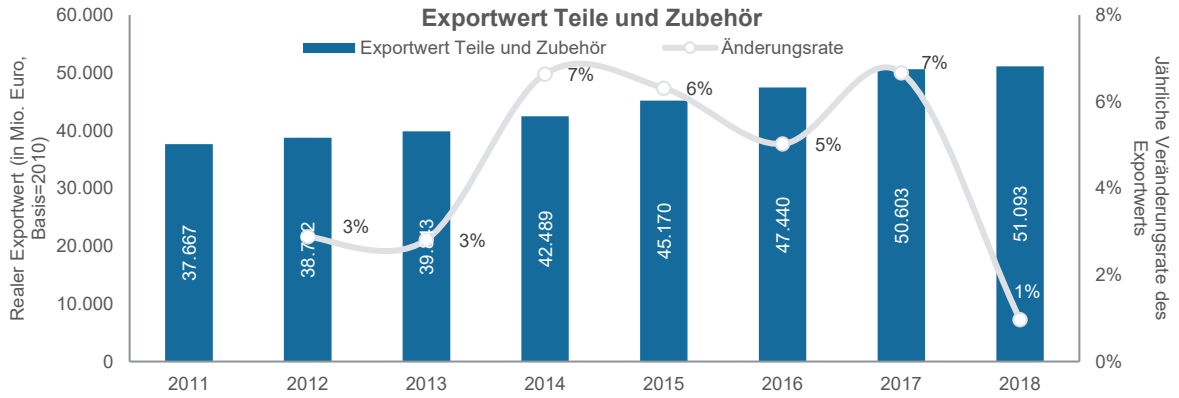
[39] Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten des Statistisches Bundesamt (VGR des Bundes, Tabelle: 81000-0123).

[40] Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten des Statistischen Bundesamtes (Jahresbericht für Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe, Tabelle: 42271-0002).

[41] Betrachtet wurden Robert Bosch GmbH, Continental AG, Schaeffler AG, ZF Friedrichshafen AG und Mahle GmbH. Quelle: Geschäftsberichte.

[42] Der regionale Wertschöpfungsanteil liegt bei 75% für Kernkomponenten (z.B. Motor oder Getriebe), bei 70% für „principal parts“ und bei 65% bei ergänzenden Komponenten. Weiterhin müssen 70% des verbauten Stahls und Aluminiums aus den USA, Mexiko oder Kanada stammen. Eine ausführliche Betrachtung der Auswirkungen von Local-Content Anforderungen erfolgt in Teil III.

Abb. 19: Realer Exportwert deutscher Zulieferer für Teile und Zubehör, 2011 bis 2018



Quelle: IPE. Eigene Berechnungen basierend auf Daten des Statistischen Bundesamtes (Außenhandelsstatistik, Tabelle 51000-0010). Basisjahr für die Inflationsbereinigung ist 2010. Die angegebenen Änderungsraten für ein Jahr sind jeweils die Veränderungsraten der realen Exportwerte zum Vorjahr.

In welchem Zusammenhang eine hohe Auslandsverflechtung zur konjunkturellen Entwicklung stehen kann, lässt sich an Daten zum ersten Halbjahr 2019 ablesen. Das BIP-Wachstum war im ersten Halbjahr des Jahres 2019 in Deutschland und den meisten OECD-Staaten im Vergleich zum Vorjahr relativ gering.[43] Dies könnte mit dem zögerlichen Wachstum der deutschen Exporte im ersten Halbjahr in Zusammenhang stehen.[44] Das Zurückbleiben der deutschen Exporte kann wiederum im Zusammenhang mit den sich nur zögerlich entwickelnden Exporten von Pkw im gleichen Zeitraum in Verbindung stehen.[45]

Im internationalen Vergleich der Automobilindustrie weisen deutsche OEMs und Zulieferer hohe F&E-Quoten auf, jedoch besitzen neue Akteure und insbesondere große Softwareunternehmen oft deutlich höhere Forschungsbudgets

Die Rolle der Automobilindustrie für den Forschungs- und Entwicklungsstandort (F&E) Deutschland wird durch einen Blick auf die Patentanmeldungen deutscher Unternehmen deutlich. Unter den 30 deutschen Unternehmen mit den meisten Anmeldungen 2018 waren drei OEMs, ein Nutzfahrzeughersteller sowie sieben Zulieferer. Die mit Abstand meisten Patente aus der Automobilbranche mit fast 1.300 Stück reichte Bosch ein.[46] Weitere Unternehmen mit einer Vielzahl an Patentanmeldungen stammen aus den Bereichen Pharma, Chemie, Anlagenbau oder Haushaltsgeräte.

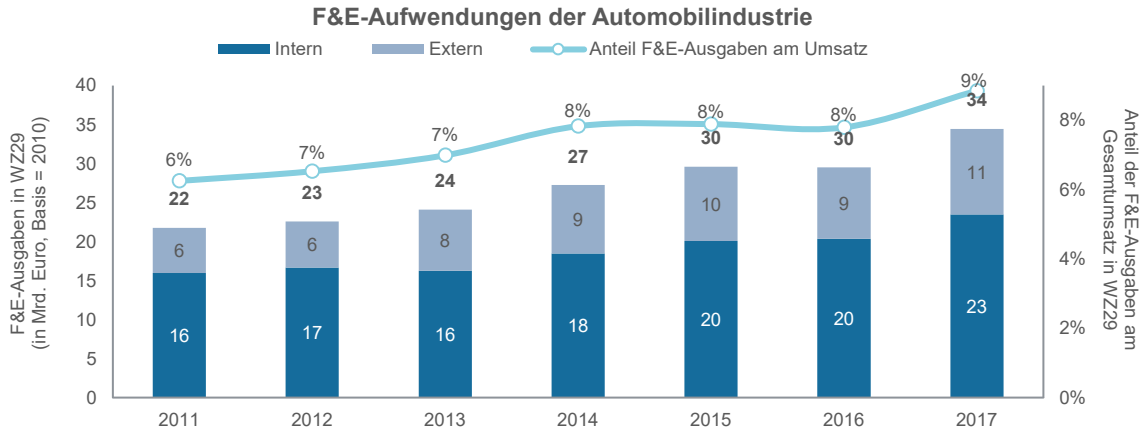
Vergleicht man die Patentanmeldungen in Europa, wird die starke Stellung deutscher Unternehmen ebenfalls ersichtlich. Unter den 100 Unternehmen mit den meisten Patentanmeldungen finden sich neben vier deutschen OEMs auch sechs deutsche Automobilzulieferer.[47]

Die F&E-Ausgaben sind zwischen 2011 und 2017 von real 22 Mrd. auf 34 Mrd. Euro jährlich gestiegen (siehe Abb. 20). Damit wurden mehr als ein Drittel der F&E-Investitionen in Deutschland 2017 in der Automobilindustrie getätigt. Im Vergleich zum Umsatz zeigt sich

43 Quelle: OECD (Quarterly Growth Rates of real GDP)
44 Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten des Statistischen Bundesamtes (Aus- und Einfuhr (Außenhandel), Tabelle 51000-0002).
45 Quelle: VDA. Siehe https://www.vda.de/de/services/zahlen-und-daten.html.
46 Siehe https://www.epo.org/about-us/annual-reports-statistics/statistics_de.html.
47 Siehe https://www.epo.org/about-us/annual-reports-statistics/statistics_de.html.

ebenfalls eine positive Entwicklung der F&E-Ausgaben. So stieg der Anteil der F&E-Aufwendungen am Umsatz im selben Zeitraum von etwa 6% auf knapp 9% an. Entsprechend hoch ist die Qualifikation der Beschäftigten. 2017 waren in keiner anderen Branche so viele hochqualifizierte Beschäftigte im Innovationsbereich tätig. Mehr als jeder vierte F&E-Beschäftigte (29% oder ca. 126.000 Mitarbeiter) in der deutschen Wirtschaft arbeitete in der Automobilindustrie (Stifterverband, 2017). Der Anteil schwankt seit 2011 kaum.

Abb. 20: Reale F&E-Ausgaben und deren Anteil am Gesamtumsatz in der Automobilindustrie, 2011 bis 2017



Quelle: IPE. Eigene Berechnungen basierend auf Daten der Wissenschaftsstatistik des Stifterverbandes. Anmerkung: Interne Ausgaben beziehen sich auf Ausgaben innerhalb eines bestimmten Sektors einer Volkswirtschaft oder innerhalb eines Unternehmens. Unter externen F&E-Ausgaben werden Ausgaben für F&E-Leistungen verstanden, die außerhalb eines Unternehmens für dieses erbracht werden. Zur Berechnung des Anteils am Gesamtumsatz wurden die Angaben des Statistisches Bundesamtes (Jahresbericht für Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe, Tabelle: 42271-0002) verwendet.

Auch wenn die F&E-Quote der größeren deutschen Automobilzulieferer[48] – gemessen als Anteil der F&E-Ausgaben am Umsatz – höher als die von ausländischen Zulieferern ist, beträgt sie nur zwei Drittel der Quote der großen Softwareunternehmen wie Microsoft oder Alphabet (PwC Strategy&, 2018). Das ist ein Risiko für die Zulieferer und OEMs, da beispielsweise Alphabet mit seiner Tochterfirma Waymo und Apple zukünftig Konkurrenten der etablierten Unternehmen darstellen werden. Die F&E-Quote der größten OEMs[49] weltweit ist sogar noch einmal deutlich geringer (PwC Strategy&, 2018). Der Vorteil der großen amerikanischen Software- und Technikkonzerne gegenüber den deutschen Unternehmen liegt neben den bereits etablierten Strukturen und Kompetenzen in ihren hohen Werten am Kapitalmarkt. Denn aufgrund dieser können sie hohe Summen in die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle investieren, ohne dass sie sofort profitabel sein müssen (McKinsey&Company, 2019). Auch chinesische Unternehmen der Automobilindustrie sind gegenüber den deutschen Firmen im Vorteil. Aufgrund der klaren Positionierung der chinesischen Regierung scheint das Risiko bei der Entwicklung neuer Trends wie etwa von Elektromobilität geringer zu sein als für die deutschen OEMs.

[48] Betrachtet wurden Bosch, Denso, Hella und Valeo.
[49] Betrachtet wurden Volkswagen, Toyota, Daimler, GM, Ford, FCA, Honda, BMW Group, Nissan, Hyundai, SAIC Motors.

1.2 Perspektiven

„Das Wichtigste in Kürze“: Perspektiven der Automobilwirtschaft in Deutschland

Die Verbindung aus Elektrifizierung, Digitalisierung sowie vernetztem und automatisiertem Fahren eröffnet die Möglichkeit neuer Mobilitätsangebote sowie neuer Wertschöpfungskanäle. Neben bereits etablierten Unternehmen können auch Start-ups und branchenfremde Unternehmen davon profitieren. Dazu bedarf es jedoch des Aufbaus komplett neuer Kompetenzen, z.B. in der Batterietechnik oder der Künstlichen Intelligenz, sowie hoher Investitionsbudgets für alle etablierten Unternehmen der Automobilindustrie. Der Aufbau neuer Kompetenzen ist speziell für KMU eine große Herausforderung.

Entgegen der allgemeinen positiven Entwicklung von Nachhaltigkeit und Umweltbewusstsein hat die Bedeutung der Umweltverträglichkeit bei Pkw für den Verbraucher abgenommen. Das ist auch daran zu erkennen, dass vermehrt SUVs am Markt nachgefragt werden, die bereits aufgrund ihrer Form einen höheren Energieverbrauch aufweisen. 2017 ging unter anderem deshalb der Verkauf der effizientesten Pkw-Klassen zurück. Dieser Trend erschwert es den OEMs, die CO_2-Flottengrenzwerte zu erreichen.

Zukünftig ist mit einem Anstieg der lokalen Beschaffungsquote der OEMs zu rechnen. Für KMU wird es schwierig sein, die Kosten für globale Netzwerke zu decken und die passenden Managementstrukturen aufzubauen.

Die Chancen, die sich aus der neuen Mobilität ergeben, sollten nicht vernachlässigt werden

OEMs, Zulieferer, Firmen des Aftermarkets sowie Start-ups – der Strukturwandel der Automobilindustrie wird sich auf alle Akteure der Automobilindustrie auswirken. Die Bündelung von Elektrifizierung, Digitalisierung und automatisiertem Fahren eröffnet die Möglichkeit komplett neuer Mobilitätsangebote und bietet eine Vielzahl an neuen Wertschöpfungsmöglichkeiten (Roland Berger und IG Metall Saarbrücken, 2017c). Davon können neben den bereits etablierten Unternehmen auch Start-ups und branchenfremde Unternehmen profitieren.

Der Strukturwandel erfordert den Aufbau komplett neuer Kompetenzen sowie hoher Investitionssummen

Die Übergangsphase von alten zu neuen Technologien stellt den kompletten Sektor vor neue Herausforderungen. Beispielsweise sind in den Bereichen des vernetzten und automatisierten Fahrens sowie neuer Mobilitätskonzepte komplett neue Kompetenzen aufzubauen. Kenntnisse der Elektro- und Batterietechnik sowie der Künstlichen Intelligenz gewinnen sowohl für Entwicklung und Produktion als auch für Wartung und Reparatur an Stellenwert. Entsprechend müssen diese Kompetenzen in der Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter geschult werden. Speziell die Fähigkeit, große Datenmengen zu analysieren wird bei der Transformation entscheidend sein (Oliver Wyman, 2017). Die Entwicklung neuer Technologien und die Erschließung von Zukunftsfeldern ist kostenintensiv. Für etablierte OEMs und Zulieferer gilt es nicht nur in die neue Mobilität zu investieren, sondern auch in konventionelle Technologien (Commerzbank, 2017; Roland Berger und Lazard, 2017). Die

notwendigen hohen Investitionsvolumen bringen oft sogar die F&E-Budgets der großen OEMs und Zulieferer an ihre Grenzen (Oliver Wyman, 2017). Für spezialisierte KMU der Zulieferbranche ist die finanzielle Belastung noch größer (ifo Institut, 2017). Entsprechende Handlungsempfehlungen werden in Teil V adressiert.

Die Rahmenbedingungen für Unternehmensgründungen in Deutschland sind im internationalen Vergleich eher mangelhaft

Es sind oft kleine junge Unternehmen, die als Innovationsschmieden durch neue Konzepte und Technologien Aufsehen erregen. Sie können den Strukturwandel beschleunigen. Für Deutschland zeigt sich im internationalen Vergleich der Bedingungen zur Unternehmensgründung jedoch ein gemischtes Bild. So landen deutsche Städte wie Berlin und München zwar unter den 30 Städten mit den besten Start-up-Ökosystemen (Start-up Genom, 2019). Und auch beim National Entrepreneurship Context Index, einem Vergleich der institutionellen Rahmenbedingungen sowie des Umfeldes für Gründungsaktivitäten zwischen Ländern mit hohem Einkommen, belegt Deutschland den 15. von 31 Plätzen (RKW Kompetenzzentrum, 2019). Dennoch sind die Gründungsaktivitäten in Deutschland vergleichsweise gering. Im Vergleich der Gründerquoten zwischen 31 Ländern mit hohem Einkommen belegt Deutschland nur den drittletzten Platz. Dementsprechend belegt Deutschland im Doing Business Index der Weltbank beim Indikator Unternehmensgründung nur den 114. von 190 Plätzen (Weltbank, 2019). Inwiefern die Bedingungen verbessert werden können zeigt unter anderem der Deutsche Start-up Monitor. Bei der jährlichen Befragung deutscher Gründer wurden 2018 bei den Erwartungen an die Bundesregierung am häufigsten der Abbau regulatorischer und bürokratischer Hürden sowie die Unterstützung bei der Kapitalbeschaffung genannt (KPMG AG, 2018). Die meistgenannten Maßnahmen zum Abbau der Bürokratie sind etwa die Bürokratiebelastung im ersten Jahr auf ein Mindestmaß zu reduzieren, eine Vereinfachung der Buchhaltung sowie die Einrichtung von One-Stop-Shops, die als zentrale Anlaufstelle für Antrags-, Genehmigungs- und Besteuerungsverfahren fungieren. Entsprechende Handlungsempfehlungen werden in Kapitel V.6 adressiert.

Widersprüchlich zum Umweltbewusstsein vieler Verbraucher geht die Bedeutung von Umweltverträglichkeit von Pkw zurück und erschwert es den OEMs die CO_2-Flottengrenzwerte zu erreichen

Die erfolgreiche Umsetzung neuer Geschäftsmodelle hängt von einer Vielzahl an Faktoren ab, welche die Automobilindustrie nur indirekt beeinflussen kann. Dazu zählen im Besonderen die gesetzlichen Rahmenbedingungen sowie die Kundenakzeptanz der neuen Geschäftsmodelle. Bei der Einführung neuer Technologien wie der Elektromobilität kommt es vor allem auf die Kundenakzeptanz an. Zwar gehört ein gesteigertes Umweltbewusstsein zu den Megatrends, jedoch lässt sich in diesem Zusammenhang ein teilweise widersprüchliches Verhalten der Konsumenten erkennen. Laut einer Umfrage des IfD Allensbach hat die Bedeutung von Nachhaltigkeit zwischen 2012 und 2018 in Deutschland zwar bei Lebensmitteln, Kleidung oder Kosmetika zugenommen (IfD Allensbach, 2018). Bei der Relevanz der Umweltverträglichkeit von Pkw gingen die Werte gegenüber 2012 jedoch zurück. Dieser Trend wird von den aktuellen Entwicklungen am Markt bestätigt. Es herrscht derzeit eine erhöhte Nachfrage nach Fahrzeugsegmenten, wie z.B. Sport Utility Vehicles (SUVs), die aufgrund ihrer Form bereits einen höheren Verbrauch haben. Entsprechend stiegen auch die durchschnittlichen CO_2-Emissionen neuzugelassener Fahrzeuge 2017 zum ersten Mal gegenüber dem Vorjahr an (Dena, 2018b). Verdeutlicht wird der Anstieg dadurch, dass die Verkaufszahlen der beiden effizientesten Pkw-Klassen A+ und A rückläufig waren, während die ineffizienteren Klassen

B bis E häufiger verkauft wurden als noch im Jahr zuvor (Kraftfahrt-Bundesamt, 2018b). Gleichzeitig kam es auch zu einem Rückgang der Anmeldungen von Dieselfahrzeugen und zu einem Anstieg von Benzinern. Da Dieselfahrzeuge für gewöhnlich effizienter sind und daher weniger CO_2 ausstoßen, ist ein Teil des Anstiegs der Emissionen auch auf den Rückgang im Verkauf von Dieselfahrzeugen zurückzuführen. Diese Entwicklungen erschweren es den OEMs zusätzlich, die CO_2-Flottengrenzwerte zu erreichen.

Local-Content Anforderungen werden insbesondere für kleinere Zulieferer schwierig zu erfüllen sein

Der starke Fokus auf den chinesischen Markt stellt für deutsche OEMs ein weiteres Risiko dar. Deutsche OEMs setzen hohe Anteile ihrer weltweit verkauften Fahrzeuge in China ab. Während Audi, Porsche, BMW und Daimler 2017 dort rund 30% ihrer Fahrzeuge absetzten, betrug der Anteil für VW sogar 52%.[50] Unabhängig von den neuen Anforderungen durch Trends wie Elektromobilität und neue Mobilitätskonzepte geraten Zulieferer bereits jetzt aufgrund der Modularisierungsstrategie der Hersteller unter Druck. Zulieferer, die Teile und Komponenten für Baukastensysteme liefern, können einerseits hohe Absatzmengen realisieren, müssen andererseits aber auch in der Lage sein, weltweit just in time und zu wettbewerbsfähigen Konditionen zu liefern. Entsprechend der Local-Content Anforderungen wird es mittelfristig zu einem Anstieg der lokalen Beschaffungsquoten von rund 50% auf 80 bis 90% kommen (Commerzbank, 2016). Insbesondere für KMU wird es schwierig sein, die hohen Kosten für globale Werke aufzubringen und die entsprechenden Managementstrukturen zu errichten.

Im Automobilhandel und im Aftermarket sorgt die Digitalisierung neben neuen Umsatzpotenzialen auch für neue Herausforderungen und hohen Investitionsbedarf

Das klassische Autohaus im Komplettbetrieb-Konzept mit den vier Geschäftsfeldern Neuwagen, Gebrauchtwagen, Werkstatt sowie Teile- und Zubehörhandel steht vor großen Herausforderungen. Zum einen ermöglicht es die Digitalisierung für neue Wettbewerber, Umsatzpotenziale durch den Verkauf von Pkw zu erschließen. So sind die klassischen Autohändler schon lange nicht mehr der erste Ansprechpartner für Privatkunden sowohl beim Neuwagen- als auch Gebrauchtwagenkauf. Digitale Anbieter haben sich fest an die Schnittstelle zum Autokunden gekoppelt, sei es über Gebrauchtwagenbörsen oder Anlaufstellen für Informationen beim Neuwagenkauf (IFA, 2017). Laut einer Studie des IFA komme im Gebrauchtwagengeschäft niemand mehr an den Online-Plattformen vorbei: Wer seine Fahrzeuge nicht in einer der großen Börsen einstellt, fände im Markt nicht mehr statt. 71% aller Gebrauchtwagenkäufer verschaffen sich zuerst einen Überblick über das Angebot auf den gängigen Onlineplattformen. 2018 wurden 6% aller ehemals neu und 21% aller ehemals gebrauchten Pkw bereits online verkauft (DAT, 2019). 2025 könnten sogar 20% aller Verkäufe an Privatkunden online erfolgen (IFA, 2017). Zum anderen werden zukünftig vermutlich vermehrt Neuwagen über das Internet von den OEMs direkt verkauft werden, was das bisherige Geschäftsmodell der Autohäuser gefährden würde.[51] Um mit diesen

[50] Quelle: IHS Markit. Für China wird jedoch eine deutliche Abflachung des Absatzwachstums erwartet. Während das Wachstum zwischen 2011 und 2017 noch 10% pro Jahr betrug, ist der Markt von 2017 auf 2018 sogar um 6% geschrumpft, wie der Branchenverband PCA (China Passenger Car Association) mitteilte. Auch für 2019 geht die PCA von einem weiteren Rückgang der Verkaufszahlen aus.

[51] Siehe http://www.manager-magazin.de/unternehmen/autoindustrie/autohandel-vw-will-autohaendler-zu-digitalisierungs-partnern-ummodeln-a-1233744.html

Entwicklungen mitzuhalten bedarf es hohen Investitionen wie etwa in die Digitalisierung auf Seiten der Autohäuser.

Auch werden vermehrt Werkstattportale und andere Intermediäre (z.B. Versicherungen) an die Kundenschnittstelle vordringen und die Steuerung des Werkstattgeschäfts übernehmen (Roland Berger und Lazard, 2017). Dies verstärkt den ohnehin schon hohen Wettbewerbsdruck in einem rückläufigen Markt von Wartungs- und Reparaturarbeiten. E-Commerce-Anbieter profitieren davon, dass der Aftermarket derzeit noch aus mehreren Vertriebsstufen besteht und daher wenig transparent ist. Ihr Vorteil im B2C (Business-to-Consumer)- als auch B2B (Business-to-Business)-Segment sind die Preistransparenz sowie ein niedrigerer Preis, der durch das „Überspringen“ einzelner Zwischenhändler ermöglicht wird (Roland Berger und HSH Nordbank AG, 2018). Die neuen Kundenanforderungen verlangen eine Neuausrichtung der Organisationsstruktur sowie der Mitarbeiterqualifikationen der Autohäuser (IFA, 2017). Hier entsteht, so wie bei den Zulieferern, speziell bei kleinen Autohäusern das Risiko, diese Neuausrichtung nicht profitabel zu bewerkstelligen. Entsprechende Maßnahmen zur Förderung von KMU sowie bezüglich der Mitarbeiterqualifikationen erfolgen in Kapitel V.6.

1.3 Exkurs: Zuliefererbefragung

Um die aktuelle Situation sowie die Perspektiven der Zulieferer besser analysieren zu können, wurden Interviews mit verschiedenen deutschen Automobilzulieferern geführt. Anschließend wurde jeweils eine individuelle Stärken-Schwächen-Chancen-Risiken (SWOT)-Analyse des befragten Zuliefererunternehmens angefertigt. Ein Beispiel für eine Befragung zur Erfassung der allgemeinen Situation findet sich in Kasten 3 (weitere Beispiele folgen in Kapitel 2.3). Befragt wurde unter anderem die Dörken MKS, ein Tier-2 Zulieferer aus Nordrhein-Westfalen mit unternehmerischem Schwerpunkt im Korrosionsschutz. Während das Unternehmen vor allem Stärken in den eigenen F&E-Tätigkeiten sowie der Anzahl der Mitarbeiter im F&E-Bereich sieht, werden fehlende Kernkompetenzen bezüglich zukünftiger Entwicklungen hinsichtlich der Elektromobilität als Schwäche angesehen. Jedoch sieht das Unternehmen auch Chancen in zukünftigen Entwicklungen. Beispielsweise werden Fahrzeugteile immer länger verwendet, sodass ein höherwertiger Korrosionsschutz immer mehr an Bedeutung gewinnt. Dazu zählt z.B. auch die Zinklamellenbeschichtung, bei der die Dörken MKS von ihrer langjährigen Erfahrung profitieren könnte. Ein zukünftiges Risiko sieht das Unternehmen etwa in einem kurzfristig eingeführten Verbot von Inhaltsstoffen, wie es in China bereits umgesetzt wurde.

Kasten 3: Exkurs: Zuliefererbefragung Fallstudie Nr.1

Fallstudie Nr.1 – Dörken MKS als Tier-2 Zulieferer aus Nordrhein-Westfalen

Eckdaten

> Haupttätigkeitsfeld/Kernkompetenz: Chemische Industrie: Korrosionsschutz
> Unternehmensstandorte: Herdecke (Deutschland), China, Japan, Korea, Thailand, Indien, Frankreich, Spanien, Italien, Brasilien, Mexiko, USA

SWOT-Analyse

S Stärken	W Schwächen	O Chancen	T Risiken
> Im internationalen Vergleich hohe F&E-Ausgaben mit über 5% des Umsatzes. > Die meisten Mitarbeiter innerhalb der Dörken MKS sind im F&E-Bereich angestellt. > Es gibt einen hohen Innovationsgrad und ein hohes F&E-Potenzial.	> Die Dörken MKS besitzt keine Kernkompetenzen in der Entwicklung leitfähiger Beschichtungen (Elektromobilität). > Fehlender Zugang zu neuen Playern in der Supply Chain.	> Es ergibt sich durch Elektromobilität die Möglichkeit der Marktausweitung und der Erschließung neuer Marktsegmente, wie z.B. erneuerbarer Energien oder der Bahnindustrie, wo Korrosionsschutz bei gleichzeitiger Leitfähigkeit ebenfalls von hoher Bedeutung ist. > Die Dörken MKS kann sich als relevanter Player in der Elektromobilität etablieren und sogar als First Mover agieren, z.B. im Rahmen neuer Verfahren zum Auftrag des Korrosionsschutzes. > Da der Trend zur Langlebigkeit der Produkte geht, kommt es auch zu einer Umstellung auf höherwertigen Korrosionsschutz, wie z.B. der Zinklamellen-beschichtung. Auf diesem Gebiet besitzt die Dörken MKS langjährige Erfahrung.	> Verbindungselemente, welche das Zielsegment der Dörken MKS darstellen, nehmen durch Elektromobilität quantitativ ab. > Die Einführung eines Verbots bestimmter Inhaltsstoffe bei der Lackentwicklung (Stichpunkt Umweltschutz), wie es bereits in China der Fall ist, kann das Geschäft bedrohen. > Auch wenn es eine Vielzahl an Förderprogrammen gibt, ist die Suche nach den entsprechenden Programmen sowie die Anmeldung dafür sehr zeitintensiv.

Quelle: Angaben des Unternehmens auf Grundlage der für dieses Forschungsvorhaben durchgeführten Unternehmensbefragungen.

2. Elektrifizierung des Antriebsstrangs

„Mindestens 15% bis 2025 und 37,5% bis 2030“, so lauten die Klimaschutzziele der EU. Das bedeutet: So stark soll der durchschnittliche CO_2-Ausstoß neuzugelassener Pkw im Vergleich zu 2021 gesenkt werden (Europäisches Parlament und Europäischer Rat, 2019). Eine Möglichkeit diese Flottenziele zu erreichen stellt die Fokussierung auf alternative Antriebe und speziell auf die Elektromobilität dar. Unter Elektromobilität werden dabei Fahrzeuge zusammengefasst, die mithilfe eines Elektromotors angetrieben werden. Das sind sowohl BEVs als auch PHEVs und Fahrzeuge mit Range Extender (REEVs). Ebenfalls werden FCEVs, welche mit Wasserstoff angetrieben werden, zur Elektromobilität hinzugerechnet.

Im folgenden Kapitel wird zunächst die Ausgangslage – der Status Quo – der deutschen Automobilindustrie im Bereich Elektromobilität betrachtet. Danach werden die Perspektiven der Elektromobilität im Lichte des Status Quo analysiert.

2.1 Status Quo

„Das Wichtigste in Kürze“: Ausgangslage Elektromobilität

Der Anteil von elektrifizierten Pkw an den Neuzulassungen in Deutschland war 2018 im europäischen sowie im weltweiten Vergleich noch gering. 2018 betrug der Anteil in Deutschland 2%. Das entspricht dem EU-weiten Durchschnitt. Den höchsten Anteil in Europa verzeichnete Norwegen mit 49%, gefolgt von Schweden (8,0%) und den Niederlanden (6,7%). Aber auch China (4,5%), die USA (2,5%) und Kanada (2,3%) liegen im weltweiten Vergleich vor Deutschland. Somit kann Deutschland derzeit nicht als Leitmarkt für Elektromobilität angesehen werden.

Der Aufbau der Ladeinfrastruktur ist insgesamt als positiv zu bewerten. Zum einen verfügt Deutschland über eine im internationalen Vergleich hohe Dichte an Ladepunkten. Der Ausbau des Ladenetzes sowie der Schnellladeinfrastruktur werden zudem von der Regierung gefördert.

Verbesserungspotenzial zeigt sich bei der Umsetzung des Elektromobilitätsgesetzes (EmoG). Nur wenige Kommunen nutzen das EmoG, um Elektrofahrzeuge, beispielsweise durch Bevorzugung bei Parkplätzen, attraktiver zu machen.

Die Hälfte der in Deutschland verfügbaren elektrifizierten Pkw-Modelle stammen von deutschen OEMs. Auffallend ist vor allem die hohe Modellvielfalt der deutschen Hersteller. Beim Absatz von Elektrofahrzeugen deutscher OEMs ergibt sich jedoch ein gemischtes Bild. 2017 waren 65% der in Deutschland zugelassenen elektrifizierten Pkw von deutschen Herstellern. Damit sind die deutschen OEMs bei Elektrofahrzeugen sogar leicht erfolgreicher als bei konventionellen Antrieben. In Westeuropa haben sie bei Elektrofahrzeugen mit 53% sogar einen höheren Marktanteil als im gesamten Pkw-Markt (49%). Auf dem chinesischen Markt, dem größten Absatzmarkt für Elektrofahrzeuge weltweit, kommen die deutschen Hersteller beim Verkauf von BEVs und PHEVs dagegen nur auf einen Marktanteil von 2%. Zum Vergleich: Der Anteil am chinesischen Pkw-Gesamtmarkt beläuft sich dagegen auf über 20%. Trotzdem spielen deutsche OEMs und Zulieferer bei Elektromobilität global eine herausgehobene Rolle. Das belegen nicht zuletzt die Patentstatistiken. So entfielen zwischen 2011 und 2018 mit 34% die meisten in Europa angemeldeten Patente mit Wirkung für Deutschland im Bereich

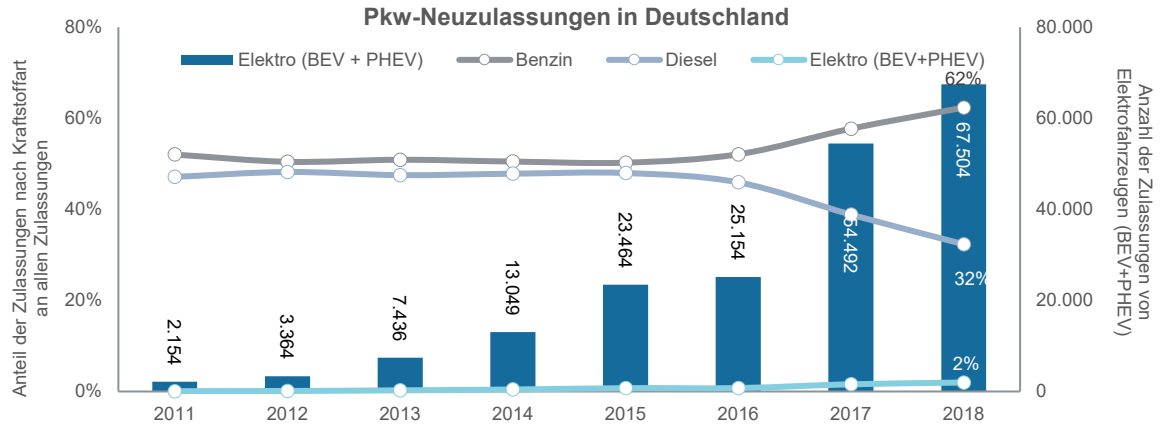
Elektromobilität auf deutsche Unternehmen, bei Hybridantrieben sind es sogar 38%. Deutsche Unternehmen gehören somit zu den technologischen Leitanbietern von Elektromobilität, auch wenn ihre Position nicht so ausgeprägt ist wie bei ICEs.

Schwierig wird der Wandel zur Elektromobilität jedoch vor allem für die Firmen des Aftermarkets. So müssen Werkstätten aufgrund der neuen technischen Komponenten im elektrifizierten Antriebsstrang neue Kompetenzen bezüglich der Batterie und des Hochvoltsystems aufbauen, was insbesondere für freie Werkstätten eine Herausforderung ist.

Deutschland ist entgegen des gesteckten Ziels aktuell kein Leitmarkt für Elektromobilität

2018 wurden in Deutschland 67.504 elektrifizierte Pkw (36.062 BEVs und 31.442 PHEVs) zugelassen. Dies entspricht einem Anteil von 2% an allen neu zugelassenen Pkw (siehe Abb. 21) und damit genau dem europäischen Durchschnitt (siehe Tab. 1). Seit 2011 bedeutet dies ein durchschnittliches jährliches Wachstum der Neuzulassungen von elektrifizierten Pkw von 64%. Zum Vergleich: Im selben Zeitraum ist der Anteil der Benziner um ca. 3% pro Jahr gewachsen, während der Anteil der Diesel-Pkw um ca. 5% pro Jahr fiel. Insgesamt waren am 1. Januar 2019 rund 150.000 elektrifizierte Pkw in Deutschland angemeldet (Kraftfahrt-Bundesamt, 2019). Ein Plus von 53% im Vergleich zu 2018. Die Neuzulassungen von FCEVs in Deutschland werden an dieser Stelle nicht betrachtet, da sie derzeit noch äußerst gering sind und daher vom Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) nicht getrennt ausgewiesen werden.

Abb. 21: Entwicklung der Neuzulassungen von Pkw in Deutschland nach Antriebsart im Zeitverlauf, 2011 bis 2018



Quelle: IPE. Eigene Berechnungen basierend auf Daten des Kraftfahrt-Bundesamts (Fahrzeugzulassungen (FZ) – Neuzulassungen und Besitzumschreibungen von Kraftfahrzeugen nach Emissionen und Kraftstoffen (FZ14) – Jahr 2011 (FZ14), Fahrzeugzulassungen (FZ) Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen (FZ14) – Jahr 2012 bis Jahr 2018). Anteile summieren sich aufgrund sonstiger Antriebe, wie z.B. Erdgas, nicht zu 100% auf.

Der Absatz von BEVs und PHEVs erhöht sich seit 2011 nicht nur in Deutschland, sondern auch europaweit. So wurden 2018 insgesamt rund 384.000 Elektrofahrzeuge in der EU und in der Europäischen Freihandelsassoziation (EFTA) zugelassen (siehe Tab. 1). Dies entspricht einem Anteil an den Neuzulassungen von 2% und einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von rund 41% seit 2013. Relativ gesehen wurden die meisten elektrifizierten Pkw in Norwegen zugelassen, wo ihr Anteil an den Neuzulassungen bereits

bei 49% liegt. Schweden folgt dahinter mit einem Marktanteil von 8%. Im Vergleich absoluter Zulassungszahlen belegt Deutschland den zweiten Platz hinter Norwegen.

Nicht nur im europäischen, sondern auch im weltweiten Vergleich liegt Deutschland eher hinten. 2018 sind auch die Anteile von elektrifizierten Pkw an den Neuzulassungen in China (4,5%), den USA (2,5%), Kanada (2,3%) und Südkorea (2,2%) höher als in Deutschland (IEA, 2019). Damit kann Deutschland nicht als Leitmarkt für Elektromobilität betrachtet werden. Insgesamt ist festzuhalten, dass trotz hoher jährlicher Wachstumsraten die Nachfrage nach Elektrofahrzeugen in Europa im Vergleich zu Fahrzeugen mit konventionellem Antrieb noch immer gering ist.

Auch die Neuzulassungen von Fahrzeugen mit Brennstoffzellenantrieb sind weltweit noch äußerst gering. Bis Ende 2017 wurden weltweit insgesamt lediglich rund 6.000 FCEVs zugelassen, die meisten davon in den USA (Kalifornien) und in Japan.[52]

Tab. 1: Neuzulassungen von elektrifizierten Pkw (BEV, PHEV, REEV und FCEV) (Europäische Union (EU) + Europäische Freihandelsassoziation (EFTA)), 2013 und 2018

Land	2013		2018		Jährliche Wachstumsrate (2013-2018)
	Neu-zulassungen von Elektro-Pkw*	Anteil an Neu-zulassungen	Neu-zulassungen von Elektro-Pkw*	Anteil an Neu-zulassungen	
Schweden	1.547	0,6%	28.332	8,0%	78,9%
Niederlande	22.495	5,4%	29.708	6,7%	5,7%
Finnland	218	0,2%	5.708	4,7%	92,1%
Portugal	221	0,2%	7.849	3,4%	104,2%
Österreich	3.227	1,0%	8.652	2,5%	21,8%
Vereintes Königreich	3.833	0,2%	59.947	2,5%	73,3%
Belgien	819	0,2%	13.353	2,4%	74,8%
Dänemark	650	0,4%	4.679	2,1%	48,4%
Frankreich	9.622	0,5%	45.623	2,1%	36,5%
Deutschland	**7.706**	**0,3%**	**67.658**	**2,0%**	**54,4%**
Andere Mitgliedsstaaten	4.806	0,2%	30.338	0,6%	44,6%
Europäische Union (EU)	**55.144**	**0,5%**	**301.847**	**2,0%**	**40,5%**
Norwegen	8.210	5,8%	*72.689*	*49,1%*	54,7%
Schweiz	1.717	0,6%	*9.516*	*3,2%*	40,8%
EU + EFTA	**65.071**	**0,5%**	**384.052**	**2,5%**	**42,6%**

**BEV, PHEV, REEV und FCEV.*

Quelle: IPE. Eigene Berechnungen basierend auf Daten des European Automobile Manufacturers Association (ACEA) (New passenger car registrations by market, 2013 und 2018). Anmerkung: Es wurden nur Staaten ausgewiesen, deren Anteil an neu zugelassenen Elektrofahrzeugen an allen Neuzulassungen 2% oder größer war und die sowohl 2013 als auch 2018 verfügbar waren. Alle anderen Staaten wurden unter Andere Mitgliedsstaaten zusammengefasst.

[52] Siehe https://www.electrive.net/2018/02/28/weltweit-nur-6-475-verkaufte-brennstoffzellen-pkw/.

Deutsche OEMs sind unter den technologischen Leitanbietern für Elektromobilität, auch wenn sie eine weniger dominante Rolle einnehmen als bei ICEs

Anfang 2018 konnten deutsche Autofahrer im Pkw-Bereich aus insgesamt 1.100 Fahrzeugmodellen wählen (Deutsche Energie-Agentur, 2018). 60 dieser Modelle waren elektrifiziert, davon 26 BEV- bzw. 34 PHEV-Modelle. Etwa die Hälfte (32 Modelle) stammte von deutschen Konzernmarken.[53] Laut der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) existiert in Deutschland damit ein sehr breit gefächertes Angebot an Elektrofahrzeugen, das im internationalen Vergleich nur von China übertroffen wird (NPE, 2018).[54] Dort bieten insbesondere einheimische Hersteller eine Vielzahl an elektrifizierten Modellen an.

Modelle mit Wasserstoffantrieb gab es auf dem deutschen Markt Anfang 2018 lediglich zwei. Keines davon stammte von einem deutschen OEM. Ende 2018 kam ein FCEV von Mercedes-Benz auf den Markt, welches bisher nur in Form eines Mietmodells verfügbar ist.

Auch bezüglich der Neuzulassungen nehmen die deutschen OEMs im deutschen Pkw-Markt für Elektrofahrzeuge eine gute Ausgangsposition ein. 2017 waren 65% der in Deutschland zugelassenen elektrifizierten Pkw von deutschen OEMs. Damit sind die deutschen OEMs bei Elektrofahrzeugen am Heimatmarkt sogar leicht erfolgreicher als bei konventionellen Antrieben. Bei den Neuzulassungen von ICEs liegt der Anteil der deutschen OEMs bei 62% (Kraftfahrt-Bundesamt, 2018b). Während der Anteil deutscher OEMs bei ICEs seit 2012 leicht gefallen ist, hat er sich bei Elektrofahrzeugen fast verdoppelt.

In einigen europäischen Ländern liegt der Marktanteil für Elektrofahrzeuge der deutschen Konzernmarken sogar höher als bei Pkw insgesamt (siehe Abb. 22). Auf dem westeuropäischen Markt lag er 2017 bei 53%, während er bei allen Pkw bei 49% lag. Besonders bei PHEVs haben sich die deutschen OEMs gut platziert. 2018 stammen sieben der zehn in Europa meistverkauften PHEV-Modelle von deutschen Herstellern.[55] Bei PHEVs profitieren sie davon, dass sie weniger preissensitive Marktsegmente abdecken.

Trotz der positiven Entwicklung der Verkaufszahlen von Elektrofahrzeugen in Westeuropa sind die deutschen OEMs im weltweiten Vergleich nur im Mittelfeld zu verorten. 2018 war unter den zehn der weltweit am häufigsten verkaufen BEV-Modellen keines eines deutschen OEMs vertreten.[56] Die meistverkauften Modelle, die aus Deutschland stammen, sind mit knapp 34.000 Stück der BMW i3 sowie mit fast 24.000 Stück der VW e-Golf. Das bedeutet Platz 12 und Platz 20 im internationalen Vergleich. Primär chinesische OEMs wie etwa BAIC oder BYD dominieren derzeit den Markt.

In China, dem weltweit größten Absatzmarkt für Elektrofahrzeuge, besitzen deutsche Hersteller lediglich einen Marktanteil von 2% (siehe Abb. 22). Im gesamten chinesischen Markt haben sie einen Marktanteil von 21%. 2018 wurden in China knapp 1,1 Mio. Elektro-Pkw verkauft (IEA, 2019). Zum Vergleich, in der gesamten EU oder auch den USA summieren sich die Neuzulassungen im selben Jahr jeweils auf nicht einmal ein Drittel der Neuzulassungen in China. Zugleich ist China auch der weltweit größte Neuwagenmarkt:

---

53 Berücksichtigt wurden die Volkswagen AG, Daimler AG und die BMW Group.

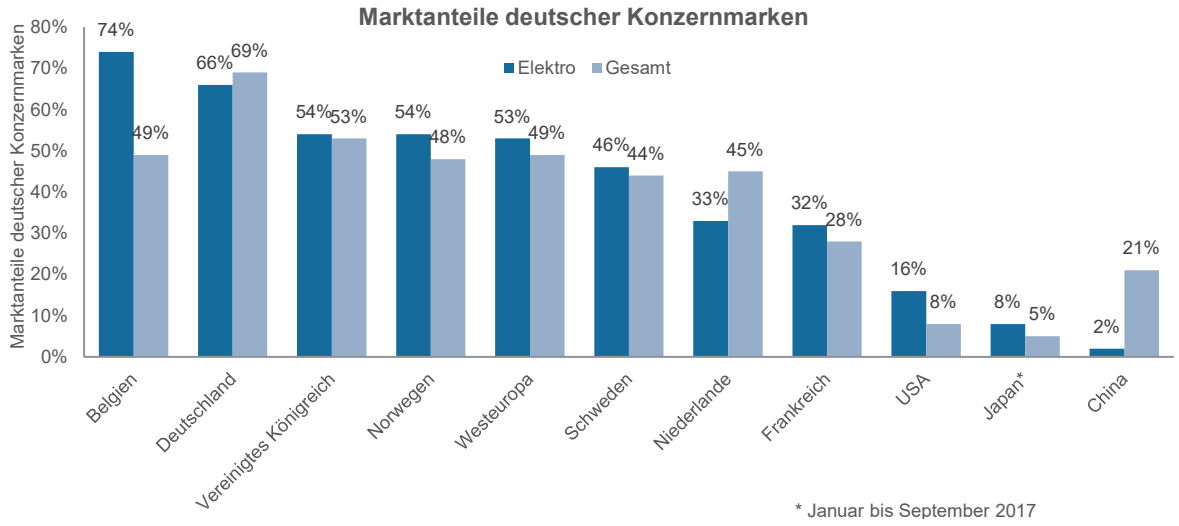
54 Die Anzahl an verfügbaren Modellen von Elektrofahrzeugen im NPE Fortschrittsreport sind leicht höher. Danach gibt es im Jahr 2018 in Deutschland 63 unterschiedliche Modelle von Elektrofahrzeugen. Davon stammt die Hälfte (33 Modelle) von deutschen Herstellern (NPE, 2018).

55 Quelle: Roland Berger. Das meistverkaufte Modell war der Mitsubishi Outlander gefolgt vom Volvo XC60 und dem BMW 5er.

56 Quelle: Roland Berger.

2016 wurde ein Drittel aller Neuwagen in China zugelassen (Ernst & Young, 2017). Die deutschen OEMs setzen ebenfalls große Stückzahlen auf dem chinesischen Markt ab. 34% aller Verkäufe deutscher OEMs entfielen 2016 auf China.

Abb. 22 Marktanteile deutscher Konzernmarken in den wichtigsten Märkten, 2017

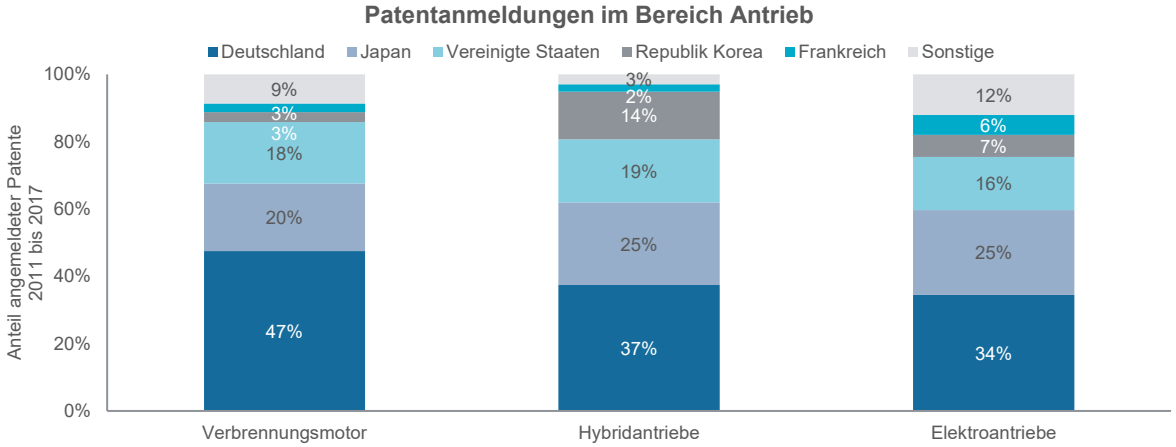


Quelle: Nationale Plattform Elektromobilität, 2018.

Wie bei der Verbrennertechnologie sind deutsche OEMs und Zulieferer auch bei Patentanmeldungen für Elektro- und Hybridantriebe führend

Die deutsche Automobilindustrie ist führend bei der Anmeldung neuer Patente im Bereich „Elektroantriebe“ und „Hybridantriebe“. Abb. 23 zeigt, dass 34% aller zwischen 2011 und 2018 in Europa mit Wirkung für Deutschland angemeldeten Patente der Automobilindustrie im Bereich Elektroantriebe von deutschen OEMs und Zulieferern stammen.

Abb. 23: Patentanmeldungen in den Bereichen Verbrennungsmotor, Elektro- und Hybridantrieb, 2011 bis 2018



Quelle: IPE. Eigene Berechnungen basierend auf Daten des Deutsches Patent- und Markenamtes (DPMA) (Patentanmeldungen mit Wirkung für die Bundesrepublik Deutschland in ausgewählten Gebieten der Kraftfahrzeugtechnik. CSV-Statistiken 2019). [57]

[57] Siehe https://www.dpma.de/dpma/veroeffentlichungen/statistiken/csv-statistiken/index.html.

Im Bereich Hybridantriebe sind es sogar 37%. Auf Platz zwei folgt mit deutlichem Abstand Japan (jeweils 25%). Zum Vergleich, im Bereich „Verbrennungsmotor“ lag der Anteil in Deutschland angemeldeter Patente bei 47%. Japan ist hingegen im Bereich Brennstoffzelle mit 28% aller angemeldeten Patente führend (ifo Institut, 2017). Deutschland folgt auf dem zweiten Platz mit 25% aller angemeldeten Patente.

Batterien und Hochvoltsysteme sorgen für neue Herausforderungen bei Herstellung und Wartung von Fahrzeugen

Grundlegend für den Wandel zu Elektromobilität sind neue Kompetenzen im Bereich der Batterie und des Hochvoltsystems. In der Kategorie Batterien und Akkumulatoren halten deutsche Unternehmen 15% der weltweiten Patentanmeldungen und belegen so den dritten Rang hinter den USA (29%) und Japan (23%) (ifo Institut, 2017). Mit Ausnahme der industriellen Fertigung der Batteriezelle finden alle Produktionsschritte im Zusammenhang mit der Batterie in Deutschland statt – von der Materialherstellung und Komponentenproduktion über die Modul- und Batterieproduktion bis hin zur Fahrzeugintegration (NPE, 2018). Zudem investieren deutsche OEMs und Zulieferer in die Batterietechnologie, um den Erwartungen der Konsumenten an Reichweite und Kosten zu entsprechen.

Batterien und Hochvoltsysteme stellen nicht allein die OEMs vor neue Herausforderungen. Vielmehr müssen alle Firmen grundlegende Anpassungen vornehmen. Im Aftermarket müssen etwa Werkstätten aufgrund der neuen technischen Komponenten im elektrifizierten Antriebsstrang neue Kompetenzen aufweisen. Werkstätten, die von OEMs oder Zulieferern betrieben werden, bereitet dies weniger Probleme. Bosch und ZF Friedrichshafen bieten sogar entsprechende Hochvolt-Schulungen an.[58] Freie Werkstätten hingegen haben kaum Erfahrung in der Wartung und Reparatur elektrifizierter Fahrzeuge.

Bereits 2012 regelten die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. sowie die Berufsgenossenschaft Holz und Metall über die BGI/GUV-I 8686, welche Schulungen und Fortbildungen Werkstattmitarbeiter absolvieren müssen, um bestimmte Arbeiten an Elektrofahrzeugen durchführen zu dürfen (DGUV, 2012). So dürfen beispielsweise lediglich Mitarbeiter, die erfolgreich eine Weiterbildung zur Elektrofachkraft absolviert haben, selbständig an Elektrofahrzeugen arbeiten. Auch die Ausbildungspläne wurden bereits angepasst. Auszubildende zum Kraftfahrzeugmechatroniker können seit 2016 den Schwerpunkt System- und Hochvolttechnik wählen (BIBB, 2016). Damit sind sie automatisch zur Arbeit an Elektrofahrzeugen befähigt.[59]

Deutschland hat eine verhältnismäßig gut ausgebaute öffentliche Ladeinfrastruktur

Eine zentrale Voraussetzung für eine schnelle Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen ist eine ausreichende Ladeinfrastruktur bzw. der Ausbau ebendieser. Setzt man die Zahl der Ladepunkte in Relation zu den Fahrbahn-Kilometern, belegt Deutschland 2017 weltweit mit 0,04 Ladepunkten pro Fahrbahn-Kilometer Rang 4.[60] Nur die Niederlande, Norwegen und

---

58 Siehe https://aftermarket.zf.com/de/de/aftermarket-portal/pkw-und-transporter/wissen/technisches-training/, http://de-ww.bosch-automotive.com/de/services_support_workshopworld/service_training/services_training schulungsprogramm/schulungsprogramm_1.

59 Eine ausführliche Betrachtung erfolgt in Kapitel III.6.

60 Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten zu Ladepunkten des European Alternative Fuel Observatory (EAFO) und Presserecherche. Anzahl der Ladepunkte in China siehe

China haben eine höhere Dichte an Ladepunkten. Der internationale Vergleich zeigt, dass die relativ hohe Ladepunktdichte in Deutschland nicht ausreicht, um Kunden vom Kauf eines Elektrofahrzeuges zu überzeugen. So ist der Anteil der Neuzulassungen an Elektrofahrzeugen 2018 in Frankreich höher als in Deutschland. Die Ladepunktdichte ist dort jedoch nur halb so groß.

Wie in Kapitel I.1 beschrieben, ist der Ausbau der Ladeinfrastruktur auch eine staatliche Aufgabe. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) hat ein Förderprogramm für ein flächendeckendes Ladenetz mit einem Volumen von 300 Mio. Euro bis 2020 zur Verfügung gestellt (NPE, 2018). Bei einer öffentlichen Förderquote von durchschnittlich 40% würde dies zusätzliche private Investitionen von bis zu 450 Mio. Euro auslösen. In Summe könnten somit Investitionen in Höhe von 750 Mio. Euro in die Ladeinfrastruktur fließen (NPE, 2018). Das BMVI fördert außerdem den Ausbau von Schnellladepunkten (DC-Multicharger) an deutschen Autobahnraststätten.[61] An über 400 Standorten sollen Stationen entstehen, die jeweils mehrere DC-Ladepunkte besitzen (NPE, 2018).

Zusätzlich gibt es auch Bemühungen, Wasserstofftankstellen auszubauen. Im Juni 2019 standen deutschlandweit erst 74 Wasserstofftankstellen zur Verfügung, bis Anfang 2020 sollen es insgesamt 100 Stück sein (H2 MOBILITY, 2019).[62] Mehr Wasserstofftankstellen gibt es aktuell nur in Japan, wo es Ende 2018 bereits 96 Stück waren.[63] Die japanische Regierung hat sich das Ziel gesetzt, 160 Wasserstofftankstellen bis 2020 zu eröffnen. Außerdem sollen bis dahin 40.000 Brennstoffzellenfahrzeuge zugelassen sein.[64]

Derzeit wird der Ausbau der Ladeinfrastruktur im privaten Bereich noch stark gehemmt

Die Installation privater Ladeeinrichtungen in Wohneigentümergemeinschaften und Mietimmobilien ist derzeit oftmals schwierig und langwierig. Wie in Abschnitt I.1.2 dargestellt ist die private Ladeinfrastruktur ein zentraler Treiber der Elektromobilität. Daraus ergibt sich eine Handlungsempfehlung, die auch im Klimaschutzprogramm 2030 aufgegriffen wurde: Sowohl für Eigentümer als auch für Mieter sind gesetzliche Grundlagen zu schaffen, welche die Installation und den Betrieb von privaten Ladeeinrichtungen vereinfachen. Dies bedarf der Erarbeitung und weiteren Ausgestaltung von Gesetzesentwürfen beziehungsweise Novellierungsvorschlägen von bestehenden Gesetzabschnitten zur Anpassung des Wohneigentumsgesetzes und des Mietrechts.

Nur wenige Kommunen nutzen das EmoG, um Elektrofahrzeuge attraktiver zu machen

Im Winter 2017/18 kam das EmoG erst in 22% (112 Kommunen) der Kommunen zur Anwendung (Deutsches Dialog Institut und Noerr, 2018). In weiteren 11% sei eine Anwendung in Zukunft geplant. Ein knappes Viertel der Kommunen nutzte das Gesetz nicht

---

https://cleantechnica.com/2018/01/23/chinas-ev-charging-point-network-grew-51-2017/. Daten zu Fahrbahnkilometern sind aus dem *World Factbook* der Central Intelligence Agency entnommen. Siehe https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2085rank.html. Anmerkung: Die angegebene Anzahl der Ladepunkte weicht von den Angaben der Bundesnetzagentur in Abschnitt I.1.2 ab. Da wir einen internationalen Vergleich anstreben werden oben die Angaben von EAFO verwendet.

61 Siehe https://www.electrive.net/2018/01/17/tank-rast-meldet-rund-300-standorte-mit-multichargern/.

62 Stand: 13.8.2019.

63 Siehe https://www.tuev-sued.de/tuev-sued-konzern/presse/pressearchiv/deutschland-hatte-auch-2018-wieder-den-hochsten-zubau-an-wasserstofftankstellen-weltweit.

64 Siehe https://www.golem.de/news/energie-warum-japan-auf-wasserstoff-setzt-1903-140340.html.

und fast die Hälfte (43%) war sich nicht darüber im Klaren, ob das Gesetz angewendet wird.[65] Unter den Kommunen, in denen das Gesetz zum Befragungszeitpunkt zur Anwendung kam, wurde hauptsächlich auf die Möglichkeit zum Parken auf öffentlichen Straßen (64%) sowie auf die Reduzierung oder den Erlass von Parkgebühren (50%) gesetzt. Ausnahmen bei der Nutzung von Sonderfahrspuren bzw. bei Zufahrtsbeschränkungen oder Durchfahrverboten wurden jeweils nur in 3% der Kommunen eingeräumt. Wie in Kapitel I.1.2 dargestellt, sind Privilegien im Straßenverkehr ein Hebel, damit Elektrofahrzeuge marktseitig akzeptiert werden. Daraus ergibt sich eine einfache Handlungsempfehlung: Die Kommunen sollten diesen Hebel nutzen.

2.2 Perspektiven

„Das Wichtigste in Kürze“: Perspektiven der Elektromobilität

Auch wenn der Anteil von Elektrofahrzeugen an den Pkw-Neuzulassungen aktuell europaweit noch gering ist, kann deren Markthochlauf vor allem durch sinkende Batteriekosten entscheidend beschleunigt werden. Diese machen aktuell einen signifikanten Teil der Kosten eines Elektrofahrzeugs aus und können somit zu einer maßgeblichen Preisreduktion beitragen. Denn neben der Reichweite und der langen Ladezeit wird derzeit vor allem der hohe Preis als Hauptgrund gegen Elektrofahrzeuge in Deutschland genannt.

Deutsche OEMs und Zulieferer könnten aufgrund der über Jahrzehnte aufgebauten Fertigungskompetenz in Verbindung mit hoher F&E-Intensität – dokumentiert beispielsweise in der hohen Anzahl an Patenten im Bereich der Elektromobilität – somit zum Leitanbieter für Elektromobilität werden. Es bietet sich ebenfalls Raum für neue Geschäftsmodelle, von denen nicht nur etablierte Unternehmen, sondern auch Start-ups profitieren können. Beispielsweise ergeben sich neue Geschäftsmodelle wie eine App-gesteuerte Reservierung einer Ladesäule oder per Smartphone einsehbare Informationen zum Ladezustand der Batterie.

Die Transformation der Automobilwirtschaft zur Elektromobilität bedroht aber auch Arbeitsplätze in Deutschland, insbesondere bei Zulieferern sowie bei Firmen des Aftermarkets. So wird die Anzahl der im Pkw verbauten Komponenten und deren Wertschöpfung sinken. Bei den betroffenen Komponenten besitzen gerade deutsche Zulieferer eine Kernkompetenz. Elektromobilität stellt Zulieferer nun vor die Herausforderung, das Geschäftsmodell und die Angebotspalette entsprechend anzupassen. Einen großen Wertschöpfungsanteil am gesamten Fahrzeug wird trotz rückläufigem Trend auch zukünftig die Batterie haben. Derzeit kann in Deutschland nicht die komplette Wertschöpfungskette abgebildet werden.

Für viele kleine Zulieferer wird es eine besonders große Herausforderung, den Strukturwandel erfolgreich zu meistern. Die starke Spezialisierung, bisher ein

[65] Laut der Studie spiegelt sich in diesem hohen Anteil ein Defizit an Information zum Regelungsrahmen und zur tatsächlichen Anwendung wider. Hintergrund ist, dass weder eine Informationspflicht noch ein zentrales Monitoring-System existieren (Deutsches Dialog Institut und Noerr, 2018). Demzufolge ist der Anteil der Kommunen, in denen das Elektromobilitätsgesetz zur Anwendung kommt, als Mindestanteil zu verstehen.

Erfolgskriterium, kann bei der Transformation der Branche nun ein Wettbewerbsnachteil der Zulieferer sein.

Auch im Aftermarket werden die Umsätze durch BEVs im Vergleich zu ICEs voraussichtlich signifikant geringer ausfallen. Denn der Wartungs- und Reparaturumfang bei einem Elektrofahrzeug ist im Vergleich zu einem Verbrenner geringer.

Sinkende (Batterie-)Kosten können den Markthochlauf von Elektrofahrzeugen in Europa und insbesondere in Deutschland deutlich beschleunigen

Die Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen hängt entscheidend von deren Preisentwicklung ab. Bei einer Befragung im Auftrag der Deutschen Automobil Treuhand GmbH (DAT) gaben 53% der Neuwagen- und 68% der Gebrauchtwagenkäufer an, dass hohe Anschaffungskosten ein Grund gegen einen BEV oder PHEV seien (DAT, 2019). Dies war der meistgenannte Grund bei Gebrauchtwagenkäufern, gefolgt von einer begrenzten Reichweite sowie einer zu langen Ladezeit. Bei Neuwagenkäufern belegte der Anschaffungspreis nach der begrenzten Reichweite Platz zwei bei den Gründen gegen ein Elektrofahrzeug. An dritter Stelle stand ebenfalls eine zu lange Ladezeit.

Vor allem die Kosten für die Batterie, welche momentan noch einen signifikanten Teil der Kosten eines Elektrofahrzeugs ausmachen, werden die Preisentwicklung von Elektrofahrzeugen treiben. Es ist zu erwarten, dass die Kosten für Lithium-Ionen-Akkumulatoren zukünftig fallen werden (siehe Kapitel III.2.1). Zum einen werden Skaleneffekte dazu beitragen, zum anderen werden technologische Entwicklungen eine Optimierung auf Zell- und Modulebene realisieren können (Fraunhofer ISI, 2015). Kostensenkungen der Batterien werden Elektrofahrzeuge preislich attraktiver machen und so die Marktdurchdringung fördern.

Deutsche OEMs wie auch Zulieferer können von steigenden Absatzzahlen von Elektrofahrzeugen in Westeuropa profitieren

Steigende Absatzzahlen von Elektrofahrzeugen in Westuropa kommen besonders den deutschen OEMs und Zulieferern zu Gute. Der aktuell hohe Marktanteil bei Elektrofahrzeugen in Westeuropa würde sich in hohe Absatzvolumen verwandeln. Aufgrund der über Jahrzehnte aufgebauten Fertigungskompetenz hätten deutsche OEMs keine Schwierigkeiten die erhöhte Nachfrage zu decken. Gleichzeitig stellen steigende Absatzzahlen von Elektrofahrzeugen in China für deutsche OEMs aktuell noch ein Risiko dar. Findet dort eine Verschiebung von ICEs zu Elektrofahrzeugen statt, ohne dass die deutschen OEMs es schaffen ihren Marktanteil dort zu erhöhen, könnten große Umsatzverluste die Folge sein.

Um die Rolle eines Technologieführers und Leitanbieters für Elektromobilität einzunehmen, sind F&E eine wichtige Voraussetzung. Die hohe Anzahl der Patente im Bereich der Elektromobilität erhöht die Chancen deutscher Automobilunternehmen, sich zukünftig als Leitanbieter zu positionieren (NPE, 2018).

Zulieferer und der Aftermarket müssen ihre Geschäftsmodelle auf die Elektromobilität anpassen. So können die zu erwartenden Umsatzeinbußen begrenzt werden

Beim elektrischen Antriebsstrang werden im Vergleich zum konventionellen Antriebsstrang weniger Komponenten verbaut. Besonders Zulieferer bedroht der Entfall wesentlicher

Komponenten. Die (Teile-) Herstellung von Verbrennungsmotoren, Abgasanlagen und Getrieben definiert die Kernkompetenz vieler deutscher Zulieferer und insbesondere der KMU. Dabei ist der hohe Spezialisierungsgrad auf einzelne Komponenten ein Merkmal der deutschen Zulieferer und hat ihnen in der Vergangenheit einen internationalen Wettbewerbsvorteil verschafft. Die Zulieferer liefern ungefähr drei Viertel aller Teile im Verbrennungsmotor (Oliver Wyman und VDA, 2018). Elektromobilität stellt Zulieferer nun vor die Herausforderung, ihr Geschäftsmodell und die Angebotspalette entsprechend anzupassen.

Generell ist zu erwarten, dass im Aftermarket die Umsätze durch BEVs im Vergleich zu ICEs geringer ausfallen. Denn BEVs besitzen gegenüber Verbrennungsmotoren weniger Verschleißteile und sind weniger komplex aufgebaut. Zwar entstehen neue Serviceaufgaben, wie z.B. eine regelmäßige Kontrolle der Leistungselektronik und ein Austausch der Batteriekühlmittel. Insgesamt wird jedoch damit gerechnet, dass der Wartungs- und Reparaturumfang bei einem Elektrofahrzeug im Vergleich zu einem Verbrenner deutlich fällt (Berylls, 2019).

Der Umstieg auf Elektromobilität wirkt sich auch auf die Mineralölwirtschaft aus. Neben der Mineralölverarbeitung, bei der 2018 rund 24.000 sozialversicherungspflichtig Beschäftigte tätig waren, fallen darunter auch die Gewinnung von Erdöl und Erdgas mit über 3.000 sowie Tankstellen mit knapp 60.000 sozialversicherungspflichtig Beschäftigten.[66] Auch Raffinerien stehen vor erheblichen Herausforderungen. Aufgrund der Rohölverarbeitung im Rahmen der sogenannten Kuppelproduktion fallen unweigerlich mehrere Haupt- und Nebenprodukte parallel an (Prognos, DBFZ und UMSICHT, 2018). Die anfallenden Produktanteile lassen sich durch Variation der Prozessparameter verschieben, jedoch können dazu bauliche Veränderungen und somit Investitionen notwendig sein. Inwiefern die Arbeitsplätze der Mineralölwirtschaft durch den Strukturwandel gefährdet sind, ist jedoch nicht Teil dieses Forschungsvorhabens.

Die Elektromobilität bietet Raum für neue Geschäftsmodelle

Der Wandel zur Elektromobilität bietet allerdings auch Raum für neue Geschäftsmodelle, beispielweise im Bereich des Ladens (IFA, 2017). Neben dem Betrieb und der Wartung von Ladesäulen sind auch neue Geschäftsmodelle in Verbindung mit der Digitalisierung denkbar[67] - sei es etwa in der App-gesteuerten Reservierung einer Ladesäule oder in Form einer per Smartphone einsehbaren Information zum Ladezustand der Batterie. Neue Unternehmen, wie z.B. Plug'n charge oder Ubitricity, treten bereits jetzt in den Markt ein. Die Elektromobilität ist für Unternehmen ein neues, ergänzendes Geschäftsfeld, mit dem sie sich auf die vielfältigen Mobilitätskonzepte der Zukunft einstellen und auf sich wandelnde Kundenbedürfnisse reagieren können.[68]

Herstellung von Batterien könnte Wertschöpfung in Deutschland sichern

2016 lagen die Batteriekosten als Anteil der Gesamtkosten des Fahrzeugs bei BEVs zwischen 25% und 35% und bei den PHEVs zwischen 6% und 9% (Fraunhofer ISI, 2017; BMF, 2019). Eine zentrale Rolle spielt dabei die Produktion der Batteriezellen. Ungefähr 40% der Gesamtwertschöpfung einer Batterie entfallen derzeit auf diese Stufe (ika, 2014). In Deutschland findet aktuell noch keine Batteriezellfertigung im großindustriellen Maßstab

66 Quelle: Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008).
67 Weitere Geschäftsmodelle durch Elektromobilität im Strommarkt werden in Teil IV thematisiert.
68 Siehe https://www.electrive.net/2018/01/17/tank-rast-meldet-rund-300-standorte-mit-multichargern/.

statt, sie wird aber zukünftig durch das BMWi in Europa mit 1,0 Mrd. Euro bis 2021 gefördert werden (BMWi, 2018c).[69]

Auch werden asiatische Zellfertigungsfirmen zunehmend auf dem europäischen Markt aktiv (Fraunhofer ISI, 2018). Der chinesische Batterieproduzent CATL hat im Oktober 2019 mit dem Bau eines Werks zur Herstellung von Batteriezellen bei Erfurt begonnen. Dabei sollen rund 2000 Arbeitsplätze entstehen.[70] Der Beschäftigungseffekt eines Batteriezellenwerkes ist relativ gering, da Batteriezellen verhältnismäßig kapitalintensiv produziert werden.[71] Der Anteil der Batteriezellen an der Gesamtwertschöpfung eines Fahrzeugs wird zukünftig auch sinken (Fraunhofer ISI, 2015).

Insgesamt ist die Batterietechnologie eine „General Purpose" Technologie, die nicht nur in der Automobilindustrie, sondern auch in vielen anderen Sektoren Verwendung hat. Sie bietet großes Wertschöpfungspotenzial, weshalb eine Förderung von F&E zur nächsten Batteriegeneration in den Handlungsempfehlungen adressiert wird.

Eine starke Spezialisierung kann bei der Transformation der Branche ein Wettbewerbsnachteil für Zulieferer sein

Große Zulieferer haben oft mehrere technologische Standbeine und können einfachere Anpassung vornehmen, um hochspezialisierte Zulieferer zu werden (Roland Berger und IG Metall Saarbrücken, 2017c). Doch für KMU in der Zulieferindustrie wird es eine große Herausforderung, den Strukturwandel erfolgreich zu meistern. Viele kleine Zulieferer sind stark spezialisiert und somit von wenigen Kunden und wenigen Produkten abhängig.

2.3 Exkurs: Zuliefererbefragung

Zwei weitere Beispiele für Zuliefererbefragungen im Bereich der Elektromobilität befinden sich in Kasten 4 und Kasten 5. Die Scherdel GmbH und Richard Bergner Holding GmbH (RIBE Gruppe) sind beides Tier-2 Zulieferer aus Bayern. Der unternehmerische Schwerpunkt der Scherdel GmbH liegt in der Herstellung von Federn. Der Schwerpunkt der Richard Bergner Holding GmbH liegt hingegen in der Verbindungs- und Fügetechnik. Während die Scherdel GmbH bereits erste Komponenten für die Elektromobilität erfolgreich auf den Markt gebracht hat und auch seit mehr als 10 Jahren Komponenten in den Bereichen Thermomanagement oder Elektroantrieb entwickelt, profitiert die Richard Bergner Holding GmbH insbesondere von dem Wissen des Tochterunternehmens „Elektroarmaturen". Jedoch ist die Elektromobilität für letztere insofern eine Herausforderung, da mehr als 50% des Umsatzes mit Teilen erzielt werden, die spezifisch für den Verbrennungsmotor sind. Wie auch bereits die Dörken MKS (siehe Abschnitt 1.3) sehen beide Unternehmen Verbesserungsbedarf bei der Ausgestaltung von Förderprogrammen. Neben dem immensen Zeitaufwand für die Antragstellung wurde auch angemerkt, dass die meisten Förderprogramme nicht für Unternehmen der jeweiligen Größe angeboten werden.

---

69 Gefördert werden deutsche Unternehmen, die mit europäischen Partnern eine Zellfertigung aufbauen möchten.

70 Siehe https://www.mdr.de/thueringen/mitte-west-thueringen/arnstadt-ilmkreis/batterie-hersteller-catl-legt-in-arnstadt-grundstein-fuer-fabrik-100.html.

71 Siehe https://www.car-it.com/standortfrage/id-0058618.

Kasten 4: Exkurs: Zuliefererbefragung Fallstudie Nr.2

Fallstudie Nr.2 – Scherdel GmbH als Tier-2 Zulieferer aus Bayern

Eckdaten

> Mitarbeiterzahl: 5.900 (davon 34% im Ausland)
> Umsatz: 672 Mio. (2017)
> Haupttätigkeitsfeld/Kernkompetenz: Herstellung technischer Federn
> Unternehmensstandorte: Deutschland (Marktredwitz, Röslau, Waldershof, Zwickau, Plauen, Chemnitz, Oberkirch), Frankreich, England, USA, Brasilien, China, Japan, Russland, Indien
> F&E-Ausgaben: 4,6% des Umsatzes (2017)
> Sitz der größten Kunden: Baden-Württemberg
> Sitz der größten Zulieferer: außerhalb Europas und im EU-Ausland

SWOT-Analyse

S Stärken	W Schwächen	O Chancen	T Risiken
> Bei Produktionsprozessen, Produkten und Anwendungen ist die Scherdel GmbH breit aufgestellt und kann eine Vielzahl an Kunden ansprechen. > F&E-Quote von knapp 5%. > Entwicklung eigener Applikationen im Bereich der Elektromobilität.	> Aufgrund des Schwerpunktes auf technischen Federn liegt die Kompetenz der Scherdel GmbH vor allem in der Fertigung von Einzelteilen. Für die Elektromobilität bedarf es häufig jedoch komplexer Baugruppen und neuer Materialen. Dies stellt neue Herausforderungen entlang der kompletten Wertschöpfungskette dar.	> Bereits vor 10 Jahren hat die Scherdel GmbH damit begonnen, Komponenten in den Bereichen Leistungselektronik, Elektroantrieb, Thermomanagement/ medienführende Leitungen zu entwickeln. Diese bisherigen Kompetenzen helfen, da diese auch auf die Elektromobilität übertragen werden können.	> Aufgrund der geringeren Bauteile eines Elektrofahrzeuges wird der Wettbewerb zwischen den einzelnen Zulieferern immer stärker und die Wertschöpfungsketten sind nicht mehr klar definiert. > Der Strukturwandel ist für die Zulieferer nur schwer planbar, da keine gerade Linie von Seiten der Automobilhersteller und der Regierung zu erkennen ist. > Aufgrund der Unternehmensgröße gibt es kaum Förderprogramme, auf die sich das Unternehmen bewerben kann.

Quelle: Angaben des Unternehmens auf Grundlage der für dieses Forschungsvorhaben durchgeführten Unternehmensbefragungen.

Kasten 5: Exkurs: Zuliefererbefragung Fallstudie Nr.3

Fallstudie Nr.3 – Richard Bergner Holding GmbH und Co. KG als Tier-2 Zulieferer aus Bayern

Eckdaten

> Mitarbeiterzahl: 1.400 (davon 34% im Ausland); 1.100 im Automotive-Bereich
> Umsatz: 205 Mio. (2018)
> Haupttätigkeitsfeld/Kernkompetenz: Metallverarbeitung: Verbindungstechnik, Fügetechnik
> Unternehmensstandorte: Schwabach, Slowakei, USA, Malaysia, China
> F&E-Ausgaben: ca. 3% des Umsatzes (2017)
> Sitz der größten Kunden: Deutschland
> Sitz der größten Zulieferer: Deutschland, Europa und Asien

SWOT-Analyse

Stärken	Schwächen	Chancen	Risiken
> Technologien der Ribe GmbH passen zur Elektromobilität. Dadurch entstehen Synergien in der Firmengruppe. > Durch das Tochterunternehmen „Elektroarmaturen“ sind die Kompetenzen in der Elektrotechnik besonders ausgeprägt.	> Der Anteil des Umsatzes durch Produkte, die speziell für den Verbrennungsmotor hergestellt werden, ist mit 50% hoch. > Der Weg zu einer vollständigen Digitalisierung der Produktion ist noch lang: Es gibt bei der Ribe GmbH zwar eine Vielzahl an Projekten in allen Bereichen, jedoch sind die Kosten dafür immens hoch und daher für mittelgroße Unternehmen schwer zu stemmen.	> Ausweitung des Kundenstammes auf andere Industrien wie etwa dem Strommarkt oder dem Schienenverkehr möglich. > Die Ribe GmbH ist Marktführer bei Aluminiumschrauben. Diese erfahren durch die Elektromobilität neuen Aufschwung.	> Aufgrund steigender Rohmaterial-, Lohn und Energiekosten sind die Preisanforderungen der Kunden kaum noch zu erfüllen. Somit wird es immer schwieriger in F&E zu investieren. > Die Antragstellung bei F&E-Förderprogrammen ist kompliziert und kostet Unternehmen viel Zeit und Arbeit.

Quelle: Angaben des Unternehmens auf Grundlage der für dieses Forschungsvorhaben durchgeführten Unternehmensbefragungen.

3. Vernetztes und automatisiertes Fahren

Die zügig voranschreitende Entwicklung des vernetzten und automatisierten Fahrens ist ein grundlegender Treiber des automobilen Strukturwandels.[72] Fahrassistenzsysteme (ADAS - Advanced Driver Assistance Systems) können bereits jetzt den Fahrer bei der Längsführung (z.B. Spurhalten) oder der Querführung (z.B. Lenkung) unterstützen. Solche Fahrfunktionen wurden bislang auf Level 2 in Serie eingeführt.[73]

Im folgenden Kapitel wird zunächst die Ausgangslage der deutschen Automobilindustrie im vernetzten und automatisierten Fahren betrachtet. Danach werden dessen Perspektiven für die Automobilwirtschaft beleuchtet.

3.1 Status Quo

„Das Wichtigste in Kürze“: Ausgangslage vernetztes und automatisiertes Fahren

Wichtige legislative Punkte (z.B. Haftungsverteilung, Datenaufzeichnung bei Unfällen) wurden mit dem achten Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes (StVG) geregelt. Aber die ECE-Regelung R79 sorgt nach wie vor für Hindernisse. Sie erlaubt aktuell noch keine Serienzulassung von Fahrzeugen mit hoch- und vollautomatisierten Fahrfunktionen, die dem Level 3 und höher entsprechen. Auch im Bereich der Datenökonomie sind einige Fragen ungeklärt. Beispielsweise gilt es Standards beim Austausch sowie des Zugriffs fahrzeugbezogener und städtebezogener infrastruktureller Daten zu schaffen. Bei den Möglichkeiten zum Testen automatisierter Fahrfunktionen herrscht ebenfalls ein gemischtes Bild. Es gibt zwar eine Vielzahl an Testfeldern in Deutschland und auch in grenzüberschreitenden Gebieten. Aber die Gesetzgebung in anderen Nationen ist deutlich progressiver. So ist es beispielsweise in Kalifornien bereits heute erlaubt, selbstfahrende Fahrzeuge ohne Fahrer am Steuer zu testen.

Eine weitere Schwäche stellt die digitale Infrastruktur dar. Deutschland hinkt bei der Verfügbarkeit von 4G hinterher. Im internationalen Vergleich zwischen 88 Nationen belegt Deutschland bei der Verfügbarkeit von 4G nur den 70. Platz. Dies legt unabhängig vom Ausbau einer 5G-Infrastruktur eine wesentliche Schwäche offen, auch wenn 5G nicht zwingend flächendeckend für die Einführung automatisierter Fahrfunktionen erforderlich ist.

Positiv sieht es in der Automobilindustrie selbst aus. So stammten 2017 in der Kategorie „autonomes Fahren“ mit 52% weltweit die meisten Patente aus Deutschland. Dabei wird insbesondere die wichtige Rolle der Zulieferer deutlich. Im internationalen Vergleich der Zulieferer stammen 76% der Patente von deutschen Zulieferern. Entsprechend sind deutsche Zulieferer bereits heute auf Kernkomponenten des automatisierten Fahrens spezialisiert. 2014 belief sich der Weltmarktanteil der deutschen Zulieferer bei

[72] Siehe Kapitel I.1: Unter vernetztem Fahren versteht man dabei zum einen die Kommunikation von Fahrzeugen untereinander, aber auch mit der Infrastruktur oder anderen Personen. Informationen, die untereinander ausgetauscht werden, beziehen sich beispielsweise auf den Verkehrsfluss, Unfälle, Baustellen oder die Wetterlage. Das automatisierte Fahren beschreibt Funktionen, die den Fahrer bei der Erfüllung seiner Fahraufgabe unterstützen. Siehe https://www.bmvi.de/DE/Themen/Digitales/Automatisiertes-und-vernetztes-Fahren/automatisiertes-und-vernetztes-fahren.html.

[73] Für eine detaillierte technische Beschreibung der SAE-Level siehe Teil I, Abb. 4.

Fahrassistenzsystemen sogar auf 53%. Darüber hinaus hatten drei der acht wichtigsten Zulieferer für ADAS ihren Hauptsitz in Deutschland.

Doch es treten im Bereich des vernetzten und automatisierten Fahrens vermehrt neue Wettbewerber in den Markt ein. Insbesondere im Bereich der Vehicle-to-Everything (V2X)-Kommunikation bringen diese neuen Konkurrenten oftmals mehr Kompetenzen im Umgang mit Big Data als etablierte Unternehmen mit.

Der Einsatz automatisierter Fahrfunktionen wird in Deutschland noch durch verschiedene Gesetze gehemmt

Wie bereits in Kapitel I.1 beschrieben stellen die gesetzlichen Rahmenbedingungen einen wichtigen Treiber für das vernetzte und automatisierte Fahren dar. Entscheidend sind an dieser Stelle etwa die Datenschutz-, Datensicherheits- und Datenzugangsgesetzgebung sowie die Anpassungen von Haftungs-, Zulassungs- und Verkehrsrecht.[74]

Mehrere wichtige legislative Punkte hinsichtlich des vernetzten und automatisierten Fahrens sind in Deutschland bereits geklärt. Dazu zählen etwa das Haftungsrecht, das Straßenverkehrsgesetz (StVG) oder die DSGVO. [75]

Bereits umgesetzt wurde ebenfalls eine neutrale Plattform, welche für die Übertragung der Verkehrsdaten zuständig ist. Der Mobilitätsdatenmarktplatz (MDM) der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) dient als nationaler Zugangspunkt für Verkehrsdaten und garantiert Transparenz sowie sichere technische Standards.[76] Dort werden Daten öffentlicher und privater Akteure gesammelt und anschließend Dritten zur Verfügung gestellt. Da die EU die Einführung einer solchen Plattform für jedes Land fordert, können zukünftig die beteiligten Unternehmen technisch sowie organisatorisch immens entlastet werden.

Nichtdestotrotz gibt es noch mehrere Punkte, die bisher nicht eindeutig geklärt wurden. Zum einen stellt sich die Frage der Serienzulassung von hoch- und vollautomatisierten Fahrzeugen, welche noch durch die ECE-Richtline R79 gehemmt wird.

Auch im Bereich der Datenökonomie sind einige Fragen ungeklärt. Beispielsweise gilt es Standards beim Austausch sowie beim Zugriff fahrzeugbezogener und städtebezogener infrastruktureller Daten zu schaffen (NPM, 2019). Bei der Datenverarbeitung, der Datensicherheit sowie der Cybersecurity sieht die Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (NPM) ebenfalls noch Handlungsbedarf für Politik und Unternehmen. Entsprechend werden Aspekte der Vereinfachung einer Zulassung neuer automatisierter Fahrfunktionen zu Testzwecken sowie der Datenökonomie in den Handlungsempfehlungen in Kapitel V.4 aufgegriffen.

---

[74] Bei manchen rechtlichen Aspekten lassen sich Vergleiche zwischen den deutschen Rahmenbedingungen und denen in anderen Ländern ziehen. Manche Aspekte befinden sich rechtlich in einem frühen Stadium und kein Land hat hier bisher eine Regelung getroffen. Diese werden nicht hier, sondern im Zusammenhang mit Perspektiven des vernetzten und automatisierten Fahrens diskutiert. Darüber hinaus erfolgt eine detaillierte Beschreibung der deutschen Gesetzgebung im Bereich vernetztes und automatisiertes Fahren in Kapitel I.1.

[75] Weitere Informationen zum aktuellen Stand legislativer Rahmenbedingungen sind in Abschnitt I.1.3 beschrieben.

[76] Siehe https://www.mdm-portal.de/der-mdm.html.

Beim Ausbau der digitalen Infrastruktur hinkt Deutschland deutlich hinterher

Der zukünftige Mobilfunkstandard (5G) ist zwar zur Anwendung automatisierter Fahrfunktionen nicht zwingend flächendeckend erforderlich. Jedoch würde er die Einführung dieser Funktionen erleichtern. Unabhängig von Bemühungen eine 5G-Infrastruktur bereitzustellen, mangelt es bereits jetzt an einer flächendeckenden Verfügbarkeit von Netzen auf Basis des 4G-Standards. 4G ist nur zu 66% der Zeit für Anwender in Deutschland verfügbar.[77] Dies bildet einen Engpass für die erwartbaren Datenmengen (ca. 4.000 GB pro Auto/Tag).[78] Deutschland nimmt im internationalen Vergleich der Verfügbarkeit von 4G im Ranking von OpenSignal nur den siebzigsten von insgesamt 88 Plätzen ein. Führend sind hier Südkorea, Japan und Norwegen. Neben dem Ausbau der digitalen Infrastruktur stellt die Gewährleistung von europaweiter Interoperabilität der Technologien des vernetzten und automatisierten Fahrens eine Herausforderung dar.

Eine Vielzahl an Testfeldern in Deutschland ist eine gute Basis zum Testen automatisierter Fahrzeuge in Deutschland

Beim Ausbau von Testfeldern zeigt die deutsche Politik eine hohe Investitionsbereitschaft. So gab es in Deutschland im Januar 2019 bereits 15 Testfelder.[79] Die Bundesregierung plant zudem in weitere Testfelder zu investieren (Bundesregierung, 2018). Geförderte inländische Testfelder und grenzüberschreitende Teststrecken schaffen somit ein umfassendes Testumfeld, das sowohl Autobahnen als auch Städte einbezieht.

Entsprechend der in Deutschland umgesetzten Änderungen für den Test und Betrieb von automatisierten Fahrzeugen landet Deutschland im Index „Automatisiertes Fahren“ von Roland Berger und fka hinter den USA auf dem zweiten Platz. Dieser Index berücksichtigt die Möglichkeiten zum Testen von automatisierten Fahrzeugen im Allgemeinen sowie die gesetzlichen Rahmenbedingungen zum Betrieb von automatisierten Fahrzeugen ab Level 3 in insgesamt neun Ländern (Roland Berger und fka, 2017b). Ein anderer Index, der KPMG „Autonomous Vehicles Readiness Index“, vergleicht sogar 25 Länder. Demnach ist Deutschland im Gesamtranking 2019 auf dem achten Platz. Hinsichtlich Regulierung der Zulassung und beim Testen automatisierter Fahrzeuge liegt Deutschland aber nur auf dem 14. Platz und damit im hinteren Mittelfeld (KPMG International, 2019).[80] Angeführt wird die KPMG-Rangliste in dieser Kategorie von Singapur, Finnland, den Niederlanden und Australien.

Bei der Zulassung im realen Testbetrieb sind andere Länder deutlich progressiver als Deutschland. So dürfen in Kalifornien bereits automatisierte Fahrzeuge im Straßenverkehr getestet werden, auch wenn kein Fahrer am Steuer sitzt.[81] In Michigan ist sogar der Betrieb von automatisierten Fahrzeugen ohne Testhintergrund gesetzlich geregelt und grundsätzlich zulässig. Aufgrund einer weniger liberalen Gesetzgebung liegt der Fokus der Testaktivitäten der meisten OEMs und Zulieferer nicht in Deutschland (Roland Berger und

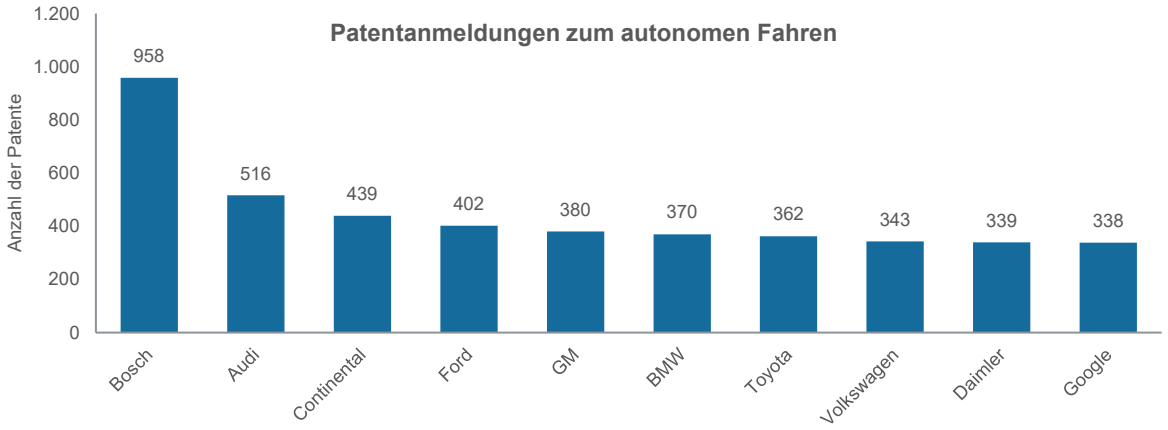
77 Siehe https://www.opensignal.com/reports/2018/02/state-of-lte.
78 Siehe https://newsroom.intel.com/editorials/krzanich-the-future-of-automated-driving/.
79 Stand Januar 2019. Siehe https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/Digitales/uebersicht-digitale-testfelder-avf-bmvi.pdf?__blob=publicationFile.
80 Siehe Grafik „Policy & legislation pillar: AV normalized indicator values by country” Kategorie AV regulations auf S. 45.
81 Siehe https://www.zeit.de/mobilitaet/2018-02/autonomes-fahren-kalifornien-zulassung-selbstfahrende-autos.

fka, 2017b).[82] Im Vereinigten Königreich ist das Testen derzeit (Stand Ende 2018) sogar auch ohne explizite Gesetzgebung möglich.

Deutsche Unternehmen sind durch F&E und durch enge Kooperationen innerhalb der Industrie im Bereich „Vernetztes und automatisiertes Fahren“ gut aufgestellt

Die F&E-Aktivitäten der deutschen Automobilindustrie zum vernetzten und automatisierten Fahren sind erfolgreich. 52% der Patente im Bereich des autonomen Fahrens entfielen 2017 auf deutsche Zulieferer und OEMs (siehe Abb. 24) (IW Köln, 2017a). Damit sind sie weltweit führend. Betrachtet man nur die Zulieferer, halten deutsche Zulieferer 76% aller weltweiten Patente zum autonomen Fahren. Bei den etablierten OEMs entfallen zum Vergleich fast 47% der weltweiten Patente auf deutsche Anbieter. Entsprechend sind deutsche Zulieferer bereits heute auf Kernkomponenten des automatisierten Fahrens spezialisiert.

Abb. 24: Patentanmeldungen zum autonomen Fahren, Januar 2010 bis Juli 2017



Quelle: Institut der deutschen Wirtschaft Köln, 2017a.

Sowohl der Index „Automatisiertes Fahren“ von Roland Berger und fka als auch der „Autonomous Vehicles Readiness Index“ von KPMG sehen die Firmen der deutschen Automobilindustrie in einer guten Ausgangslage. KPMG hebt insbesondere Kooperationen zwischen den Industriefirmen sowie das Innovationspotenzial hervor (KPMG International, 2019). Roland Berger und fka kommen zu dem Ergebnis, dass die deutschen OEMs eine Vorreiterrolle innehaben (Roland Berger und fka, 2017b). Die Bewertung der OEM-Aktivitäten gründet auf der Verfügbarkeit von automatisierten Fahrfunktionen in Serienfahrzeugen. Hier liegen die deutschen OEMs im internationalen Vergleich sogar auf dem ersten Platz, denn über fast alle Fahrzeugklassen hinweg sind solche Fahrfunktionen verfügbar. Danach folgen Schweden auf Rang zwei sowie die Fahrzeugmodelle der US-amerikanischen und japanischen OEMs auf Rang drei. Allerdings konzentrieren sich hier die Fahrfunktionen im Vergleich zu den deutschen OEMs eher auf die Oberklasse (USA) oder auf sehr spezifische Fahrfunktion (Japan). Die südkoreanischen OEMs haben jüngst die Verfügbarkeit automatisierter Fahrfunktionen deutlich erhöht und so stark aufgeholt (Roland Berger und fka, 2017b).

[82] In den USA ist im Gegensatz zu Europa keine Typenzulassung erforderlich. Eine "self-certification", die nur bestimmte Fahrzeugattribute wie beispielsweise ein Lenkrad erfordert, reicht aus. Auch für eine Level 4/5-Zertifizierung müssen nur bestimmte Kriterien erfüllt sein; der Zulassungsprozess ist dadurch vergleichsweise unkompliziert (Roland Berger und fka, 2017b).

Das vernetzte und automatisierte Fahren lockt eine Vielzahl branchenfremder Wettbewerber in den Markt und erhöht so den Wettbewerbsdruck auf deutsche Zulieferer und OEMs

Trotz der guten Ausgangslage haben insbesondere deutsche Zulieferer damit zu kämpfen, dass digitale Themen traditionell nicht zu ihren Kernkompetenzen zählen (Roland Berger und Lazard, 2017). Zudem treten im Bereich des vernetzten und automatisierten Fahrens vermehrt neue Wettbewerber in den Markt ein. Zum einen bieten große Technologiekonzerne Software für automatisiertes Fahren und Anwendungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette an. Insbesondere im Bereich der V2X-Kommunikation bringen diese neuen Wettbewerber oftmals mehr Kompetenzen im Umgang mit Big Data als etablierte Unternehmen mit (Commerzbank, 2017). Zum anderen können diese Unternehmen mit den sich kontinuierlich verkürzenden Entwicklungszyklen besser umgehen, da sie diese aus dem Bereich „Consumer Electronics“ bereits gewohnt sind (Iskander Business Partner, 2016).

Die branchenfremden Anbieter spezialisieren sich nicht nur auf Dienstleistungen und IT-basierte Komponenten. Vielmehr steigt auch der Wettbewerb im Hardware-Bereich, beispielsweise im Bereich der Lidar-Technologie. Laut einer Befragung von 2015 empfand die deutsche Automobilindustrie das „Leap Frogging“ als die größte Bedrohung (fortiss, 2016). Durch einen Technologiesprung überspringen die neuen Anbieter einzelne Stufen in einem Entwicklungsprozess und etablierte Unternehmen werden so eingeholt oder sogar überholt (Friedrich-Ebert-Stiftung, 2018).

Zum anderen etablieren sich Start-ups wie etwa Zoox, Cruise, Drive.ai, Nauto, Almotive, Pony.ai oder Ouster auf dem Markt.[83] Sie bringen eine innovative Mentalität und Expertise auf den Markt. Allerdings kommt eine Studie von Bitkom zu dem Ergebnis, dass mehr als jeder zweite Automobilhersteller bzw. -zulieferer (56%) die Zusammenarbeit mit Start-ups meidet.[84] Lediglich 7% beziehen Produkte oder Dienstleistungen von Start-ups und nur 2% haben bisher in Start-ups investiert.

3.2 Perspektiven

„Das Wichtigste in Kürze“: Perspektiven des vernetzten und automatisierten Fahrens

Grundsätzlich hat vernetztes und automatisiertes Fahren das Potenzial die Sicherheit im Verkehr zu steigern.[85] Die erhöhte Sicherheit kann sich wiederum positiv auf die Akzeptanz bei Konsumenten von automatisierten Fahrfunktionen auswirken. Da deutsche OEMs und Zulieferer weltweit für erstklassige Qualität und Zuverlässigkeit

83 Siehe https://angel.co/newsletters/top-self-driving-car-startups-022318.
84 Siehe https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Automobilbranche-Jeder-Zweite-macht-einen-Bogen-um-Startups.html.
85 Rund 90% aller Unfälle im Jahr 2014 waren auf personenbezogene Ursachen zurückzuführen. Unfälle also, die entstanden, weil der Fahrer z.B. abgelenkt oder unvorsichtig war (BMVI, 2015). Die EU schätzt, dass mithilfe neuer Sicherheitstechnologien bis 2038 über 140.000 schwere Verkehrsverletzungen vermieden werden können (siehe http://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20190410STO36615/verkehrsunfallstatistiken-in-der-eu-infografik). Unsicherheit herrscht jedoch noch darüber, in welchem Maße durch Automatisierungsfunktionen neue Unfallursachen (z.B. durch technische Mängel, Ausfälle oder missglückte Interaktionen im Mischverkehr) entstehen werden (Prognos, 2018).

stehen, könnte sich dies bei den neuen hochgradig sicherheitsrelevanten Technologien als Wettbewerbsvorteil erweisen. Gleichzeitig wird durch eine breite Akzeptanz des vernetzten und automatisierten Fahrens seitens der Konsumenten eine Vielzahl neuer Geschäftsmodelle durch die im Fahrzeug anfallenden Daten ermöglicht. Die Europäische Kommission geht beispielsweise davon aus, dass allein das vernetzte Fahrzeug durch Hard- und Softwarekomponenten bis 2021 in Europa ein jährliches Umsatzpotenzial von bis zu 122 Mrd. Euro aufweist. Zudem gehen Schätzungen davon aus, dass Automobilhersteller 2050 bereits die Hälfte ihres Umsatzes durch datenbasierte Dienstleistungen erzielen werden.

Jedoch sorgt das hohe Umsatzpotenzial auch für Risiken. Unter anderem werden die Daten für Hacker interessant. Gleichzeitig besteht die Gefahr, dass Unternehmen einen Wettbewerbsnachteil erfahren, falls ihnen ein entsprechender Datenzugang erschwert wird. Ein potenzielles Hemmnis stellt darüber hinaus die Regulierung neuer Fahrfunktionen dar. Sollte die Regierung neue Funktionen nicht rechtzeitig erlauben, besteht die Gefahr, dass Unternehmen einen wichtigen Innovationsanreiz verlieren bzw. ihre F&E-Tätigkeiten ins Ausland verlagern.

Die bisher geringe Akzeptanz vernetzter und automatisierter Fahrfunktionen in Deutschland kann vor allem durch eine höhere Sicherheit im Straßenverkehr gesteigert werden

Konsumenten scheinen bereits heute eine gewisse Zahlungsbereitschaft für vernetzte und automatisierte Fahrfunktionen zu haben. Laut einer Befragung aus dem Jahr 2016 hatten 86% der Befragten Interesse an einem intelligenten Wartungssystem oder einem Früherkennungssystem von Gefahren (Institut für Automobilwirtschaft, 2017). Einer Befragung des TÜV von 2018 in Deutschland zufolge wünschen sich die meisten autonom agierende Systeme beim Ein- oder Ausparken (65%) und im Stau (54%). Insbesondere das höhere Sicherheitsempfinden für Insassen und andere Verkehrsteilnehmer geben 60% der Befragten als wichtigstes Argument für automatisierte Pkw an, während der geringere Verbrauch der Fahrzeuge weniger häufig genannt wird (43%) (TÜV, 2018).

Bei einem potenziellen Kauf eines fahrerlosen Fahrzeugs bevorzugen die Befragten deutsche OEMs. 24% der Befragten würden ein fahrerloses Fahrzeug eines klassischen Herstellers aus Deutschland (Volkswagen Konzern, Daimler Konzern und BMW Group) kaufen (TÜV, 2018). 20% würden hingegen einen neuen Automobilhersteller wie Tesla bevorzugen und nur 2% würden einen Pkw eines Digital- und Internetunternehmens wie Google oder Apple wählen. 34% sagten dagegen, dass sie auf keinen Fall ein fahrerloses Fahrzeug kaufen würden.

Damit im Einklang: Deutschland belegt in einem internationalen Vergleich aus dem Jahr 2018 unter 25 Ländern bezüglich der Akzeptanz vernetzter und automatisierter Mobilität nur den 13. Platz (KPMG International, 2019). Auch gaben Personen, die sich 2018 einen Neuwagen gekauft haben, an, dass „Connectivity“ als Kriterium bei der Kaufentscheidung am wenigsten relevant war (DAT, 2019).

Neue Geschäftsmodelle auf Basis der durch das vernetzte und automatisierte Fahren entstehenden Daten bieten zukünftig ein großes Umsatzpotenzial

Sowohl durch die Weiterentwicklung von Informations- und Kommunikationssystemen als auch von Sicherheits- und Fahrerassistenzsystemen ergibt sich eine Vielzahl von Chancen

für die Automobilindustrie. Besonders der Zugang zu großen Datenmengen („Big Data“), die unter anderem durch vernetztes Fahren entstehen, bietet die Möglichkeit neuer Geschäftsmodelle und somit neuer Umsatz- und Wertschöpfungsquellen. Um das gesamte Potenzial dieser Daten auszunutzen, bietet sich die Schaffung einer Datenökonomie an. Diese könnte zusätzlich die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle vorantreiben. In Abschnitt IV.4.4 der Handlungsempfehlungen wird die Förderung einer Datenökonomie daher entsprechend adressiert.

Durch das vernetzte Fahrzeug eröffnen sich für die gesamte Branche neue Wege des Kundenzugangs und eine Ausweitung des Kundenportfolios (fortiss, 2016). Beispielsweise können die Firmen des Aftermarkets anhand von Big Data Algorithmen das Kundenverhalten analysieren und das Angebot besser nach den Bedürfnissen der Kunden ausrichten (McKinsey & Company, 2018a). So können Kunden zukünftig im gesamten Lebenszyklus mit individuellen fahrzeugabhängigen und -unabhängigen Produktfeatures und Dienstleistungen begleitet werden (Iskander Business Partner, 2016). Entsprechend kann die effiziente Nutzung der aus dem Fahrverhalten oder der Infotainment-Nutzung gewonnenen Daten zu einer erhöhten Kundenbindung verhelfen (Institut für Automobilwirtschaft, 2017).

Dadurch könnten vernetzte und automatisierte Fahrzeuge laut Schätzungen in ihrer Lebenszeit zehnmal mehr Umsatz generieren als ein herkömmliches Auto (Friedrich-Ebert-Stiftung, 2018; KPMG Automotive, 2015). Die Europäische Kommission geht beispielsweise davon aus, dass allein das vernetzte Fahrzeug durch Hard- und Softwarekomponenten bis 2021 in Europa ein jährliches Umsatzpotenzial von bis zu 122 Mrd. Euro aufweist (Europäische Kommission, 2017b). Der Anteil des Umsatzes durch datenbezogene Dienstleistungen am Gesamtumsatz der Automobilindustrie kann somit deutlich anwachsen. Schätzungen gehen sogar davon aus, dass Automobilhersteller 2050 bereits die Hälfte ihres Umsatzes durch datenbasierte Dienstleistungen erzielen werden (Seiberth und Gründinger, 2018). Beispiele für solche Dienstleistungen sind etwa Telematikdienste über V2X wie Maut-Abbuchungssysteme oder Apps, die den Nutzer während der Fahrt mit Informationen und Entertainmentangeboten versorgen.

Die Daten sowie die damit verbundenen Systeme müssen vor Hackerangriffen geschützt werden, da sonst die Sicherheit der Kunden gefährdet werden könnte

Ein erhöhtes Umsatzpotenzial durch vernetztes und automatisiertes Fahren wird auch den Interessentenkreis für solche Daten erweitern. Eine Herausforderung besteht darin, dass die Daten vor Hackerangriffen von außen geschützt werden müssen. Gleichzeitig müssen die Daten aber auch auf sicherem Weg an Dritte, wie z.B. öffentliche Stellen, Versicherungen oder die Industrie, weitergegeben werden können. Betroffene Firmen und Verbände betonen dabei, dass für alle Akteure, welche die Daten nutzen, einheitliche Bedingungen vorliegen sollten. Nur so sei ein fairer Wettbewerb um die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle möglich.[86] Bisher gibt es jedoch keinen fest definierten Standard hinsichtlich der Weitergabe von Daten, die durch das vernetzte und automatisierte Fahren anfallen.

Bei automatisierten Fahrzeugen ergeben sich noch weitere Sicherheitsrisiken. Hacker dürfen nicht nur keinen Zugriff auf die Fahrzeugdaten erhalten. Sie dürfen ebenfalls nicht

[86] Siehe https://www.automobil-produktion.de/hersteller/wirtschaft/allianz-chef-fordert-fairen-zugang-zu-fahrzeugdaten-123.html, https://www.vda.de/de/themen/innovation-und-technik/datensicherheit/was-ist.html.

auf die sicherheitsrelevanten Systeme oder Daten Einfluss nehmen können (BMWi, 2016b). Denn wie alle digitalen Daten sind auch die neuen, hochentwickelten elektronischen Komponenten und Systeme des vernetzten und automatisierten Fahrens Ziel für Cyberattacken. Neben Hardware-Attacken werden somit auch Attacken über Sensoren, drahtlose Kommunikationsstandards, wie z.B. Bluetooth oder Wifi, und das Internet möglich. Somit stellt der umfassende Austausch von Daten im Mobilitätssystem neue Anforderungen an die Sicherheit von Fahrzeugen und Infrastruktur sowie Datenschutz und Cybersicherheit.

Eine zu strenge Regulierung kann die Innovationsbereitschaft der Automobilunternehmen hemmen

Die Einführung des vernetzten und automatisierten Fahrens stellt den Gesetzgeber vor eine Vielzahl von Herausforderungen für die Regulierung. Klärungsbedarf herrscht besonders beim Thema Datenzugang sowie der Zulassung der automatisierten Fahrzeuge. Offene Fragen in der Datenschutzgesetzgebung oder im Zulassungsrecht stellen eine große Unsicherheit für die Unternehmen dar. Sie könnten nicht nur ein potenzielles Hemmnis zur Umsetzung neuer Geschäftsmodelle darstellen, sondern auch wichtige F&E-Innovation am Standort Deutschland verhindern. Eine zu langsame Gesetzgebung, die einen technischen Fortschritt behindert, wird am Beispiel des Audi A8 deutlich. Dieser besitzt in der Theorie zwar einen Staupiloten mit automatisierten Fahrfunktionen, aufgrund der ECE-Regelung ist diese Fahrfunktion aber noch nicht auf deutschen Straßen erlaubt. Hinkt die Gesetzgebung somit der technologischen Entwicklung hinterher, kann dies zu einem Hemmnis für Innovationstätigkeiten werden – oder die betroffenen Unternehmen verlagern ihre F&E-Tätigkeiten ins Ausland. Um dies zu vermeiden, wird ein gemeinsames Vorgehen zwischen Politik und Industrie in den Handlungsempfehlungen in Abschnitt V.4.3 aufgegriffen.

4. Neue Mobilitätskonzepte

Die Digitalisierung sowie das automatisierte Fahren führen nicht nur zu veränderten Technologieausstattungen der Fahrzeuge und damit zu veränderten Wertschöpfungsumfängen. Sie ermöglichen darüber hinaus die Entwicklung völlig neuer Geschäftsmodelle. Die Entstehung neuer Mobilitätskonzepte – im Wesentlichen Shared Mobility-Konzepte – ist inzwischen ein unverkennbarer Trend im Markt. Aber auch erste Mobility-as-a-Service-Angebote (MaaS) lassen sich bereits im Markt finden. Im urbanen Raum werden diese durch das Bestreben, die Lebensqualität durch einen erhöhten Schutz vor Lärm und Abgasen zu verbessern, vorangetrieben. Im ländlichen Raum ist es der Wunsch der Gemeinden, die Attraktivität als Wohnort durch ein besseres Mobilitätsangebot zu erhöhen (Acatech, 2017).[87]

Im folgenden Kapitel wird zunächst die Ausgangslage der deutschen Automobilwirtschaft im Kontext neuer Mobilitätskonzepte betrachtet, bevor auf Perspektiven neuer Mobilitätskonzepte für die Automobilwirtschaft eingegangen wird.

[87] Die weitere Betrachtung neuer Mobilitätskonzepte erfolgt in Kapitel I.3.

4.1 Status Quo

„Das Wichtigste in Kürze“: Ausgangslage neue Mobilitätskonzepte

Neue Mobilitätskonzepte erfreuen sich zunehmender Beliebtheit. In Deutschland ist z.B. die Zahl der Nutzer von Carsharing in den letzten Jahren stetig angestiegen. 2025 könnten in der EU bereits 15% aller verkauften Fahrzeuge im Rahmen neuern Mobilitätskonzepte genutzt werden.

Deutsche OEMs investieren seit Jahren in die Planung und Umsetzung neuer Mobilitätskonzepte. Im internationalen Vergleich verschiedener Carsharing-Dienste sind Daimler und BMW mit ihren Angeboten führend. Aber auch Start-ups treten z.B. mit Ridepooling-Angeboten in den Markt ein. Zusätzlich fördert die Bundesregierung bereits Projekte, um das Verständnis und die Akzeptanz neuer Mobilitätskonzepte zu erhöhen.

Nichtdestotrotz liegt der Anteil von Carsharing-Fahrzeugen am Fahrzeugbestand in Deutschland 2017/18 bei unter 1% und somit noch unter dem weltweiten Durchschnitt. Ein Hauptgrund dafür können regulatorische Hemmnisse sein. Als Hindernisse werden etwa die Rückkehrpflicht für Mietwagen mit Fahrer und das Verbot des Ridepooling wahrgenommen.

Neue Geschäftsmodelle werden nicht nur in Deutschland, sondern auch weltweit positiv angenommen

Die fortschreitende Digitalisierung des Verkehrssektors ermöglicht bereits heute eine Vielzahl von neuen Mobilitätskonzepten, die im Sinne des Sharing-Gedankens ausgestaltet sind. Viele dieser Konzepte erfreuen sich zunehmender Beliebtheit. So ist in Deutschland die Zahl der Nutzer von Carsharing in den letzten Jahren kontinuierlich gewachsen, zwischen 2015 und 2019 um jährlich 24%.[88] Die Nutzungsintensität von Carsharing scheint tendenziell mit der Dauer der Mitgliedschaft zuzunehmen (Institut für Automobilwirtschaft, 2017), was für eine langfristige Kundenbindung spricht. Besonders stark ist Free-Floating Carsharing[89] gewachsen. Dies deutet darauf hin, dass dieses Konzept den Flexibilitätsbedürfnissen der Nutzer besser entgegenkommt als das stationsbasierte Carsharing (Institut für Automobilwirtschaft, 2017).[90]

Viele Menschen möchten ihre Kosten für Mobilität senken und daher nur noch für die Zeit zahlen, in der sie eine Form der Mobilität auch nutzen (fortiss, 2016). Auch wird es für jüngere Menschen heutzutage immer unbedeutender, ein eigenes Fahrzeug zu besitzen (BNP Paribas und CAM, 2018). Dementsprechend ist der Anteil der Haushalte, die kein Auto besitzen, seit 2008 gestiegen (BMVI, 2018a).

Der Trend der steigenden Nutzerbereitschaft zeigt sich aber nicht nur in Deutschland: Etwa 50% der Autobesitzer in Industrieländern zeigen sich zur gemeinschaftlichen Nutzung von Fahrzeugen bereit (Roland Berger, 2014). Insbesondere Carsharing erfährt global stetig

[88] Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten des Bundesverband Carsharing (Datenblatt CarSharing in Deutschland). Daten jeweils zum 1.1. des jeweiligen Jahres.
[89] Bei „Free Floating Carsharing“-Konzepten kann der Nutzer seine Miete an jedem Punkt innerhalb eines definierten Gebiets beenden, z.B. auf einem öffentlichen Parkplatz.
[90] Die Anzahl der angemeldeten Nutzer pro Fahrzeug ist im Free-Floating mit 223 Kunden pro Fahrzeug deutlich höher als im stationsbasierten Carsharing mit 58 Kunden.

steigende Nutzerzahlen. Laut Prognosen werden in der EU bis 2025 voraussichtlich 15% der verkauften Fahrzeuge im Bereich der neuen Mobilität genutzt, in China sogar mehr als ein Drittel (Roland Berger und Lazard, 2017).

Deutsche Unternehmen testen bereits erfolgreich neue Mobilitätskonzepte, im internationalen Vergleich von Carsharing-Fahrzeugen liegt Deutschland jedoch hinten

Um das Verständnis möglicher neuer Mobilitätskonzepte zu erhöhen, fördert die Bundesregierung bereits eine Vielzahl von Projekten. Als Beispiel sei an dieser Stelle das Projekt OTS 1.0 zu nennen, in welchem der Nutzen automatisierter Fahrzeuge im einfachen Linienverkehr untersucht wurde.[91] Dabei wurden zukünftige Ansätze für Geschäftsmodelle neuer Mobilitätskonzepte unter Berücksichtigung des Rechtsrahmens und der gesellschaftlichen Akzeptanz untersucht.

Dennoch befindet sich Deutschland bei der Kooperation von Ridepooling-Anbietern mit Städten und Gemeinden noch am Anfang. Bislang gibt es nur sehr wenige konkrete Pilotprojekte, in denen private Ridesharing-Angebote in den ÖPNV integriert werden. Ein Beispiel ist das Berliner Start-up Door2Door in Kooperation mit der Kreisstadt Freyung in Bayern und in Duisburg (Roland Berger, 2017b).[92] Weitere Pilotprojekte sind in Tab. 2 dargestellt.

Tab. 2: Pilotprojekte zur Integration von automatisierten Fahrzeugen und Ridepooling in das Angebot des ÖPNV

Ort	Beschreibung	Zuständigkeit	Laufzeit
Automatisierte Fahrzeuge im Testbetrieb des ÖPNV			
Lahr (Baden-Württemberg)	Automatisiert fahrender Bus im Liniendienst (mit Sicherheitsbegleiter)	SWEG	Testbetrieb im Sommer 2018 (13. Juli bis 30. September)
Kurort Bad Birnbach (Bayern)	Automatisiert fahrender Bus im Liniendienst (mit Sicherheitsbegleiter)	ioki	Seit Oktober 2017
Keitum (Sylt)	Automatisiert fahrender Bus im Liniendienst (mit Sicherheitsbegleiter)	SVG	Seit März 2019 in Betrieb
Private On-Demand Anbieter			
Berlin, München, Frankfurt und Düsseldorf	Um von zu Hause zu einer Flixbus-Haltestelle – oder umgekehrt – zu kommen, kann man sich über die Uber-App sogenannte virtuelle Abholstationen anzeigen lassen.	Uber und Flixbus	Seit März 2019
Hamburg	Kunden werden an virtuellen Haltestellen oder zuhause abgeholt und zu einer der Haltestellen der Verkehrsbetriebe Hamburg-Holstein (HVV) befördert.	ioki, HVV	Seit Juli 2018

[91] Gefördert durch BMBU. Projektpartner: Siemens AG, IKEM-Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität – Recht, Ökonomie und Politik e.V., IAV GmbH, TU München. Quelle: https://www.erneuerbar-mobil.de/projekte/ots-10.

[92] door2door ist eine multimodale Mobilitätsplattform für digitalisierten Bedarfsverkehr. Siehe https://www.door2door.io/de/index.html.

Öffentliche Ridepooling Anbieter			
Stuttgart	**SSB Flex** Über App buchbares On-Demand Shuttle als Ergänzung zum ÖPNV in Stuttgart. Kosten fallen je nach Strecke und Personen an, wobei ÖPNV Fahrkarteninhaber Rabatte erhalten.	Stuttgarter Straßenbahnen AG	Juni 2018 bis Ende 2019
Berlin	On-Demand Ridepooling Angebot als Zusatz zum bestehenden ÖPNV in ausgewählten Stadtteilen. Buchung über App, Zu- und Ausstieg an 5000 Haltepunkten, zunächst 50 Kleinbusse im Einsatz.	BVG	Seit September 2019
Pilotprojekte im Ausland			
London	Ridepooling Angebot als Zusatz zum bestehenden ÖPNV im Stadtteil Ealing. Buchung über App, flexible Haltepunkte.	RATPDev, Moia	Ab Herbst 2019
Seestadt Aspern in Wien (Österreich) **Pörtschach (Österreich)** **Paris (Frankreich)**	Automatisiert fahrende Busse im Liniendienst (mit Sicherheitsbegleitern)	diverse	Seit Juli 2017 (Paris)
Kooperation Uber und Bangalore Metro (Indien)	An einigen der Haltestellen der Metro in Bangalore können in kleinen Kiosken Uber-Fahrten gebucht werden.	Bangalore Metro	Seit März 2017 (für 3 Jahre)
Summit (New Jersey)	Lyft Fahrten zum Bahnhof werden durch die Stadtverwaltung subventioniert.	Stadt Summit	Seit 2016

Quelle: IPE. Eigene Darstellung.

In der Planung und Umsetzung neuer Mobilitätskonzepte ist die deutsche Automobilindustrie seit Jahren tätig. VW investierte etwa in den israelischen Fahrdienstleister Gett und gründete das Tochterunternehmen MOIA. Daimler investierte in myTaxi (seit Mitte 2019 FREE NOW), gründete Car2Go und positionierte sich mit der App moovel im Bereich der intermodalen Mobilität und im Bereich MaaS. Demnach sind die deutschen OEMs auf dem deutschen Markt in einer starken Ausgangsposition, da sie bereits in mehreren Ländern erfolgreich eigene App-basierte Angebote für Mobilitätsdienstleistungen auf den Markt gebracht haben. Im internationalen Vergleich verschiedener Carsharing-Dienste belegen Daimler und BMW mit ihren Services Car2go und DriveNow sogar den ersten und dritten Platz (Center of Automotive Management und Cisco Systems, 2018).[93] Den zweiten Platz belegt das US-amerikanische Unternehmen Zipcar.

[93] 2019 haben BMW und Daimler ihre Carsharing-Angebote zu dem Joint Venture Share Now zusammengeschlossen.

Dennoch ist die Anzahl der Carsharing-Fahrzeuge in Deutschland noch gering. Vergleicht man den Anteil von Carsharing-Fahrzeugen am Fahrzeugbestand so liegt Deutschland 2017/18 mit unter 1% unter dem weltweiten Durchschnitt. Führend sind hingegen China, Südkorea und Singapur (Roland Berger, 2018b).

Die Entwicklung neuer Mobilitätskonzepte ist in Deutschland aktuell aufgrund der Rahmenbedingungen noch eingeschränkt

Regulatorische Hürden behindern die Entfaltung des vollen Potenzials neuer Mobilitätsangebote, so der Digitalverband Bitkom (Bitkom, 2017). Dazu gehören die Rückkehrpflicht für Mietwagen mit Fahrer[94], das Verbot des Ridepoolings dieser Fahrzeuge, eine staatliche Mengensteuerung über Konzessionen, Preisbindung bei Taxis und die strikte Haltestellenbedienung im Linienverkehr. Insbesondere dem Ridepooling sind in Deutschland enge regulatorische Grenzen gesetzt. Ridepooling-Anbieter, die darauf setzen, dass sich verschiedene Nutzer ein Fahrzeug auf Abruf teilen, müssen vor Inbetriebnahme eine Genehmigung nach §2 Abs.6 bzw. 7 PBefG, der sogenannten Experimentierklausel, erwirken. Diese wird räumlich begrenzt erteilt.[95] Die Geschäftsmodelle dürfen dabei den öffentlichen Verkehrsinteressen nicht entgegenstehen. Das heißt, Beförderungsentgelte dürfen lediglich zur Deckung der Betriebskosten erhoben werden (Roland Berger, 2017b).

4.2 Perspektiven

„Das Wichtigste in Kürze“: Perspektiven neuer Mobilitätskonzepte

Neue Mobilitätskonzepte können langfristig das Mobilitätsangebot flexibilisieren und auch die Mobilitätsnachfrage in Situationen befriedigen, in denen der ÖPNV nicht wirtschaftlich zu bedienen ist. Zukünftig kann sich der Anteil dieser neuen Geschäftsmodelle an der gesamtem automobilen Wertschöpfung deutlich erhöhen.

Regulatorische Hindernisse könnten jedoch dazu führen, dass sich deutsche Unternehmen entscheiden die neuen Mobilitätsangebote zuerst in anderen Märkten zu testen, was zu einer Verschiebung der Investitionstätigkeiten und Wertschöpfung führen würde.

Es ist a priori unklar, wie stark sich neue Mobilitätskonzepte auf die Neuzulassungen und somit auf die Produktion von Neufahrzeugen auswirken werden. Ein Pkw in der Flotte eines Mobilitätsdienstleisters kann mehrere individuell besessene Pkw ersetzen. Dadurch verringert sich der notwendige Fahrzeugbestand und entsprechend würde der Fahrzeugabsatz fallen. Neue Mobilitätsdienste können aber auch die gesamte Mobilitätsnachfrage erhöhen. Dies würde wiederum die Nutzungsintensität der Fahrzeuge erhöhen und somit dem sinkenden Fahrzeugabsatz entgegenwirken.

Eine Gefahr stellen neue Mobilitätskonzepte auch für den Aftermarket dar. Dort ist zum einen der voraussichtlich schrumpfende Fahrzeugbestand ein Risiko. Zum anderen

[94] Die Rückkehrpflicht für Mietwagen mit Fahrer wurde zur Abgrenzung des Taxigewerbes eingeführt. Laut dieser müssen Fahrer und Wagen nach Abschluss einer Personenbeförderung wieder zum Betriebssitz zurückkehren. Erst dort dürfen sie einen neuen Auftrag annehmen (siehe § 49 Abs. 4 Personenbeförderungsgesetz (PBefG)).

[95] Siehe https://www.gesetze-im-internet.de/pbefg/__2.html (Stand Mai 2019).

besteht für freie Werkstätten die Gefahr, dass der gesamte Aftermarket durch neue Mobilitätskonzepte der OEMs, wie z.B. Auto-Abos, dominiert wird (Car-as-a-Service).

Neben generellen Absatzverlusten besteht für OEMs die Gefahr, dass sie die direkte Kundenschnittstelle an innovative Mobilitätsdienstleister verlieren. Es könnte infolgedessen passieren, dass die Fahrzeughersteller zu reinen „Zulieferern" der Mobilitätsdienstleister werden.

Neue Mobilitätskonzepte können langfristig das Mobilitätsangebot flexibilisieren und den ÖPNV sinnvoll ergänzen

Neue Mobilitätskonzepte wie Ridepooling bieten den Vorteil, dass sie zukünftig – gegeben eines entsprechenden regulatorischen Rahmens – ein flexibles Mobilitätsangebot gewährleisten und somit eine sinnvolle Ergänzung zum ÖPNV darstellen können.[96] Der regulatorische Rahmen muss somit gewähren, dass der ÖPNV geschützt und nicht durch neue Angebot verdrängt wird. Automatisierte Shuttles können zukünftig auch die Mobilitätsnachfrage in Situationen befriedigen, in denen der ÖPNV nicht wirtschaftlich zu bedienen ist. Insbesondere in ländlichen Gegenden ist das Potenzial groß, weil dort neue Mobilitätskonzepte das Angebot des ÖPNV grundlegend verbessern und zu Einsparungen führen könnten. 25% des ÖPNV sind in Deutschland subventioniert, da sich die Anbindung dort sonst nicht lohnen würden (Roland Berger, 2018c). Zukünftig könnte sich der Anteil dieser neuen Geschäftsmodelle an der gesamtem automobilen Wertschöpfung deutlich erhöhen.

Regulatorische Hindernisse könnten zu einer Verlagerung der Investitionstätigkeiten ins Ausland führen

Die erfolgreiche Umsetzung von neuen Mobilitätskonzepten hängt jedoch im Besonderen an gesetzlichen Rahmenbedingungen. Die bisher zögerliche Öffnung des Marktes könnte deutsche Unternehmen dazu bewegen, die neuen Mobilitätsangebote zuerst in anderen Märkten zu testen. Dies würde zu einer Verschiebung der Investitionstätigkeiten und Wertschöpfung führen. So hat Ford bereits angekündigt, seinen automatisierten Fahrdienst ab 2020 in London zu testen.[97] Und auch ZF wird einen autonomen Bus zunächst in Brüssel testen.[98]

Die Auswirkungen neuer Mobilitätskonzepte auf das Konsumentenverhalten sowie die Umsätze in der Automobilindustrie sind derzeit nur schwer abschätzbar

Wie stark sich neue Mobilitätsdienstleistungen auf Neuzulassungen und damit auf die Umsätze im klassischen Absatzmarkt auswirken, ist umstritten. Auf der einen Seite kann ein gemeinschaftlich genutztes Fahrzeug in der Flotte eines Mobilitätsdienstleisters die Mobilitätsleistung von mehreren individuell besessenen Fahrzeugen abdecken. Dadurch verringert sich der notwendige Fahrzeugbestand und entsprechend würde der Fahrzeugabsatz fallen. Auf der anderen Seite ist es aber auch möglich, dass sich die Zahl der gefahrenen Kilometer durch neue Mobilitätsdienste erhöht und somit einem sinkenden

96 Siehe dazu auch Abschnitt I.1.
97 Siehe https://www.theguardian.com/technology/2019/oct/03/driverless-cars-in-new-london-trial-in-complex-urban-environment
98 Siehe https://www.automobil-produktion.de/zulieferer/zf-chef-scheider-robo-taxis-fruehestens-2030-118.html.

Fahrzeugabsatz entgegenwirkt (Schaller, 2018). Auch werden autonome Shuttles eine geringere Laufzeit im Markt haben als privat genutzte Pkw. Um die genauen Auswirkungen neuer Geschäftsmodelle zu untersuchen und anschließend das gesamte Potenzial abschöpfen zu können, werden diese in den Handlungsempfehlungen in Abschnitt V.4.4 aufgegriffen.

Auch die Wirkung der neuen Mobilitätsdienstleistungen auf die Umsätze im Aftermarket ist a priori unklar. Zum einen könnte ein neues Geschäftsfeld die Entwicklung von „regionalen Hightech-Hubs“ sein, die neben der Funktion als klassische Werkstatt auch als Sharing- und Flotten-Hubs genutzt werden können (Horváth & Partners, 2017). Zum anderen stellt der voraussichtlich schrumpfende Fahrzeugbestand für den Aftermarket ein Risiko dar, da Aftermarket-Umsätze gefährdet sein könnten (Institut für Automobilwirtschaft, 2014). Zudem besteht für freie Werkstätten die Gefahr, dass der gesamte Aftermarket durch neue Mobilitätskonzepte der OEMs, wie z.B. Auto-Abos, dominiert wird (Car-as-a-Service).

Wenn es den OEMs nicht gelingt, sich als Mobilitätsdienstleister zu etablieren, besteht für sie die Gefahr, zu reinen Zulieferern der Mobilitätsdienstleister zu werden

Für OEMs bietet sich die Möglichkeit durch Carsharing derzeitige Nicht-Kunden zu erreichen. Diese haben die Möglichkeit, Fahrzeuge zu „erleben“ ohne sie zu kaufen (Roland Berger und IG Metall, 2017). Doch auch im Bereich neuer Mobilitätskonzepte, wie bereits beim vernetzten und automatisierten Fahren, besteht insbesondere die Gefahr, dass deutsche OEMs die direkte Kundenschnittstelle und die Datenhoheit an innovative Mobilitätsdienstleister verlieren, welche die Kundenwünsche besser erfüllen können (Roland Berger und IG Metall Saarbrücken; Iskander Business Partner, 2016). Mit der Entwicklung neuer Mobilitätskonzepte betreten sie Neuland. Sie stehen somit vor der Herausforderung, ihr Geschäftsmodell komplett zu ändern. OEMs haben bisher ein B2C-Geschäft betreiben. Um weiterhin den Endkunden direkt anzusprechen, müssen sie zukünftig als Mobilitätsdienstleistungsunternehmen agieren. Ansonsten besteht die Gefahr, dass sie zu reinen „Zulieferern“ der Mobilitätsdienstleister (B2B) werden und somit Wertschöpfungspotenziale verlieren (Friedrich-Ebert-Stiftung, 2018).

5. Digitalisierung von Produktion und Arbeit „Industrie 4.0“

Die Digitalisierung von Produktion und Arbeit revolutioniert das Arbeitsumfeld und die Arbeitstätigkeit. Der Begriff *Industrie 4.0* schlägt dabei die Brücke von neuartigen, vernetzten Produkten zum grundlegend veränderten, vernetzten Produktionsprozess. Der große Vorteil digitaler Technologien besteht darin, dass Prozesse automatisiert werden und dadurch die Produktivität der Unternehmen gesteigert wird. Zusätzlich wird der Produktionsprozess deutlich flexibler gestaltet. Davon profitieren insbesondere auch die Kunden, da so trotz Massenfertigung Produkte speziell nach Kundenwunsch individualisiert hergestellt werden können. Auch in der Automobilbranche verändern zahlreiche Anwendungen bereits heute die Produktion und ermöglichen signifikante Effizienzsteigerungen (Lünendonk und Hossenfelder, 2017). Kasten 6 gibt Beispiele aus der Praxis in der deutschen Automobilindustrie.

Kasten 6: Exkurs: Praxisbeispiele zur Industrie 4.0

Exkurs: Praxisbeispiele zur Industrie 4.0

Die Automobilindustrie hat inzwischen **zahlreiche Pilot- und Forschungsprojekte** in den Bereichen Künstliche Intelligenz, RFID-Tracking (Teileortung durch Funkwellen) und Condition-Monitoring (Zustandsüberwachung) vorzuweisen. Ziel ist es, die Prozesse zukünftig standardmäßig in der Produktion einzusetzen. Daimler nutzt beispielsweise bereits ein einheitliches Produktionsinformationssystem, das bei der Produktion des Antriebsstrangs in allen Werken die digitale Überwachung und Datenauswertung von über 22.000 Maschinen erlaubt. Im VW Konzern sind einzelne Bereiche, wie beispielsweise Kfz-Produktionsstraßen, bereits häufig vollständig vernetzt und in zentrale Steuerungssysteme integriert. RFID, Condition-Monitoring und Roboter des VW Konzerns werden bereits im Serieneinsatz genutzt. Auch 3D-Drucker werden dort in der Fertigung von Prototypen, individuellen Betriebsmitteln und kleinen Stückzahlen standardmäßig eingesetzt.[99]

Daneben gibt es bei den **Zulieferern** ebenfalls Beispiele für die erfolgreiche Einführung von Industrie 4.0-Konzepten. Bosch versieht bereits seine Einspritzdüsen mit RFID-Funketiketten, um die Produktion und den Transport genau zu verfolgen. Somit können nicht nur OEMs sehen, wann die Teile geliefert werden. Vielmehr erhalten auch Tier-2 Zulieferer Informationen darüber, wann sie neue Komponenten nachliefern müssen. Die Produktivität konnte laut Bosch mit diesem Verfahren um 10% gesteigert und die Lagerhaltung in der Produktion um ein Drittel gesenkt werden.[100] Des Weiteren verwendet Bosch bereits Roboter in der Qualitätskontrolle. Nachdem die Künstliche Intelligenz mithilfe von Trainingsdatensätzen erlernt hat, wann die Materialoberfläche eines Fertigungsteils nicht den Vorgaben entspricht, kann der Roboter die Vorgaben übernehmen und die Teile selbständig aussortieren.[101]

Auch der **Aftermarket** kann von der Digitalisierung profitieren. Durch die Anbindung an Ersatzteildatenbanken und -börsen können Werkstätten Teile schneller bestellen und durch effizientere Verfahren in der Logistik auch zügiger erhalten. Vor allem könnten aber Sicherheitsrisiken reduziert werden. Die RFID-Technologie kann Werkstätten helfen, gefälschte Ersatzteile zu erkennen, was wiederum den Kunden vor Unfällen aufgrund mangelnder Qualität bewahren würde. Autoteile von SAF Holland werden beispielsweise bereits mit einem QR-Code versehen, sodass bei einer Reparatur nur der Code gescannt werden muss. Dieser führt anschließend per App direkt zu einem Onlineportal, auf dem das benötigte Teil direkt bestellt werden kann. Dies stellt nicht nur sicher, dass die richtigen Teile zeitnah geliefert werden, sondern vereinfacht auch die Planung für Werkstätten.[102] 3D-Druck wird den Aftermarket ebenfalls beeinflussen. So wird es möglich sein, zukünftig Kosten einzusparen, indem bestimmte Ersatzteile on-demand gefertigt werden (Beiderbeck, Deradjat, Minshall, 2018).

[99] Ergebnis von Experteninterviews.
[100] Siehe https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/industrie-4-0-im-praxiseinsatz-bei-bosch-42927.html.
[101] Siehe https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/bosch-macht-roboter-zu-kollegen-101065.html.
[102] Siehe https://www.eurotransport.de/news/saf-holland-ersatzteile-per-app-bestellen-9834204.html.

Im folgenden Kapitel wird zunächst die Ausgangslage der deutschen Automobilwirtschaft im Bereich Industrie 4.0 betrachtet. Danach werden Perspektiven für die Automobilwirtschaft beleuchtet.

5.1 Status Quo

„Das Wichtigste in Kürze“: Ausgangslage Industrie 4.0

Die deutsche Industrie hat insgesamt aufgrund ihrer langjährigen Erfahrung in den Bereichen Industrieautomatisierung, Sensorsysteme und Mechatronik eine gute Ausgangposition für die Digitalisierung von Produktion und Arbeit. Die bisherige Entwicklung unterscheidet sich aber deutlich über die Unternehmen hinweg. So nutzt beispielsweise erst die Hälfte der Unternehmen Industrie 4.0-Technologien. Auch der Automatisierungsgrad zur Steuerung der Prozesse unter Verwendung einer Künstlichen Intelligenz ist 2017 laut einer Studie im Auftrag des BMWi immer noch relativ gering. Als Grund für eine geringe Verwendung von Künstlicher Intelligenz gaben die befragten Unternehmen einen Mangel sowohl an Fachkräften als auch an internen Kompetenzen an.

Insbesondere bei den großen Firmen der Automobilindustrie wurden bereits hohe Summen in Industrie 4.0-Technologien investiert. So belegt die deutsche Automobilindustrie im internationalen Vergleich der Industrieroboter pro Arbeitsplatz den dritten Rang. Aber auch im Rahmen von Erweiterungs-, Modernisierungs- und Neuinvestitionen sind zwischen 2010 und 2017 mehr als 35 Mrd. Euro nach Deutschland geflossen. Nur in den USA wurden höhere Summen investiert.

Fachkräftemangel und fehlende Erfahrungen mit der Digitalisierung verlangsamen die Verbreitung von Industrie 4.0-Technologien in Deutschland

In Hinblick auf die Industrie 4.0 besitzt die deutsche Industrie durch ihren Wissensstand und ihre Erfahrung in den Bereichen Industrieautomatisierung, Sensorsysteme und Mechatronik einen Vorteil gegenüber anderen Ländern. Darüber hinaus gibt es in der deutschen Wissenschaft auch auf dem Gebiet der Künstlichen Intelligenz viele Forschungsaktivitäten (Acatech, 2017).

Trotzdem unterscheidet sich die Entwicklung zur Industrie 4.0 deutlich zwischen den Unternehmen aller Sektoren. So nutzten die Hälfte aller Produktions- und Dienstleistungsbetriebe Industrie 4.0-Technologien oder machten diese sogar zum zentralen Bestandteil ihres Geschäftsmodells (ZEW, 2018a). Dahingegen hat sich die andere Hälfte der Betriebe entweder noch gar nicht mit der Nutzung beschäftigt oder fängt damit gerade erst an. Entsprechend setzen sich Industrie 4.0-Technologien allgemein nur langsam durch. Der Anteil dieser Technologien an allen eingesetzten Produktionsmitteln der Betriebe ist mit lediglich 5% immer noch gering. Weiterhin lässt sich erkennen, dass die Digitalisierung der Produktion in größeren Betrieben weiter vorangeschritten ist als in kleineren Betrieben.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt auch eine Studie, die im Auftrag des BMWi erstellt wurde. Der Automatisierungsgrad zur Steuerung der Prozesse unter Verwendung einer Künstlichen Intelligenz ist 2017 immer noch relativ gering (Institut für Innovation und

Technik, 2018). Als Grund für die geringe Verwendung von Künstlicher Intelligenz gaben die befragten Unternehmen einen Mangel an Fachkräften sowie interner Kompetenzen an. Der niedrige Automatisierungsgrad kann außerdem damit zusammenhängen, dass ein Großteil der Maschinen und Anlagen nicht für die Digitalisierung und Vernetzung geeignet ist. Eine Umrüstung oder sogar ein Ersatz solcher Anlagen erfordern hohe Investitionen. Die Bereitschaft hierzu ist angesichts der Unsicherheit über eine Standardisierung und Normierung für Industrie 4.0 bei vielen Unternehmen noch gering. Trotz erster Erfolge in der Festlegung von Standards gibt es noch immer keine einheitlichen Standards und Normen (DIN) für alle Bereiche der Industrie 4.0. Jedoch zeigt sich, dass nach einer ersten Orientierungsphase die konkrete Beschreibung von Standards voranschreitet.[103]

Die deutsche Automobilindustrie belegt im internationalen Vergleich der Anzahl an Industrierobotern den dritten Platz

Im internationalen Vergleich meistert die deutsche Industrie die Digitalisierung durchaus erfolgreich. So belegt Deutschland im internationalen Vergleich hinter Südkorea und Singapur den dritten Platz, wenn man die Anzahl der verwendeten Roboter in Relation zu den Industriearbeitsplätzen betrachtet (IFR, 2018).[104] Die Anzahl der Roboter wuchs 2017 in Deutschland um 7%, nachdem sie die Jahre zuvor konstant geblieben war. Auch die deutsche Automobilindustrie hat eine hohe Dichte an verwendeten Robotern. Mit knapp 1.200 Robotern pro 10.000 Arbeitsplätzen liegt sie nur knapp hinter Kanada und den USA auf dem dritten Platz. Weltweit stiegen die Verkäufe von Robotern 2017 um 30% gegenüber dem Vorjahr an. Rund 33% aller Roboter können der Automobilindustrie zugerechnet werden, welche ebenfalls einen Anstieg von 22% im Vergleich zum Vorjahr aufzuweisen hat. Weitere wichtige Branchen sind die Elektroindustrie sowie die Metallverarbeitung.

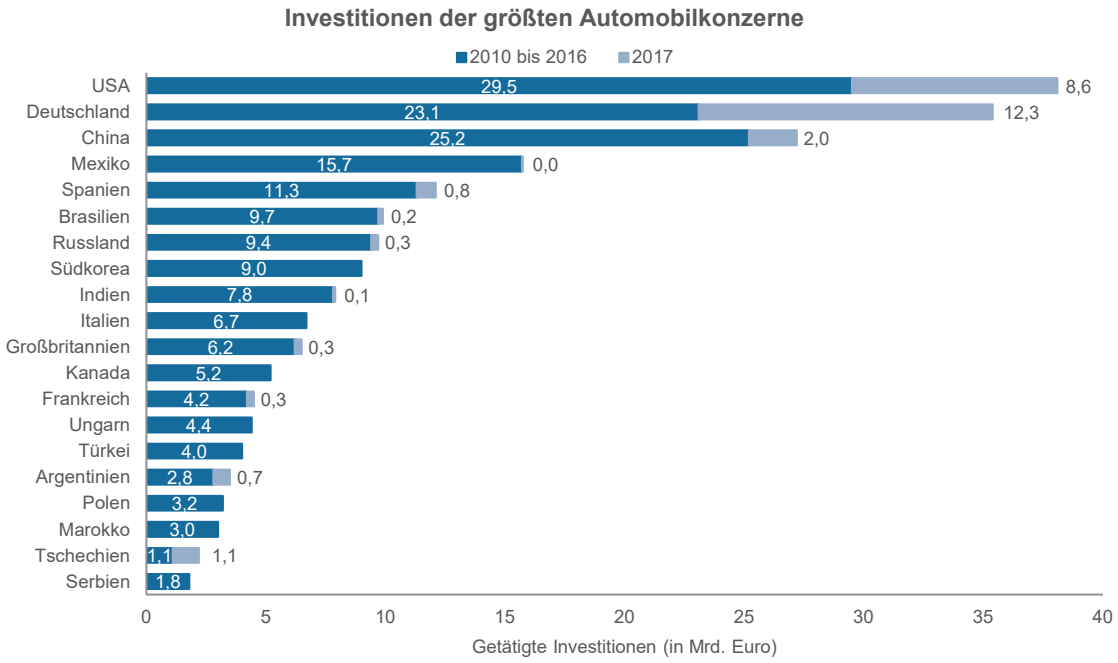
Es sind bereits hohe Erweiterungs-, Modernisierungs- und Neuinvestitionen der großen Automobilkonzerne nach Deutschland geflossen

Betrachtet man die weltweiten Investitionen, die von den 16 größten Automobilkonzernen in Erweiterungs-, Modernisierungs- und Neuinvestitionen getätigt wurden, so zeigt sich, dass die meisten Investitionen in die USA und nach Deutschland geflossen sind (siehe Abb. 25).

[103] Siehe https://industrie40.vdma.org/viewer/-/v2article/render/18530498.

[104] Auf 10.000 Arbeitsplätze kommen in Deutschland 322 Roboter. Den ersten Platz belegt Südkorea mit 710 vor Singapur mit 658 Robotern. Die hohen Zahlen im asiatischen Raum sind unter anderem mit dem hohen Stellenwert der Unterhaltungselektronik zu erklären. Siehe https://ifr.org/ifr-press-releases/news/global-industrial-robot-sales-doubled-over-the-past-five-years.

Abb. 25: Wert der von den 16 weltweit größten Automobilkonzernen getätigten bzw. angekündigten Investitionen im Zeitraum 2010 bis 2017 nach Zielländern



Quelle: IPE. Eigene Darstellung basierend auf Daten von Ernst & Young, 2018. Anmerkung: Die analysierten Automobilkonzerne sind: BMW Group, Daimler AG, Fiat Chrysler Automobiles N.V. (FCA), Ford Motor Company, General Motors Company, Honda, Hyundai, Kia, Mazda, Mitsubishi, Nissan, PSA Group, Renault Group, Suzuki, Toyota Group und VW Konzern.

5.2 Perspektiven

„Das Wichtigste in Kürze“: Perspektiven der Industrie 4.0

Der große Vorteil von Industrie 4.0-Technologien besteht darin, dass sie den Unternehmen allgemein nicht nur Zusatzumsätze, sondern gleichzeitig auch hohe Kosteneinsparungen ermöglichen. Jedoch ist es vor allem für KMU und Zulieferer ein großes unternehmerisches Risiko in 4.0-Technologien zu investieren, da die notwendigen Investitionen in vernetzte Produktionstechnologien und die entsprechende Mitarbeiterentwicklung hoch sind. Zudem ist es für sie schwierig, Fachkräfte zu finden und zu halten, um die neuen Technologien zu integrieren. Laut einer repräsentativen Umfrage von Bitkom aus dem Jahr 2016 gaben 62% der befragten Unternehmen an, dass sie ihre Mitarbeiter nicht weiterschulen, um digitale Kompetenzen zu erlangen. Als Hauptgründe dafür wurde angegeben, dass die Weiterbildungsangebote zu teuer seien und die Qualität der Angebote nicht abgeschätzt werden könne.

Eine Verschärfung des Fachkräftemangels könnte dazu führen, dass zukünftig ein Teil der Investitionen in Deutschland wegfallen.

Industrie 4.0-Technologien können Kosten einsparen, erfordern jedoch auch hohe Investitionen und qualifiziertes Personal

Industrie 4.0-Technologien haben das Potenzial Produktion und Logistik effizienter zu gestalten und in Konsequenz Kosten zu senken. Bosch erhofft sich beispielsweise durch den Verkauf von Industrie 4.0-Anwendungen einen Zusatzumsatz von mehr als 1,0 Mrd. Euro sowie Einsparungen durch die Anwendung in den eigenen Werken von zusätzlich 1,0 Mrd. Euro.[105] Aufgrund dieser Potentiale kann mit hohen Investitionen in Industrie 4.0-Technologien gerechnet werden. Laut einer Umfrage unter 180 Chief Financial Officers (CFO) deutscher Großunternehmen wollen die meisten Unternehmen zukünftig verstärkt Investitionen in Deutschland tätigen (Deloitte, 2018b). Allerdings gaben 65% der Befragten an, dass der Mangel an qualifiziertem Personal zukünftig ein hohes Risiko darstellen werde. Der Personalmangel wurde dabei als häufigstes Risiko noch vor geopolitischen Risiken und steigenden Lohnkosten genannt. Vor allem in den Bereichen Technologie/IT, Fertigung sowie F&E sei der Fachkräftemangel zu spüren. Doch gerade diese Bereiche stellen eine wichtige Komponente der Industrie 4.0 dar.

Hohe Weiterbildungskosten bezüglich der Industrie 4.0 sind ein unternehmerisches Risiko für kleine Unternehmen

Der Fachkräftemangel im Bereich digitaler Kompetenzen stellt besonders für kleine Unternehmen ein Risiko dar. So haben insbesondere kleine Zulieferer Probleme, Fachkräfte zu finden und zu halten. Unternehmen, die es nicht schaffen, intelligente Technologien aufgrund fehlenden Fachpersonals umzusetzen, werden klare kompetitive Nachteile haben.

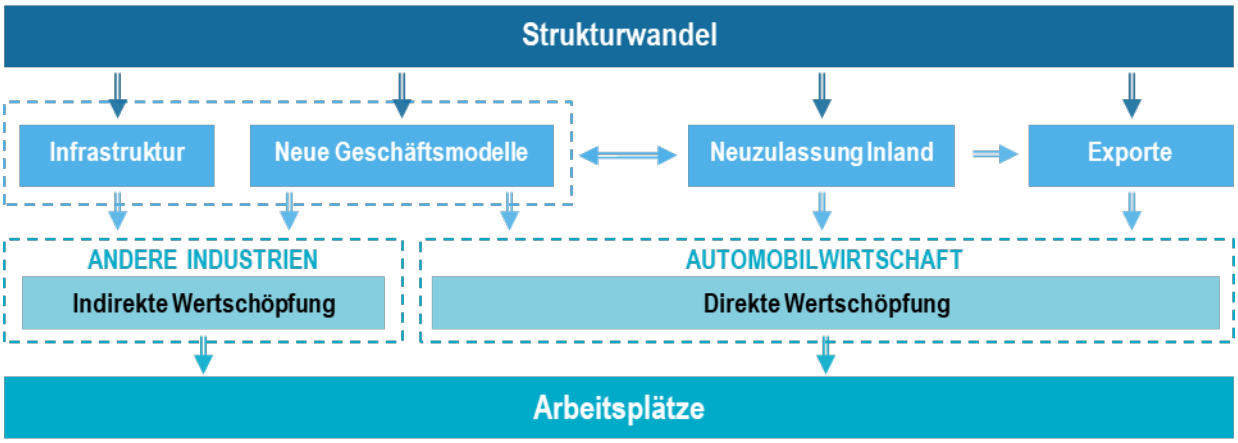
Insgesamt besteht ein großes unternehmerisches Risiko in 4.0-Technologien zu investieren. Die notwendigen Investitionen in vernetzte Produktionstechnologien und die entsprechende Mitarbeiterentwicklung stellen erhebliche Hürden dar. Laut einer repräsentativen Umfrage von Bitkom gaben 62% der befragten Unternehmen an, dass sie ihre Mitarbeiter nicht weiterschulen, um digitale Kompetenzen zu erlangen. Als Hauptgründe dafür wurde angegeben, dass die Weiterbildungsangebote zu teuer seien und die Qualität der Angebote nicht abgeschätzt werden könne (Bitkom, 2016). Vor allem für KMU ist es wichtig, einen Zugang zu den richtigen Technologien zu erhalten. Zu hohe Kosten stellen für sie eine zukünftige Gefahr dar und es besteht das Risiko, dass sie in Abhängigkeit finanzstarker industriefremder Unternehmen geraten (Oliver Wyman und VDA, 2018). Um das Risiko durch die Transformation für KMU zu verringern, erfolgen in Abschnitt V.6.4 entsprechende Handlungsempfehlungen.

[105] Siehe https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/bosch-macht-roboter-zu-kollegen-101065.html.

III. Welche ökonomischen Folgen hat der sektorale Strukturwandel in der Automobilindustrie?

Ziel des folgenden Kapitels ist es, die ökonomischen Folgen des strukturellen Wandels in der Automobilindustrie in Deutschland zu beleuchten. Hierfür werden szenariospezifische Prognosen der Entwicklung von Wertschöpfung, Produktion und Beschäftigung der deutschen Automobilindustrie bis 2030 bzw. bis 2050 erstellt. Eine schematische Übersicht der Modellierung ist in Abb. 26 dargestellt.

Abb. 26: Schematische Darstellung der Modellierung



Quelle: IPE. Eigene Darstellung.[106]

Neben der Automobilindustrie werden außerdem der Automobilhandel und Aftermarket betrachtet, die der Produktion nachgelagert sind. Darüber hinaus thematisieren wir auch Beschäftigungseffekte auf jene Teile der Zulieferindustrie, die außerhalb des Wirtschaftszweigs Automobilindustrie klassifiziert ist, aber eng mit der Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen verflochten ist. Nicht in diesem Kapitel, sondern erst in Kapitel IV.3, werden die Unternehmen bzw. die Branchen betrachtet, die den Infrastrukturaufbau für den Ausbau der Elektromobilität schultern. Die Ergebnisse fließen dann in die Ableitung wirtschaftspolitischer Handlungsempfehlungen abzuleiten ein.

Im Kern der quantitativen Analyse steht die Automobilindustrie, d.h. die Herstellung (Produktion) von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeugteilen. Dabei sind auch in der Industrie angesiedelte Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten miterfasst. Basierend auf einer Prognose des weltweiten Pkw-Absatzes und der Produktion von Pkw und Pkw-Teilen sowie Zubehör in Deutschland werden Wertschöpfung und Arbeitsplätze in der deutschen Automobilindustrie prognostiziert. Die Ergebnisse werden zudem auf regionaler Ebene dargestellt. Außerdem wird die Entwicklung der Erwerbsbevölkerung und das damit zur Verfügung stehende Humankapitel beleuchtet. Darüber hinaus werden auch Qualifikations- und Anforderungsniveaus und deren potenzielle Veränderungen im Zuge des strukturellen Wandels der Automobilindustrie diskutiert.

Wir beleuchten in diesem Kapitel auch das Umsatzpotenzial neuer Geschäftsfelder, welche durch neue Mobilitätsdienstleistungen erschlossen werden. Die neuen Geschäftsfelder liegen zumindest teilweise außerhalb der traditionellen Wertschöpfungskette der

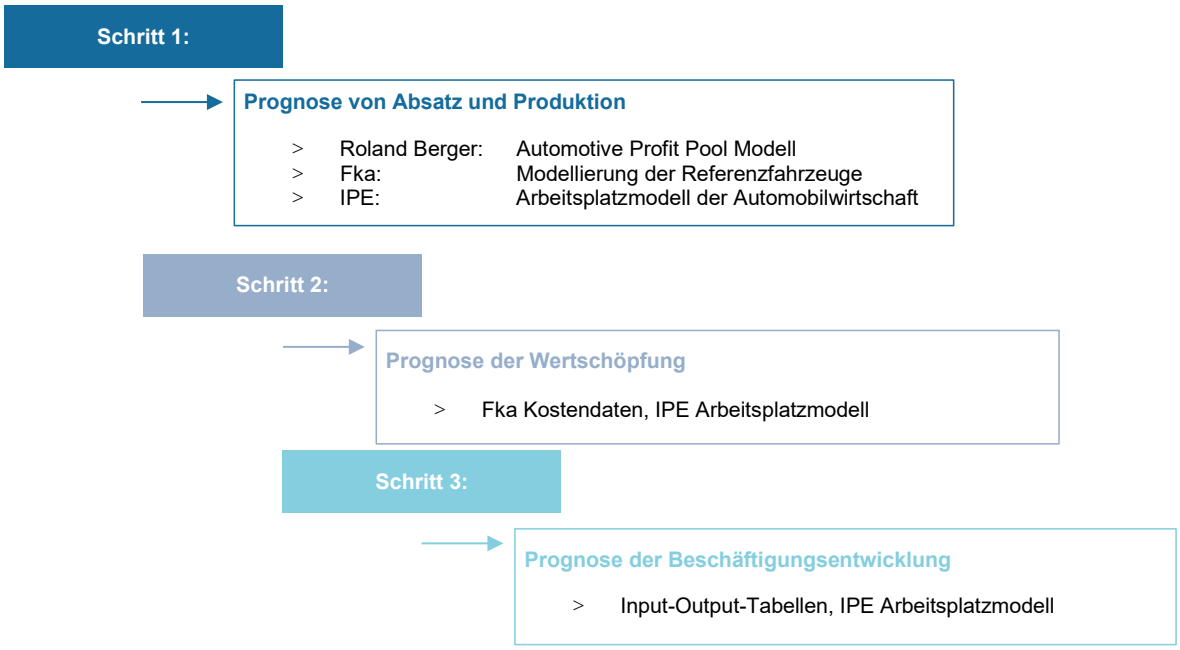
[106] Es erfolgt keine Quantifizierung der Beschäftigungseffekte durch neue Geschäftsmodelle.

Automobilindustrie. Berücksichtigt wird neben Sharing-Angeboten auch die Einführung des vollautomatisierten Fahrens. Im Rahmen dieser Studie werden aber keine Arbeitsplatzeffekte durch neue Mobilitätskonzepte quantifiziert, da die Zerlegung des Umsatzes in seine arbeitsplatzrelevanten Wertschöpfungsanteile mit sehr großer Unsicherheit behaftet ist und daher eine seriöse Prognose auf Grundlage vorliegender Daten nicht möglich erscheint. Die Quantifizierung der Nettobeschäftigungseffekte der laufenden Transition durch neue Mobilitätsdienstleistungen werden im Rahmen einer getrennten Fokusstudie im Auftrag des BMWi erarbeitet.

Wir untersuchen vier Szenarien, die sich entlang der Entwicklung der Elektrifizierung und der Marktrelevanz der Automatisierung aufspannen: (1) Ein „Referenzszenario“, (2) ein Szenario mit beschleunigtem Markthochlauf für elektrifizierte Fahrzeuge („Szenario Verstärkte Elektrifizierung“), (3) ein Szenario mit beschleunigter Marktreife und Marktdurchdringung höherer Automatisierungsstufen („Szenario Verstärkte Automatisierung“) und (4) ein Szenario, welches eine beschleunigte Entwicklung und Marktdurchdringung sowohl der Elektrifizierung als auch der Automatisierung berücksichtigt („Progressives Szenario“).

Wie in Abb. 27 abgebildet, erfolgt die Prognose der Beschäftigungsentwicklung in jedem der Szenarien erfolgt jeweils in drei Arbeitsschritten.

Abb. 27: Übersicht der Arbeitsschritte der Quantifizierung des Strukturwandels in der Automobilwirtschaft



Quelle: IPE. Eigene Darstellung.

In Schritt 1 wird zunächst anhand des **Roland Berger Automotive Profit Pool Modells** (fortan „Profit Pool Modell“) eine Prognose des weltweiten Pkw-Absatzes sowie der weltweiten Pkw-Produktion bis 2030 erstellt. Die Prognose erfolgt unterteilt nach Region, Fahrzeugsegment, Antrieb der Fahrzeuge und Verwendungszweck des Fahrzeugs. Ein weiteres Ergebnis des Profit Pool Modells ist eine Umsatzprognose für den Automobilhandel und den Aftermarket.

Danach wird in Schritt 2 anhand der Produktions- und Umsatzzahlen aus Schritt 1 die Wertschöpfungsprognose der Automobilindustrie sowie verbundener Sektoren in Deutschland berechnet.

In Schritt 3 wird schließlich die erstellte Wertschöpfungsprognose verwendet, um die Beschäftigungsentwicklung zu prognostizieren. So können Arbeitsplatzeffekte des strukturellen Wandels in der deutschen Automobilwirtschaft ermittelt werden.

Das Startjahr des Modells ist das Jahr 2017. Es werden vier Prognosezeiträume genauer betrachtet: 2025, 2030, 2040 und 2050. Die Ergebnisse des Modells werden aber tatsächlich im Zeitverlauf auch für die nicht ausgewiesenen Jahre ermittelt.

Die Prognosen nach 2030 ergeben sich hingegen aus einer szenariospezifischen Trendanalyse. Es liegt also kein makroökonomisches Pkw-Absatz-Prognosemodell mehr zugrunde, das Verhaltensreaktionen der Individuen und Unternehmen beispielsweise auf geänderte Rahmenbedingungen abbildet. Die Prognosen von 2030 bis 2040 erscheinen uns aber – trotz der abnehmenden methodischen Feinheit im Vergleich zur Analyse bis 2030 – hinreichend valide, um als Basis für belastbare Schlussfolgerungen zu dienen. Dagegen sind Prognosen nach 2040 aus unserer Sicht mit einem derart hohen Grad an Unsicherheit zu technologischen Entwicklungen, Präferenzen und Verhalten behaftet, dass sie nur indikativen, qualitativen Wert haben und nicht als Basis für detaillierte Handlungsempfehlungen dienen können.

Neben der Analyse der oben genannten vier Szenarien erfolgt in diesem Teil der Studie auch eine Sensitivitätsanalyse im Hinblick auf eine Zunahme von Handelsrestriktionen und auf verstärkte Pkw-Importe.

Kapitel 1 stellt die der Analyse zugrunde liegende Methodik dar. Kapitel 2 beschreibt die Annahmen der Analyse für die vier Szenarien sowie für modellspezifische Parameter. Kapitel 3 präsentiert Zwischenergebnisse, die zur Berechnung der Arbeitsplätze dienen. In Kapitel 4 folgt eine Beschreibung der finalen Ergebnisse für alle Szenarien. Kapitel 5 stellt die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse vor. Abschließend wir in Kapitel 6 eine mögliche Verschiebung der Kompetenzanforderungen aufgrund des automobilen Strukturwandels betrachtet.

1. Methodik

Im folgenden Kapitel wird unser Vorgehen zur Quantifizierung des Strukturwandels beschrieben. Im ersten Teil des Kapitels wird der Aufbau der Szenarien sowie die Modellierung der Referenzfahrzeuge erläutert. In Abschnitt 1.2 wird dargestellt, wie auf Grundlage von quantitativen Modellen von Roland Berger und IPE der Absatz und die Produktion von Pkw prognostiziert werden. In Abschnitt 1.3 wird dann dargelegt, wie auf Grundlage dieser Ergebnisse eine Wertschöpfungsprognose für die Automobilwirtschaft Deutschlands erstellt wird. Der Abschnitt 1.4 beschreibt wie mithilfe der Wertschöpfungsprognose die Beschäftigungsentwicklung in Deutschland prognostiziert wird. Abschließend erfolgt eine Beschreibung der verwendeten Datenquellen.

1.1 Modellierung der Szenarien und der Referenzfahrzeuge

Die betrachteten Szenarien werden entlang zweier Dimensionen definiert: Erstens der Entwicklung der Elektrifizierung und zweitens der Marktrelevanz der Automatisierung. Beide

sind Ergebnis der Technologiepfade „Effizienzsteigerung und Emissionsminderung“ sowie „Vernetzung und Automatisierung“ (siehe Kapitel I.1) und bestimmen die zukünftige fahrzeugtechnische Entwicklung sowie die Etablierung neuer Geschäftsmodelle. Die beiden Dimensionen bedingen sich nicht notwendigerweise gegenseitig, sind aber dennoch eng miteinander verbunden.[107]

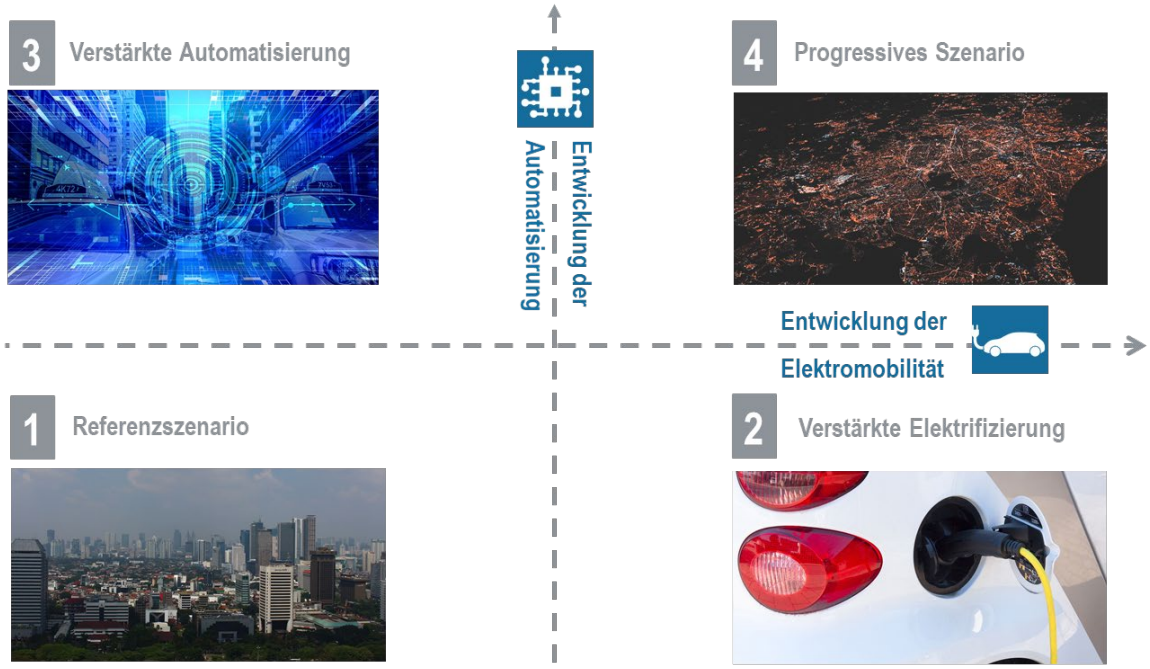
Auf Basis dieser Überlegungen werden vier Szenarien definiert:

> **Referenzszenario**: Ausgewogenes Szenario mit Automatisierung und Elektrifizierung auf heute aus legislativen Zielsetzungen, Maßgaben und Roadmaps erwartbarem Niveau.
> **Verstärkte Elektrifizierung**: Entwicklung der Automatisierung wie im Referenzszenario. Es wird ein beschleunigter Markthochlauf für elektrifizierte Fahrzeuge abgebildet.
> **Verstärkte Automatisierung**: Entwicklung der Elektrifizierung wie im Referenzszenario. Beschleunigte Marktreife und -durchdringung höherer Automatisierungsstufen durch entsprechende Entwicklung der legislativen und infrastrukturellen Rahmenbedingungen sowie durch beschleunigten technologischen Fortschritt.
> **Progressives Szenario**: Beschleunigte Entwicklung und Marktdurchdringung sowohl der Elektrifizierung als auch der Automatisierung.

Der Zusammenhang der Szenarien entlang der Entwicklung der Automatisierung und der Elektrifizierung wird in Abb. 28 dargestellt. Die Szenarien werden im Detail in Kapitel 2 vorgestellt.

[107] Die Automatisierung kann beispielsweise Reichweitenängsten entgegenwirken, da fahrerlose Fahrzeuge sich an einer günstig gelegenen Ladesäule dann selbst aufladen, wenn sie nicht benötigt werden. Entsprechend wird die Attraktivität des BEV für den Konsumenten gesteigert und ein schnellerer Hochlauf von BEVs im Markt ist wahrscheinlicher.

Abb. 28: Definition der Szenarien



Quelle: Eigene Darstellung.

Für jedes der vier Szenarien werden zwischen 2020 und 2050 **zehn Referenzfahrzeuge** in Pkw-Segmenten konfiguriert. Anhand derer wird eine Kostenprognose für die in Kapitel I.2 beschriebenen Fahrzeughauptgruppen erstellt. Diese umfassen den Antriebsstrang, Elektrik und Elektronik, Karosseriestruktur und Exterieur, Interieur sowie das Fahrwerk. Durch den Strukturwandel werden die verschiedenen Antriebe und Fahrzeugsegmente unterschiedlich betroffen sein. Insbesondere werden sich die Wertschöpfungsanteile der Fahrzeughauptgruppen je nach Antrieb und Segment verschieben. Dadurch verändert sich auch die arbeitsplatzrelevante Wertschöpfungsstruktur. Dies betrifft zum einen die Aufteilung zwischen in Deutschland erbrachter Wertschöpfung und Vorleistungen, die aus dem Ausland bezogen werden. Zum anderen verändert sich auch innerhalb Deutschlands die Aufteilung zwischen OEMs und Zulieferern.

Aufbauend auf den verwendeten Komponenten ergeben sich Kostenunterschiede und somit auch Wertschöpfungsunterschiede bei der Herstellung der Fahrzeuge. Der Verlauf der Kosten über die Zeit und über die Szenarien hinweg ist ein wesentlicher Treiber der Ergebnisse in den verschiedenen Szenarien.

Die Referenzfahrzeuge variieren sowohl nach Fahrzeugsegment als auch nach Antrieb. Das Kleinst- und Kleinwagensegment wird durch ein erstes Segment („SEG-1“) repräsentiert. Das zweite betrachtete Segment („SEG-2“) umfasst im Wesentlichen die Kompaktklasse, die Mittelklasse sowie SUVs. Das dritte Fahrzeugsegment („SEG-3“) umfasst die Fahrzeuge der Ober- und Luxusklasse sowie der Sportwagen. Die Antriebsstrangtypen werden wie folgt zusammengefasst:

> Konventionelle Antriebsstränge (**ICE**) sowie Hybride ohne kundenerlebbares elektrisches Fahren (Micro-Hybride und Mild-Hybride (**HEV**)),
> Hybride mit kundenerlebbarem elektrischem Fahren (Full-Hybrid und **PHEV**)
> Rein batterieelektrischer Antriebsstrang (**BEV**).

Zusätzlich wird ein Brennstoffzellenfahrzeug (**FCEV)** als Referenzfahrzeug betrachtet.

Die Weiterentwicklung der Referenzfahrzeuge erfolgt in allen Szenarien auf Basis der beobachteten etwa **siebenjährigen Modellzyklendauer**, wobei der erste Modellwechsel durchschnittlich im Jahr 2021 erfolgt. Anschließend wird im Abstand von jeweils sieben Jahren die mögliche technologische Weiterentwicklung aller Referenzfahrzeuge bis einschließlich 2042 skizziert. Die dann eingeführte Modellgeneration bestimmt den technologischen Stand bis zum Ende des Betrachtungshorizontes 2050.

Dabei unterscheidet sich die technologische Beschreibung auf Grundlage des angenommenen Standes der Technik nach Segment und Antriebsart. Die Fahrzeugausstattung der Referenzfahrzeuge wird ermittelt, indem jeweils die **Fahrzeugausstattung der Mehrheit der Fahrzeuge**, die dem jeweiligen Segment und der Antriebsart zugeordnet werden können, **entscheidend** ist. Die Markteinführung allein und die Ausstattung einzelner Fahrzeuge wird in der Entwicklung der Referenzfahrzeuge nicht widergespiegelt.

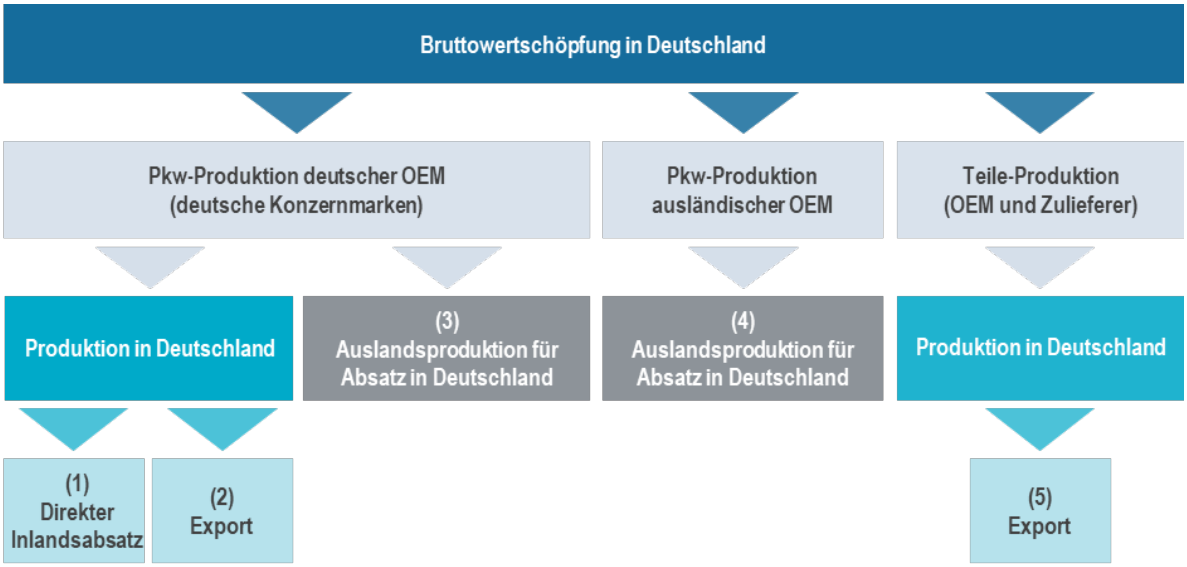
1.2 Schritt 1: Prognose von Absatz und Produktion

Das **Profit Pool Modell** von Roland Berger generiert auf Basis der vier definierten Szenarien Fahrzeugabsatzprognosen nach Weltregionen sowie eine detaillierte Aufschlüsselung der Wertschöpfungskette. Auch werden neben dem Fahrzeugabsatz Gewinne und Verluste verschiedener Akteure bis 2030 quantifiziert.

Das Modell liefert eine **Prognose des Absatzes von neuen Pkw** entlang der oben genannten Segmente und Antriebsarten. Darüber hinaus wird auch zwischen der Nutzung des Fahrzeugs entschieden, ob als Privatfahrzeug, Flottenfahrzeug oder im Bereich der Mobilitätsdienstleistungen. Die Pkw-Absatzprognose dient als Basis der Prognose von Wertschöpfung (Schritt 2) und Beschäftigung (Schritt 3) in der deutschen Automobilwirtschaft. Dazu muss die Prognose des Absatzes mit einer länder- bzw. weltregionenspezifischen **Prognose der Produktion** verzahnt werden.[108] Hierzu wird auf das **Arbeitsplatzmodell der deutschen Automobilwirtschaft** von IPE (fortan „Arbeitsplatzmodell der Automobilwirtschaft“) zurückgegriffen.[109] Es werden wie in Abb. 29 dargestellt fünf Wertschöpfungskanäle im Rahmen der Produktionsprognose abgebildet.

[108] Eine Liste der betrachteten Regionen sowie eine detaillierte Beschreibung des Profit Pool Modells befindet sich im Anhang in Tab. 13.
[109] Die Beschreibung, wie Absatz und Produktion miteinander verzahnt werden, findet sich in Abschnitt 2.2.

Abb. 29: Zusammenhang zwischen Absatz und Produktion von Pkw



Quelle: IPE. Eigene Darstellung. Anmerkung: Unter „Teileproduktion“ wird die Produktion von Teilen, Karossieren und Fahrgestellen, die für den Export bestimmt sind, subsumiert.

Das Modell beinhaltet außerdem die Nachfrage nach neuen Geschäftsmodellen, insbesondere nach **neuen Mobilitätskonzepten**. Somit werden im Modell auch Umsatzpotenziale für neue Mobilitätskonzepte prognostiziert. Auch werden Umsatzpotenziale für den Automobilhandel und den Aftermarket prognostiziert. Im Profit Pool Modell werden die Absatzpotenziale aus dem Export von Teilen, Karossieren und Fahrgestellen (fortan „Teile-Export“) aber nicht explizit modelliert. Für die Wertschöpfung aus dem Teile-Export wird eine eigene Prognose auf Basis der Absatzentwicklungen für den Exportwert von Pkw erstellt.

Zusammenfassend werden die folgenden zentralen Ergebnisse des Modells je Szenario abgeleitet, welche anschließend zur Prognose der Produktion verwendet werden:

> die regional differenzierte weltweite **Mobilitätsnachfrage**,
> die regional differenzierte weltweite **Pkw-Nachfrage** und
> die regional differenzierte weltweite **Zahlungsbereitschaft für Mobilitätsdienstleistungen.**

Eine detaillierte Beschreibung des Profit Pool Modells findet sich im Anhang.

1.3 Schritt 2: Prognose der Wertschöpfung

Die Prognose der Wertschöpfung der Automobilwirtschaft erfolgt mithilfe des Arbeitsplatzmodells der Automobilwirtschaft. Ausgangspunkt der Wertschöpfungsprognose ist die Produktionsprognose der zehn Referenzfahrzeuge entlang des in Abb. 29 dargestellten Mengengerüstes aus Schritt 1. Die Prognose der Produktion aus Schritt 1 wird mit der Entwicklung der Fahrzeugtechnologien und folglich mit den Wertschöpfungsumfängen je Fahrzeug im Zeitverlauf verknüpft.

Die gesamte **Wertschöpfung** der **Automobilindustrie** ergibt sich zunächst als Summe der Wertschöpfung je Fahrzeugsegment und Antriebsart, der in Deutschland produzierten Pkw (Kanal (1) und (2) in Abb. 29.). Hinzu kommt noch die Wertschöpfung, die durch den Verkauf

von im Ausland produzierten Pkw in Deutschland entsteht. Dabei handelt es sich sowohl um Pkw deutscher als auch ausländischer OEMs (Kanal (3) und (4)). Schließlich wird die Wertschöpfung, die aus dem Export von Teilen der in Deutschland ansässigen Zulieferer und OEMs entsteht (Kanal (5)), betrachtet.

Um die automobile Wertschöpfung in Deutschland entlang der Wertschöpfungskette aufzuschlüsseln, werden die Input-Output-Tabellen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) genutzt. Die Input-Output-Tabellen stellen die produktions- und gütermäßige Verflechtung der Wirtschaftszweige in Deutschland dar. Somit lässt sich die Wertschöpfung der Automobilindustrie (WZ29) sowie der Zulieferindustrie aus anderen Sektoren berechnen.

In Schritt 2 erfolgt auch die Berechnung von Wertschöpfung, die sich im **Automobilhandel und Aftermarket** ergibt. Dazu werden die Umsatzpotenziale mit der Jahresstatistik im Handel verknüpft, welche Umsätze und Wertschöpfung im Automobilhandel und Aftermarket (WZ45.1-WZ45.3) erfasst.

Der **Aufbau der Ladeinfrastruktur** als weiterer Wertschöpfungskanal wird im nachfolgenden Teil **IV** zusammen mit den Spillovers auf den Strommarkt betrachtet.

1.4 Schritt 3: Prognose der Beschäftigungsentwicklung

In einem dritten Schritt wird das Arbeitsplatzmodell der Automobilwirtschaft zur Berechnung der Beschäftigung (1) in der Automobilindustrie und (2) im Automobilhandel und im Aftermarket genutzt. Das Modell rechnet in diesem Schritt Wertschöpfung in Arbeitsplätze um.

Die Analyse erfolgt entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Automobilwirtschaft. Mittels einer Input-Output-Analyse werden auch Branchen betrachtet, die einen signifikanten Vorleistungsanteil an der Herstellung von Kraftwagen haben.

1.5 Datenbasis

Als Quellen werden nationale und internationale Produktions- und Außenhandelsstatistiken sowie Industrie- und Beschäftigungsdaten und die Kostenstrukturerhebung herangezogen. Hinzu kommen Daten von IHS Markit und der Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles (OICA) sowie des Verbands der Automobilindustrie (VDA) und KBA. Horizontale und vertikale Lieferverflechtungen werden auf Grundlage von Input-Output-Tabellen der VGR analysiert. Zudem wird auf Daten aus Fachpublikationen zurückgegriffen. Eine Übersicht der verwendeten Daten befindet sich im Anhang in Tab. 9.

2. Annahmen

Im folgenden Kapitel werden die getroffenen Annahmen beschrieben. Zunächst werden in Abschnitt 2.1 für jedes Szenario die szenariospezifischen Annahmen beschrieben. Anschließend werden in Abschnitt 2.2 die szenarioübergreifenden Annahmen erläutert. Diese umfassen Kraftstoffpreise und Strompreise, infrastrukturelle und rechtliche Rahmenbedingungen, die Bestimmung der Mobilitätsnachfrage, der Produktivitätssteigerungen durch technischen Fortschritt, der Importe und Exporte sowie Annahmen zur Entwicklung der Erwerbsbevölkerung. Außerdem werden Annahmen zur

Wertschöpfung in der Automobilindustrie, im Automobilhandel und im Aftermarket sowie in eng verflochtenen Branchen beschrieben.

2.1 Szenariospezifische Annahmen

Die vier untersuchten Szenarien unterscheiden sich anhand grundlegender Annahmen bezüglich technologischer und regulatorischer Entwicklungen. Keines der modellierten Szenarien kann als extrem und damit in seinen Implikationen als unwahrscheinlich eingeordnet werden. Vielmehr bilden die vier Szenarien ein realistisches Spektrum an möglichen Entwicklungen ab.

Die Fundierung der Annahmen und die Belastbarkeit der aufgezeigten Schlussfolgerungen nimmt mit dem Prognosehorizont ab. Bis 2030 können die Annahmen in den Szenarien gut substantiiert und die modellierten Verhaltensanpassungen in den üblichen Rahmen eingeordnet werden. Zwischen 2030 und 2040 sind die technologischen Entwicklungen bereits schwer zu fassen. Sowohl die Marktreife der betrachteten Technologien als auch deren Akzeptanz beim Konsumenten kann nur noch plausibilisiert werden. Der Prognosezeitraum nach 2040 ist mit derart großer Unsicherheit behaftet, dass selbst eine Plausibilisierung der Entwicklungen kaum mehr möglich ist.

„Das Wichtigste in Kürze“: Szenarienbeschreibung

Im **Referenzszenario** bilden die CO_2-Flottengrenzwerte bis 2030 weiterhin den stärksten Entwicklungstreiber. Diese schreibt fest, dass die Emissionen der Pkw-Flotten 2030 gegenüber 2020 um 37,5% zurückgehen müssen (Europäisches Parlament und Europäischer Rat, 2019). Dabei wird zur Erreichung der Emissionsziele der konventionelle Antriebsstrang, auch unter Einbezug von Mild-Hybridisierung, weiterentwickelt. Elektrifizierte Antriebstränge werden insbesondere hinsichtlich ihrer elektrischen Reichweite weiterentwickelt, sodass sie in Kombination mit einer adäquat ausgebauten Ladeinfrastruktur einen selbsttragenden, wettbewerbsfähigen Markt für Elektromobilität ermöglichen, allerdings erst deutlich nach 2030. Hochautomatisierte Level 4-Fahrfunktionen sind in diesem Szenario aufgrund der Schaffung der infrastrukturellen und legislativen Rahmenbedingungen ab etwa 2030 grundsätzlich verfügbar. Sie diffundieren ausgehend von den oberen Fahrzeugsegmenten in den gesamten Markt.

Im **Szenario Verstärkte Elektrifizierung** entwickelt sich aufgrund des frühzeitigen Markteintritts neuer Batterietechnologien sowie eines beschleunigten Ausbaus der Ladeinfrastruktur bereits vor 2030 mit zunehmender Dynamik ein eigenständiger Markt batterieelektrischer Fahrzeuge, was die Erreichung der CO_2- Flottengrenzwerte bereits frühzeitig sicherstellt. Fahrzeugtechnologisch schlägt sich dies dahingehend nieder, dass der verbrennungsmotorische Antriebsstrang bereits ab Mitte des kommenden Jahrzehnts nicht mehr signifikant weiterentwickelt wird.

Im Szenario **Verstärkte Automatisierung** wird auf Grundlage einer raschen Anpassung der Gesetzgebung sowie des Ausbaus der digitalen Infrastruktur eine beschleunigte Markteinführung automatisierter Fahrfunktionen erreicht. Erste hochautomatisierte Level 4-Fahrfunktionen werden bereits vor 2030 auf Autobahnen verfügbar sein. Urbane Räume werden ab ca. 2035 erschlossen. Entsprechend beschleunigt entwickelt sich die Technologieausstattung der Referenzfahrzeuge, auch im Hinblick auf innovative

Innenraumkonzepte. Sowohl die Anpassung der Gesetzgebung als auch der notwendige Ausbau der digitalen Infrastruktur bedürfen großer Bemühung. Ein Erfolg hätte große Auswirkungen auf die Automobilindustrie und muss entsprechend im Folgenden betrachtet werden.

Im **Progressiven Szenario** wird eine besonders günstige Entwicklung der Trends und Treiber für Elektrifizierung und Automatisierung simultan abgebildet. Die technologische Entwicklung und Marktdurchdringung ergibt sich dann sowohl durch die Einzelentwicklungen sowie durch Wechselwirkungen zwischen beschleunigter Elektrifizierung und Automatisierung.

2.1.1 Referenzszenario

Das Referenzszenario stellt die Entwicklung der Elektromobilität sowie des automatisierten Fahrens dar, die auf Basis bestehender regulatorischer Maßnahmen und Ziele sowie aktueller technologischer Trends und Kostenentwicklungen zu erwarten ist.

Batteriekosten/Kosten	Die Batteriekosten sinken zwischen 2020 und 2030 von 155 Euro/kWh auf 100 Euro/kWh. Bis 2035 gehen sie dann auf 90 Euro/kWh zurück. Auf diesem Niveau bleiben sie auch nach 2040. Aufgrund des aktuell hohen Anteils der Batteriekosten an den Gesamtkosten eines Elektrofahrzeugs fällt der Preisvorteil eines Pkw mit konventionellem Antrieb sukzessive. Somit schrumpft das „Kostendelta“ zwischen ICE und BEV und die Preise gleichen sich bis 2035 an. Neben dem Kaufpreis sinken auch die TCO eines BEV/PHEV. Die durchschnittlichen Kosten für Reparaturen über den Lebenszyklus sind bei BEVs und PHEVs im Vergleich zu ICEs niedriger.[110] Auch werden BEV/PHEV-Besitzer bei der Kfz-Steuer entlastet.
Markthochlauf Elektromobilität	Die sinkenden Kosten für elektrifizierte Fahrzeuge sowie die Erhöhung der Energiedichte der Batteriesysteme sorgen dafür, dass Elektromobilität für den Verbraucher zunehmend attraktiver wird. Insbesondere zwischen 2025 und 2030 kommt zunächst PHEVs als Brückentechnologie eine wichtige Rolle zu, aber auch effizienzoptimierte Verbrennungsmotoren sind für die OEMs relevant, um die CO_2-Flottengrenzwerte einzuhalten. Daneben werden auch FCEVs von den Automobilherstellern weiterentwickelt.[111] Die technologische Entwicklung wird aber

[110] Für eine genauere Beschreibung der Preisentwicklung und der durchschnittlichen Reparaturumfänge siehe Abschnitt 2.2.
[111] Der Ausbau der Wasserstoff-Infrastruktur folgt im Referenzszenario den gegenwärtigen Ausbauplänen für eine grundlegende Abdeckung in einigen Ballungsgebieten.

	so konservativ modelliert, dass FCEVs bis 2040 auf die Oberklasse beschränkt bleiben. Auch danach spielen sie am Markt keine signifikante Rolle.
Automatisiertes Fahren/Neue Mobilität	Ab ca. 2030 ist mit der Einführung von Level 4-Funktionen auf Autobahnen zu rechnen. Dabei handelt es sich überwiegend um eine Sonderausstattung von privat und gewerblich genutzten Pkw. In Städten wird hingegen erst ab 2035 mit Level 4-Funktionen in ausgewählten Regionen gerechnet, vor allem aufgrund der notwendigen städtebaulichen Anpassungen wie der digitalen und physischen Infrastruktur. Die technologischen, infrastrukturellen und regulatorischen Voraussetzungen für einen Massenmarkt für neue, automatisierte Mobilitätsdienste sind somit voraussichtlich erst 2035 erfüllt. Die ersten Level 5-Fahrzeuge werden nach 2040 auf den Massenmarkt kommen, obwohl Level 5-Funktionen bereits vorher technisch umsetzbar sind.

2.1.2 Szenario Verstärkte Elektrifizierung

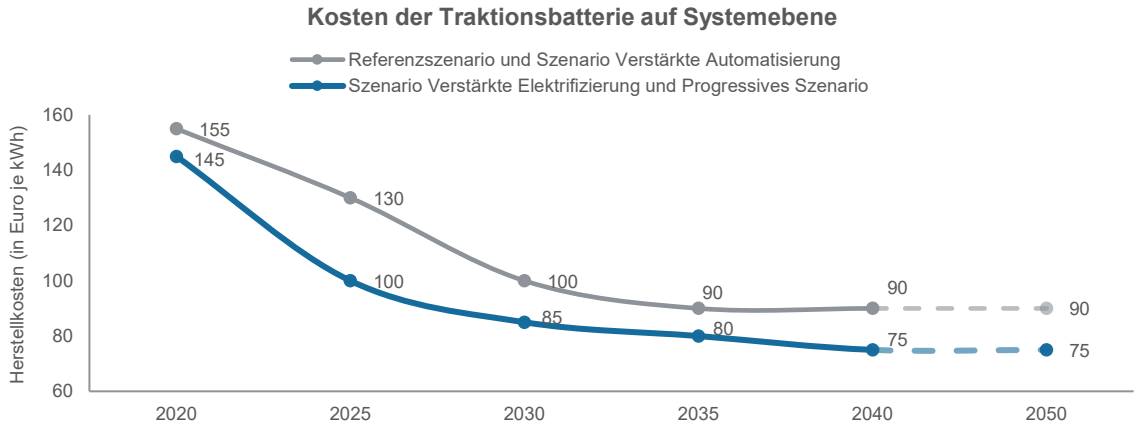
Das Szenario Verstärkte Elektrifizierung grenzt sich vom Referenzszenario durch die Modellierung von zwei Treibern ab, die eine Marktdurchdringung der Elektromobilität beschleunigen. Neben einer stärkeren politischen bzw. regulatorischen Förderung der Elektromobilität wird eine optimistischere technologische Entwicklung und somit eine schnellere Kostendegression von Elektrofahrzeugen unterstellt.

Batteriekosten/Kosten	Es kommt zu einem stärkeren Abfall der Batteriekosten als im Referenzszenario. Die Kosten zur Herstellung eines Batteriepacks sinken im Szenario Verstärkte Elektrifizierung bereits 2025 auf 100 Euro/kWh. Bis 2040 sinken die Kosten dann auf 75 Euro/kWh ab und pendeln sich dort ein. Im Referenzszenario gehen sie lediglich auf 90 Euro/kWh zurück. Der Verlauf der Batteriekosten ist in Abb. 30 dargestellt.
Markthochlauf Elektromobilität	Es kommt gegenüber dem Referenzszenario aufgrund der niedrigeren Kosten für Elektrofahrzeuge sowie einer verstärkten Förderung der Elektromobilität durch die Politik zu einem schnelleren Markthochlauf der Elektromobilität.[112] Die Automobilhersteller konzentrieren sich daher auf die Weiterentwicklung batterieelektrischer Fahrzeuge, sodass FCEVs keine nennenswerte Bedeutung für den Pkw-Markt gewinnen.

[112] Eine verstärkte Förderung der Elektromobilität durch die Politik kann beispielsweise eine strengere CO_2-Regulierung in Form von höheren Steuern auf Pkw mit Verbrennungsmotor oder höhere Strafen für Automobilhersteller, wenn sie die Ziele der EU nicht einhalten, bedeuten. Aber auch umfangreiche Subventionsprogramme für den Kauf von elektrisch betriebenen Pkw sind denkbar.

Automatisiertes Fahren/Neue Mobilität	Im Szenario Verstärkte Elektrifizierung entwickeln sich die Automatisierung der Fahrzeuge sowie neue Mobilitätskonzepte wie im Referenzszenario.

Abb. 30: Unterstellte Entwicklung der Batteriekosten



Quelle: Eigene Berechnungen.

2.1.3 Szenario Verstärkte Automatisierung

In Szenario Verstärkte Automatisierung wird eine Situation beleuchtet, in der höhere Automatisierungsstufen früher als im Referenzszenario reif für den Massenmarkt sind. Dies kann beispielsweise aufgrund von Technologiesprüngen erfolgen. Beispielsweise kann dieser technologische Fortschritt durch verstärkte F&E-Tätigkeiten der Unternehmen, gegebenenfalls flankiert durch staatliche Förderung, erzielt werden. Auch ein beschleunigter Ausbau der Infrastruktur, wie Mobilfunk und digitale Infrastruktur, sowie ein progressives Voranschreiten der Gesetzgebung wirken unterstützend.

Batteriekosten/Kosten	Im Szenario Verstärkte Automatisierung entwickeln sich die Batteriekosten wie im Referenzszenario.
Markthochlauf Elektromobilität	Die Konfiguration der Referenzfahrzeuge hinsichtlich der Elektrifizierung, dem Markthochlauf der Elektromobilität sowie der damit einhergehende Ladeinfrastrukturaufbau erfolgen wie im Referenzszenario.
Automatisiertes Fahren/Neue Mobilität	Aufgrund eines Technologiesprungs bei Komponenten des vernetzten und automatisierten Fahrens kommt es nicht nur früher zur Einführung höherer Automatisierungsstufen. Es gelingt den Herstellern der Komponenten auch früher, nennenswerte Skaleneffekte zu erzielen. Es kommt somit auf dem privaten Pkw-Markt zu einer schnelleren Kostendegression für Sensoren und andere Komponenten für das automatisierte Fahren. Folglich gibt es bereits 2028 Pkw mit Level 4-Funktionen auf Autobahnen (mehrheitlich im SEG-3). Auch im urbanen Raum gibt es bereits erste Modellanwendungen. In SEG-3-Fahrzeugen wird zudem ab

	2035 die Möglichkeit von Level 5-Funktionen in allen Umgebungen geschaffen. Mobilitätsdienstleistungen mit Level 4-Fahrzeugen in räumlich begrenzten Anwendungen haben bereits ab 2030 einen signifikanten Marktanteil erreicht. Bereits vor 2040 werden Massenanbieter neuer Mobilitätskonzepte in den Markt eintreten. Aufgrund der früheren Einführung höherer Automatisierungsstufen ändern sich die Referenzfahrzeuge hinsichtlich der verbauten Sensorik, Konnektivität und Datenverarbeitung.

2.1.4 Progressives Szenario

Im Progressiven Szenario kommt es im Vergleich zum Referenzszenario sowohl zu einer beschleunigten technologischen Entwicklung der Elektromobilität als auch zu einer rascheren Einführung höherer Automatisierungsstufen. Das Szenario kombiniert somit die Annahmen aus den beiden Szenarien Verstärkte Elektrifizierung bzw. Automatisierung und analysiert insbesondere den Spillover einer beschleunigten Automatisierung auf den Erfolg der Elektromobilität.

Batteriekosten/Kosten	Die Batteriekosten entwickeln sich wie im Szenario Verstärkte Elektrifizierung.
Markthochlauf Elektromobilität	Wie im Szenario Verstärkte Elektrifizierung kommt es auch zu einer stärkeren Förderung der Elektromobilität durch die Politik. FCEVs erlangen ebenfalls kaum an Bedeutung, da der Fokus auf batterieelektrischen Fahrzeugen liegt.
Automatisiertes Fahren/Neue Mobilität	Die Entwicklung der Technologie sowie der Kosten für das vernetzte und automatisierte Fahren erfolgen hingegen wie im Szenario Verstärkte Automatisierung. Die Referenzfahrzeuge stellen ebenfalls eine Mischung der Referenzfahrzeuge aus den Szenarien Verstärkte Elektrifizierung und Verstärkte Automatisierung dar.

Im Progressiven Szenario begünstigt die beschleunigte Automatisierung die Entwicklung der Elektromobilität im Vergleich zum Szenario Verstärkte Elektrifizierung zusätzlich. Denn die Automatisierung wirkt Reichweitenängsten entgegen, da fahrerlose Fahrzeuge sich an einer günstig gelegenen Ladesäule dann selbst aufladen, wenn sie nicht benötigt werden.

2.2 Szenarioübergreifende Annahmen

Den vier Szenarien unterliegen eine Vielzahl an szenarioübergreifenden Annahmen, die im Folgenden in der gebotenen Kürze dargelegt werden.

2.2.1 Kraftstoffpreise und Strompreise

Einen wesentlichen Einfluss auf den Markthochlauf von Elektrofahrzeugen werden der Kraftstoff- sowie der Strompreis haben. Je günstiger der Strom und je teurer der

Kraftstoffpreis, umso attraktiver werden Elektrofahrzeuge für den Verbraucher. Der Rohölpreis, welcher den Kraftstoffpreis maßgeblich beeinflusst, liegt 2025 bei rund 83 US-Dollar/Barrel und 2040 bei rund 110 US-Dollar/Barrel (IEA, 2018a).

Ferner wird angenommen, dass der reale Strompreis in Deutschland in etwa auf heutigem Niveau bleibt.

Eine aktuell angekündigte CO_2-Bepreisung für Kraftstoffe wird nicht berücksichtigt, da noch unklar ist, wie diese im Detail letztlich ausgestaltet sein wird und wie stark sie sich auf den Kraftstoffpreis auswirkt.

2.2.2 Infrastrukturelle und rechtliche Rahmenbedingungen

Wie in Teil II herausgearbeitet, hemmen der Ausbau der digitalen Infrastruktur sowie die Gesetzgebung und Regelung die Entwicklung des vernetzten und automatisierten Fahrens in Deutschland. Wir gehen in allen Szenarien davon aus, dass diese Hemmnisse bis 2025 beseitigt werden, um die Entwicklung der Technologien modellieren zu können. Annahmegemäß gibt es deutschlandweit bis zur Einführung höherer Automatisierungsstufen eine weitreichende Abdeckung des zukünftigen Mobilfunkstandards. Wir gehen ebenfalls davon aus, dass eine entsprechende digitale Straßeninfrastruktur im Hinblick auf V2X-Kommunikation zur Verfügung stehen wird und bis 2025 alle offenen Fragen bezüglich der Zulassung höherer Automatisierungsstufen zufriedenstellend geklärt sein werden. Auch die Weitergabe und der Zugang zu Daten sind annahmegemäß bis dahin europaweit geregelt. Gezielte Maßnahmen, um diese Rahmenbedingungen in Deutschland zu schaffen, werden in Teil V präsentiert.

Auch unterstellen wir, dass eine flächendeckende öffentliche Ladeinfrastruktur bis 2025 erreicht wird, um Reichweitenängste zu nehmen.[113] Gezielte Maßnahmen, um dies zu erreichen, werden in Kapitel V.5 präsentiert.

2.2.3 Bestimmung der Mobilitätsnachfrage

Die verkehrswissenschaftliche Forschung hat gezeigt, dass die Mobilitätsnachfrage unter anderem durch die vier folgenden Faktoren determiniert wird: Kaufkraft, Zahlungsbereitschaft für Mobilität, Präferenzen für die verschiedenen Formen der Mobilität und der Preis jeder Mobilitätsform.[114] Diese Faktoren variieren nicht über die Szenarien. Folgende Entwicklungen werden unterstellt:

1. Die **Kaufkraft bzw. das Bruttoinlandsprodukt (BIP) pro Kopf** wächst jährlich in Deutschland zwischen 1 und 2%.[115]
2. Die **Zahlungsbereitschaft der Konsumenten für Mobilität** bleibt gleich. Der Anteil der Ausgaben für Mobilität an den gesamten Ausgaben bleibt unverändert.[116]
3. Die **Mobilitätspräferenzen** variieren über die Generationen hinweg:

[113] Siehe Teil IV für eine detaillierte Beschreibung der Annahmen zur öffentlichen Ladeinfrastruktur.
[114] Siehe z.B. Institut für Mobilitätsforschung (ifmo) (2008) oder Herget (2016).
[115] OECD (2018), GDP long-term forecast (indicator).
[116] Laut Statistischem Bundesamt wendete jeder Haushalt zwischen 2012 und 2017 durchschnittlich rund 14% seiner Ausgaben für Mobilität auf. Während die Ausgaben für Fahrzeuge von 4% auf 5% anstiegen, blieben die Ausgaben für die Personenbeförderung konstant. Siehe Statistisches Bundesamt (Laufende Wirtschaftsrechnungen. Einkommen, Einnahmen und Ausgaben privater Haushalte, Fachserie 15 Reihe 1, Tabelle 3.1).

Zum einen gehen wir davon aus, dass es für jüngere Menschen immer weniger relevant sein wird, ein eigenes Auto zu besitzen. An sie richten sich die neuen Mobilitätsdienste wie Carsharing oder Ridehailing, wodurch Fahrten mit dem privaten Fahrzeug substituiert werden. Daher wird der Anteil der im privaten Pkw zurückgelegten Kilometer sinken. Auch wird der Motorisierungsgrad – der Bestand an Pkw im Verhältnis zur Bevölkerung – fallen.

Zum anderen gehen wir davon aus, dass der steigende Anteil der älteren Bevölkerung dazu beitragen wird, dass sich der Modal Split verändern wird. [117] Ein wachsender Teil der Bevölkerung wird Fahrzeuge nicht mehr selbst steuern können und wird auf andere Verkehrsmittel zurückgreifen – soweit die entsprechenden Angebote vorhanden sind.[118] Beispielsweise werden im Zuge einer voranschreitenden Automatisierung insbesondere Mobilitätsdienstleistungen mit Level 4/5-Fahrzeugen zukünftig einen bedeutenden Anteil am Modal Split haben.

4. (Voll-) Automatisierte und fahrerlose Mobilitätsdienstleistungen werden zukünftig unter den günstigsten Verkehrsmitteln[119] sein und somit den **durchschnittlichen Preis der Mobilität** signifikant beeinflussen.

   Die Entscheidung eines Konsumenten für ein bestimmtes Verkehrsmittel wird maßgeblich durch den Preis bzw. Relativpreis bestimmt, der am Ende pro Kilometer bezahlt werden muss. Weitere Faktoren sind Verfügbarkeit und Flexibilität der Verkehrsmittel. Alle diese Faktoren können mit Level 4/5-Fahrzeugen adressiert werden. Vor allem ist der Betrieb von Level 4/5-Fahrzeugen pro Kilometer wesentlich kostengünstiger als im herkömmlichen Taxi und unter Umständen sogar unterhalb der Kosten für den ÖPNV.

Wir gehen des Weiteren davon aus, dass Shared Mobility-Konzepte und andere neue Mobilitätskonzepte sukzessive an Akzeptanz in der Bevölkerung gewinnen. Außerdem finden hoch- und vollautomatisierte Mobilitätsdienste bereits bei ihrer Markteinführung großen Zuspruch in der Bevölkerung.

Die Verknüpfung der Nachfrage nach Personenkilometern und des Modal Split ergeben den Absatz von Pkw.

2.2.4 Produktion: Produktivitätssteigerungen durch technischen Fortschritt

Das inländische Produktionspotenzial wird entscheidend von zwei Faktoren bestimmt: (1) installierte Kapitalausstattung und (2) Fahrzeugnachfrage. Das Produktionspotenzial der in Deutschland produzierten Pkw wird durch die **installierten Produktionskapazitäten begrenzt**. Aufgrund von Produktivitätssteigerungen – beispielsweise durch Industrie 4.0 – wird es zukünftig möglich sein, bei geringeren Kosten die gleiche Menge zu produzieren. Eine stetig wachsende Kapitalintensität erhöht aber auch die Arbeitsproduktivität, was sich direkt auf die Beschäftigung in einer Industrie auswirkt. Für einen gegebenen Output der Industrie verringert sich die Arbeitsnachfrage und somit die Beschäftigung. Der Trend vom ICE hin zur ohnehin weniger arbeitskräfteintensiven

[117] Wir unterstellen, dass dieser Effekt den potenziellen Effekt überwiegt, dass automatisierte Fahrzeuge auch eine längere Nutzung des privaten Pkw im Alter ermöglichen.
[118] Wir unterstellen, dass dieser Effekt den potenziellen Effekt überwiegt, dass automatisierte Fahrzeuge auch eine längere Nutzung des privaten Pkw im Alter ermöglichen.
[119] Der Betrieb von Level 4/5-Fahrzeugen wird insbesondere aufgrund der Einsparung von Personalkosten zu niedrigeren Preisen möglich sein (Roland Berger, 2017b). Aktuelle Schätzungen gehen von unter 20 Cent pro gefahrener Meile (ungefähr 1,6 km) aus (RethinkX, 2017). Die Regulierung wird den finalen Preis maßgeblich beeinflussen.

Elektromobilität wird diese generelle Tendenz zum Beschäftigungsabbau aufgrund zunehmender Kapitalintensität noch verstärken.

Wir unterstellen, dass die Produktivitätssteigerung bei BEVs zwischen 2017 und 2025 bei 3% pro Jahr liegt. Danach schwächt sich die Produktivitätssteigerung ab und fällt bis 2035 auf 2% pro Jahr. Auf diesem Niveau bleibt sie dann bis 2050. Für alle anderen Fahrzeugtypen unterstellen wir eine jährliche Produktivitätssteigerung von 2%. Damit folgen wir im Wesentlichen der ELAB 2.0-Studie des Fraunhofer IAO (Fraunhofer IAO, 2018).[120]

Die Pkw-Produktion in Deutschland wird durch **drei zentrale Nachfragefaktoren** determiniert. Erstens spielt die Pkw-Nachfrage in Deutschland eine wichtige Rolle. 2017 wurden etwa 22% der in Deutschland produzierten Pkw auch im Inland abgesetzt.[121] Zweitens spielt insbesondere die europäische Pkw-Nachfrage eine zentrale Rolle für die Inlandsproduktion. 2017 verblieben etwa 65% der von Deutschland aus exportierten Pkw in Europa, 50% in Westeuropa. Die Entwicklung der Nachfrage in Europa ist somit die wichtigste Determinante für die Pkw-Produktion. Drittens spielt die globale Pkw-Nachfrage außerhalb Europas eine Rolle für die Pkw-Inlandsproduktion.

2.2.5 Importe und Exporte

Um von Absatzprognosen bzw. Nachfrageprognosen zu Produktionsprognosen zu kommen, wird – ausgehend vom Status Quo – die Entwicklung der Pkw-Importquoten spezifiziert. Die Importquote ist der Anteil der in Deutschland neu zugelassenen Pkw, der aus ausländischer Produktion stammt. Die Importe von Pkw werden in keiner bekannten Datenbank veröffentlicht. Wir folgen der Systematik der NPE (NPE, 2016b) und des IAB (IAB, 2018b) zur Ermittlung der Importe. Diese ist in Tab. 3 dargestellt. Im Status Quo (2017) wurden 1,3 Mio. Pkw aus Inlandsproduktion in Deutschland zugelassen. Die Neuzulassungen aus Inlandsproduktion berechnen sich aus der Subtraktion der Exporte von den in Deutschland produzierten Pkw. Die Importe berechnen sich als Residuum zwischen den gesamten Neuzulassungen und den Neuzulassungen aus Inlandsproduktion.

Tab. 3: Berechnung der Importquoten

	2017			
Angaben in Mio. Pkw	Alle	ICE (inkl. HEV)	BEV	PHEV
Inlandsproduktion	5,65	5,47	0,05	0,12
Exporte	4,38	4,24	0,04	0,10
Neuzulassungen in Deutschland	3,44	3,39	0,03	0,03
Neuzulassungen aus Inlandsproduktion	1,26	1,23	0,01	0,02
Importe	2,18	2,15	0,02	0,01
Importquote	63%	64%	65%	27%

[120] Die ELAB 2.0-Studie hat einen hohen Detailgrad der Modellierung. Die Autoren gehen bis 2030 von einer Produktivitätssteigerung von jährlich 2% bei Komponenten des konventionellen Antriebsstrangs (Verbrennungsmotor samt Peripherie, Automatik- und Hybridgetriebe) und von jährlich 3% bei Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs (Elektromotor, Traktionsbatterie, Leistungselektronik) aus (Fraunhofer IAO, 2018).

[121] Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Zusatzauswertungen der Abteilung Märkte, Analysen, Rohstoffe, Statistik des VDA für dieses Forschungsvorhaben.

Quelle: IPE. Eigene Berechnungen basierend auf Daten des VDA und KBA. Durch Rundungsdifferenzen ergeben sich vereinzelt Abweichungen.

2017 lag die Importquote von ICEs bei etwa 63%. Die Importquote unterscheidet sich dabei grundlegend zwischen den Segmenten und Antriebsarten. Wurden 2017 etwa 90% der ICEs im SEG-1 importiert, waren es im SEG-3 nur etwa 44%. 2017 lag die Importquote von BEVs bei etwa 65%. Die Importquote von PHEVs lag bei etwa 27%.

Zur Prognose der Importquote für Elektrofahrzeuge wird unterstellt, dass diese sich der Importquote von ICEs über alle Segmente bis 2035 angleicht. Die Restgröße aus den Importen sowie den Neuzulassungen in Deutschland gibt anschließend an, wie viele Pkw in Deutschland für den Absatz auf dem inländischen Markt produziert werden müssen.

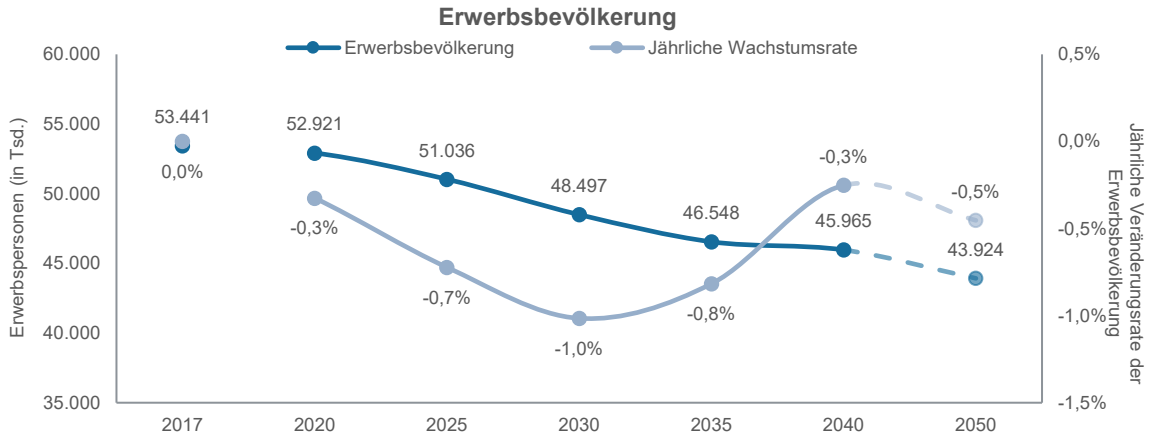
Als weitere Restgröße ergibt sich das Exportvolumen von Pkw. Nachdem die Anzahl der im Inland verbleibendenden Pkw bestimmt wurde, ergibt sich die Anzahl an Pkw, die exportiert werden, als Differenz zur Inlandsproduktion.

Die Exporte von Teilen, Karosserien und Fahrgestellen (fortan Pkw-Teile) werden nicht explizit im Profit Pool Modell modelliert. Allerdings kann deren zukünftige Entwicklung auf Basis der weltweiten Absatzprognose abgeschätzt werden, welche auch die Exporte von Pkw bestimmt. Es wird unterstellt, dass sich der Exportwert von Pkw-Teilen im Zeitverlauf mit derselben Wachstumsrate wie die Exporte von Pkw entwickelt. Diese Annahme könnte abgeschwächt werden, ist aber letztendlich nicht entscheidend für die Zahl der berechneten Arbeitsplätze.

2.2.6 Entwicklung der Erwerbsbevölkerung

Die Erwerbsbevölkerung in einer Volkswirtschaft begrenzt den Einsatz des Produktionsfaktors Arbeit, welcher einen entscheidenden Wettbewerbsfaktor darstellt. Als Erwerbspersonen werden dabei (erwerbstätige und erwerbslose) Personen im Alter von 15 bis 64 Jahren definiert. Um das verfügbare Arbeitskräfteangebot und somit die in Deutschland mögliche Produktion zu bestimmen, verwenden wir sowohl die Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes als auch die Fachkräfteprognose des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (BMAS). Da die Bevölkerung Deutschlands von heute 83 Mio. Menschen bis 2050 auf knapp 72 Mio. zurückgehen wird, kommt es zukünftig auch zu einer Verringerung der Erwerbsbevölkerung. Diese sinkt im selben Zeitraum um 18% von rund 53 Mio. auf 44 Mio. (siehe Abb. 31). Besonders um 2030 wird die Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter zurückgehen, da dann die geburtenstarken Jahrgänge der 1960er-Jahre in den Ruhestand eintreten (Bertelsmann Stiftung, 2019).

Abb. 31: Entwicklung der Erwerbsbevölkerung, 2017 und in der Studie verwendete Prognose 2020 bis 2050



Quelle: IPE. Eigene Berechnungen basierend auf Daten des Statistischen Bundesamtes (Bevölkerungsvorausberechnung. BEV VARIANTE-02: Kontinuität bei stärkerer Zuwanderung (G1-L1-W2)). Entwicklung der Erwerbsbevölkerung zwischen 15 und 64 Jahren.

In einer Studie im Auftrag des BMAS wird prognostiziert, dass die Anzahl der Erwerbspersonen[122] bis 2030 um 1,6% gegenüber 2014 zurückgehen wird (BMAS, 2016). Die Bertelsmann Stiftung kommt in einer aktuellen Studie zu dem Ergebnis, dass das Erwerbspersonenpotenzial in Deutschland bei einer jährlichen Nettozuwanderung von 200.000 Personen bis 2060 um 6,3 Mio. schrumpfen würde (Bertelsmann Stiftung, 2019). Es bedürfe vielmehr einer jährlichen Nettozuwanderung von 420.000 Personen, um das Arbeitsangebot bis 2060 gegenüber 2017 konstant zu halten.

2.2.7 Wertschöpfung in der Automobilindustrie

Eine starke Wettbewerbsposition der deutschen Automobilindustrie bei Verbrennern bzw. dessen Komponenten sicherte bisher Wertschöpfung in Deutschland. Zukünftige Wertschöpfung in Deutschland hängt unter anderem davon ab, ob die Automobilindustrie es schafft, ihre Wettbewerbsposition zu halten. Wir gehen im Folgenden davon aus, dass es den deutschen Unternehmen aufgrund entsprechender Rahmenbedingungen sowie vorausschauender Entscheidungen gelingen wird, ihre Spitzenposition im Markt zu verteidigen (siehe dazu auch Abschnitt 3.4). Die Wertschöpfung der deutschen Automobilindustrie ergibt sich aus der Summe des Wertschöpfungsanteils pro in Deutschland produziertem Fahrzeug, der Wertschöpfung aus Exporten von Vorleistungen (Teile, Karosserien und Fahrgestelle) und des Wertschöpfungsanteils pro importiertem Fahrzeug (siehe Abb. 29 Kapitel 1.3).

Die Wertschöpfung pro in Deutschland produziertem Fahrzeug wird basierend auf den Herstellkosten bzw. dem Produktionswert eines Fahrzeugs bestimmt. Damit variiert sie stark nach Segment und Antrieb. Wertschöpfungsverschiebungen aufgrund fahrzeugtechnischer Entwicklungen ergeben sich als Summe der zusätzlichen Kosten der neuen oder geänderten Komponenten, Baugruppen oder Systeme im Fahrzeug, abzüglich der Minderkosten durch wegfallende Umfänge. Die Grundlage für die Quantifizierung der

[122] Die Erwerbsbevölkerung umfasst im Gegensatz zu den Erwerbspersonen alle Personen im Alter zwischen 15 und 64 Jahren, also auch Nichterwerbspersonen, welche keine Erwerbsarbeit ausüben oder suchen. Das sind z.B. Schüler, Studenten oder Rentner.

Kosten liefert eine aus verschiedenen Vorarbeiten aufgebaute, validierte und für den Zweck dieser Studie erweiterten Kostendatenbank.

Automatisierte Fahrfunktionen werden die technologische Ausstattung der Fahrzeuge hinsichtlich Sensorik, Konnektivität und Datenverarbeitung verändern. Dies betrifft vor allem die Hauptgruppe Elektrik und Elektronik. Entsprechend steigen die Wertschöpfungsumfänge dieser Hauptgruppe im Vergleich zum Status Quo, besonders in den Szenarien mit schnelleren Marktentwicklungen automatisierter Fahrfunktionen.

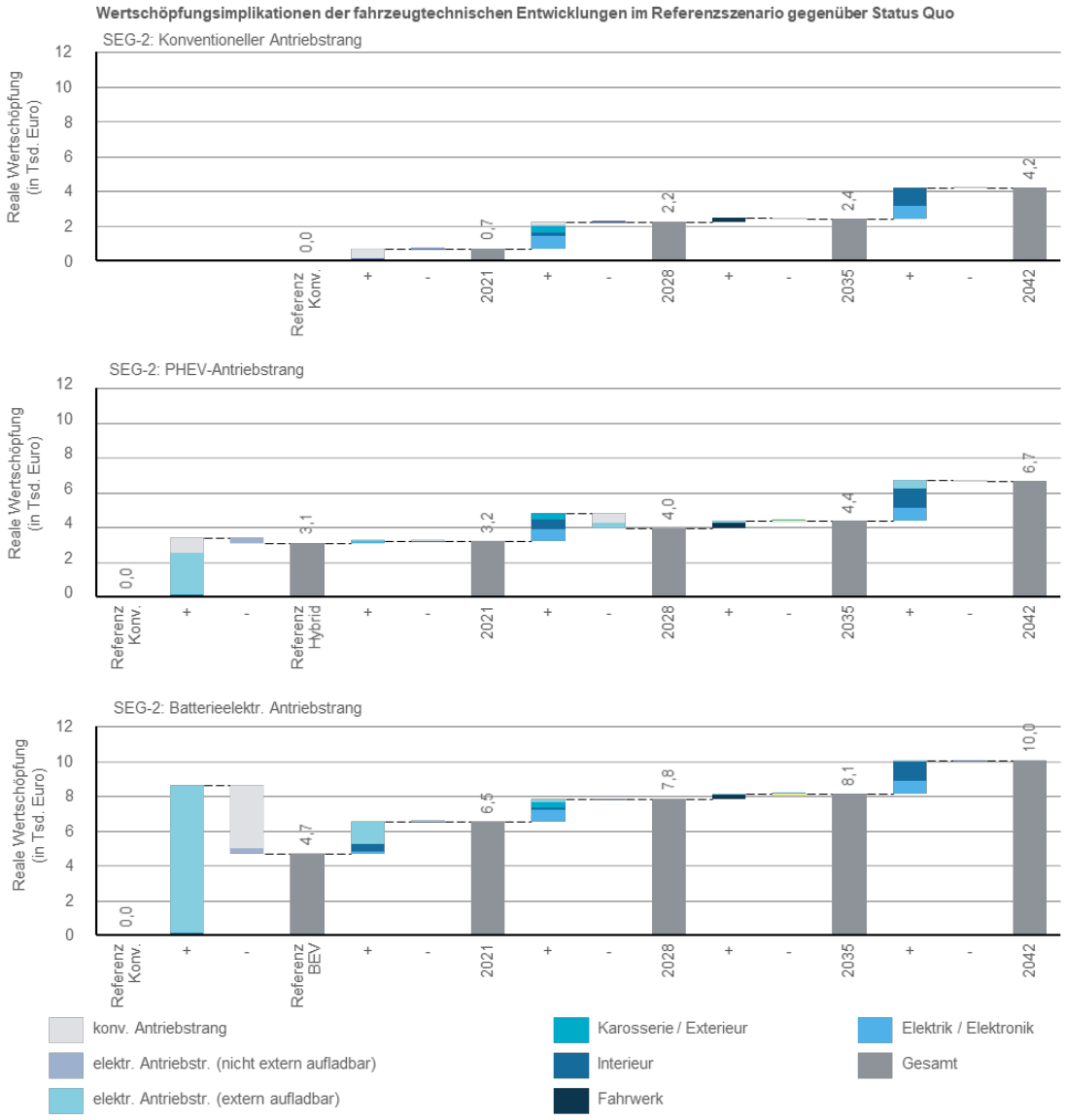
Die Wertschöpfung eines in Deutschland produziertem BEV unterscheidet sich aufgrund der unterschiedlichen Komponenten von der Wertschöpfung eines ICE. Zum einen entfällt beim BEV eine Vielzahl an Komponenten, wodurch die Wertschöpfung zurückgeht. Hinzu kommt jedoch die Wertschöpfung durch die Fertigung der Traktionsbatterie. 2016 lagen die Batteriekosten als Anteil der Gesamtkosten des Fahrzeugs bei BEVs zwischen 25 und 35 und bei den PHEVs zwischen sechs und neun Prozent (Fraunhofer ISI, 2017; BMF, 2019).

Abb. 32 stellt exemplarisch die Kostenentwicklung eines Fahrzeugs in SEG-2 im Referenzszenario dar. Das Referenzfahrzeug mit konventionellem Antriebsstrang im Basisjahr stellt dabei den Ausgangspunkt für die Quantifizierung der Kostenunterschiede für alle Antriebsarten und Zeitpunkte dar. Das Hybrid-Referenzfahrzeug im Basisjahr sowie das BEV-Referenzfahrzeug im Basisjahr werden durch Differenzbildung der hinzukommenden (+) und der wegfallenden (-) Umfänge aus dem Referenzfahrzeug mit konventionellem Antriebsstrang hergeleitet und anschließend über die Zeit hinweg weiterentwickelt. Im Fahrzeug mit konventionellem Antriebsstrang finden z.B. bis 2021 Änderungsumfänge in Höhe von ca. 700 Euro im Mittelklassesegment statt, welche sich überwiegend aus Optimierungen des Antriebsstrangs ergeben. In der folgenden Modellgeneration entwickeln sich die Fahrzeuge gemäß der Modellierung vorwiegend im Bereich der Automatisierung weiter. Diese Entwicklung schlägt sich hauptsächlich in zusätzlicher Wertschöpfung im Bereich Elektrik/Elektronik nieder und führt etwa im Modelljahr 2028 pro Fahrzeug in diesem Segment zu einer zusätzlichen – nicht zwangsläufig in Deutschland zu erbringenden – Wertschöpfung von ca. 2.200 Euro.

Fahrzeuge mit elektrifiziertem Antriebsstrang werden kostenseitig zunächst aus dem konventionellen Referenzfahrzeug des jeweiligen Segments abgeleitet. Im rein batterieelektrischen Fahrzeug des Mittelklassesegments wird deutlich, dass den hohen zusätzlichen Kosten für Batterie, Elektromotor oder Leistungselektronik Minderkosten durch den Wegfall vieler Komponenten des konventionellen Antriebsstrangs entgegenstehen. Die zusätzlichen Kosten des Referenz-BEV im Mittelklassesegment betragen im Status Quo ca. 4.700 Euro. Da sich nach 2021 kostensteigernde Effekte der weiteren qualitativen Aufwertung des elektrischen Antriebsstrangs und kostensenkende Effekte der Effizienzsteigerung überwiegend die Waage halten, wird auch hier die Wertschöpfungsentwicklung zunehmend durch die Themen Elektrik/Elektronik und Interieur bestimmt (siehe Abschnitt 3.1 für eine detaillierte Beschreibung der fahrzeugtechnischen Entwicklung).

Auch PHEV werden aus dem konventionellen Referenzfahrzeug des jeweiligen Segments abgeleitet. Die zusätzlichen Kosten des Referenz-PHEV im Mittelklassesegment betragen im Status Quo ca. 3.100 Euro. Ab 2035 wird auch hier die Wertschöpfungsentwicklung zunehmend durch die Themen Elektrik/Elektronik und Interieur bestimmt.

Abb. 32: Wertschöpfung pro Fahrzeug im SEG-2 im Referenzszenario



Quelle: fka. Eigene Darstellung.

Ein zentraler Block bei der Wertschöpfung pro BEV und PHEV sind die Batteriezellen. Ungefähr 40% der Gesamtwertschöpfung einer Batterie entfallen derzeit auf diese Stufe (ika und fka, 2014). In Deutschland werden aktuell keine Batteriezellen gefertigt, sodass dieser Teil der Wertschöpfung nicht in Deutschland stattfindet. Die Integration der Batterien erfolgt jedoch durch die OEMs in Deutschland und kann somit der Wertschöpfung in Deutschland zugerechnet werden. Wir legen in unseren Berechnungen die Annahme zugrunde, dass es auch bis 2050 keine nennenswerte Batteriezellfertigung in Deutschland geben wird. Erstens scheint der Vorsprung bei den Stückkosten der aktuellen Batteriegeneration uneinholbar. Zweitens ist die wettbewerblich sinnvolle internationale Arbeitsteilung bei der nächsten Batteriezellgeneration noch völlig offen. Beide Aspekte werden in Teil V (Handlungsempfehlungen) detailliert ausgeführt. Die Integration erfolgt jedoch vollständig in Deutschland. Wir gehen folglich nicht davon aus, dass bei BEVs oder PHEVs – im Gegensatz zu ICEs – die komplette Wertschöpfungskette in Deutschland abgebildet wird. Entsprechend liegt die Local-Content-Quote bei Elektrofahrzeugen unterhalb der von ICEs.

Die unterschiedlichen Wertschöpfungsumfänge wirken sich auf die Anzahl der Arbeitsplätze aus, die zukünftig in der deutschen Automobilindustrie bestehen. Zur Produktion eines BEVs werden weniger Arbeitsstunden benötigt, da weniger Komponenten im elektrischen Antriebsstrang als im konventionellen Antriebsstrang verbaut werden. Daher entfallen rund 60% mehr Wertschöpfung auf einen Arbeitsplatz in der Herstellung eines elektrischen Antriebsstrangs (Fraunhofer IAO, 2018). In einem durchschnittlichen Fahrzeug der Kompaktklasse entfallen rund 30% der Gesamtwertschöpfung des Fahrzeugs auf den Antriebsstrang. Die Wertschöpfungsverschiebungen pro Arbeitsplatz aufgrund des Entfalls des konventionellen Antriebsstrangs sind somit substanziell.

Darüber hinaus entsteht auch bei im Ausland produzierten Pkw sowie bei importierten Pkw Wertschöpfung in Deutschland. Zur Herstellung von Pkw lieferten in Deutschland ansässige Zulieferer und OEMs 2017 Vorleistungen (Teile, Karosserien und Fahrgestelle) im Wert von 55 Mrd. Euro ins Ausland.[123]

Bei importierten Pkw gehen wir davon aus, dass ein Teil der Wertschöpfung in Deutschland entsteht, etwa durch F&E-Zentren ausländischer OEMs in Deutschland.[124] Ein Teil der Forschungsaufwendungen wird von den ausländischen Herstellern pauschal mit in die Fahrzeugpreise einberechnet, sodass ein (kleiner) Teil der Wertschöpfung ausländischer OEMs durch Fahrzeugimporte als Wertschöpfung in Deutschland angesetzt werden kann.

2.2.8 Wertschöpfung im Automobilhandel und Aftermarket

Der **Automobilhandel** wird maßgeblich durch die Anzahl der in Deutschland verkauften Pkw beeinflusst. Neben dem Verkauf von Neuwagen, welche 2016 für 60% des Umsatzes im Automobilhandel verantwortlich waren, handelt es sich dabei auch um den Gebrauchtwagenmarkt.[125] Wertschöpfung und Beschäftigung im Automobilhandel hängen damit – anders als die Wertschöpfung der Automobilindustrie – nicht in erster Linie von der Inlandsproduktion ab.

Bis 2030 verwenden wir die im Profit Pool Modell berechneten Umsätze der Autohäuser durch den Verkauf von Neu- und Gebrauchtwagen. Zur Berechnung der Umsätze verwendet das Profit Pool Modell szenarioübergreifende Annahmen über die Entwicklung von Verkaufspreisen inkl. Handelsmargen, Abschreibungs- bzw. Verschleißraten von Gebrauchtwagen, Zeitraum bis zur Verschrottung, Nutzungsdauer und Jahreslaufleistung nach Modal Split. Nach 2030 schreiben wir die Umsätze und die Wertschöpfung im Verhältnis zur Entwicklung der durchschnittlichen Verkaufspreise sowie der Neuzulassungen in Deutschland entsprechend bis 2050 fort. Wir gehen davon aus, dass die durchschnittlichen realen Verkaufspreise von Neuwagen über die Zeit ansteigen. Während die Preise von ICEs durchschnittlich mit 1,3% pro Jahr wachsen, steigen die Preise von BEVs und PHEVs bis 2030 je nach Segment nur zwischen 0,1 bis 0,9% pro Jahr. Nach 2030 ist sogar mit negativen Wachstumsraten zu rechnen, sodass sich die Preise von BEVs und PHEVs denen von ICEs bis 2035 angeglichen haben. Nach 2035 wachsen die Preise von BEVs und PHEVs mit 1,3% pro Jahr. Wir gehen aufgrund der steigenden Fahrzeugpreise von einer Produktivitätssteigerung im Automobilhandel von 2% pro Jahr aus.

[123] Eigene Berechnungen basierend auf Daten des Statistischen Bundesamtes. Aus- und Einfuhr (Außenhandel). Tabelle 51000-0010.
[124] Beispielsweise besitzt Toyota einen F&E-Standort in Köln. FCA und Kia besitzen jeweils Zentralen in Frankfurt am Main.
[125] Eigene Berechnungen basierend auf Daten aus DAT (2018).

Es wird zukünftig über alle Antriebsarten hinweg – unter anderem aufgrund des vernetzten und automatisierten Fahrens und somit neuer digitaler Services – zu einem Anstieg des durchschnittlichen Umsatzes pro Pkw im **Aftermarket** kommen. Im Vergleich liegen die Umsätze pro Pkw bei Elektrofahrzeugen aufgrund niedrigerer Wartungs- und Reparaturarbeiten unter denen von ICEs.[126]

Allerdings wird Automatisierung in Verbindung mit Shared Mobility-Konzepten zu einem geringeren Fahrzeugbestand führen und sich negativ auf den Umsatz im Aftermarket auswirken.[127]

Bis 2030 werden die durch das Profit Pool Modell berechneten Service- und Teileumsätze verwendet. Sie berücksichtigen Segment, Antrieb und Alter des Fahrzeugs. Wir nehmen an, dass der Serviceumsatz pro Fahrzeug über alle Antriebe hinweg mit 1,3% pro Jahr bis 2030 ansteigt. Jedoch unterscheidet sich der Servicebedarf zwischen den Antrieben aufgrund der wegfallenden Komponenten. Im Schnitt ist der Serviceumsatz pro Fahrzeug bei ICEs höher.

Der Teileumsatz variiert ebenfalls über die Antriebsarten. Wir nehmen an, dass der Umsatz durch Ersatzteile im Standardgeschäft beim BEV niedriger ausfällt.[128] Dieser Verlust wird jedoch über den Lebenszyklus hinweg durch den kostenintensiven Tausch der Batterie kompensiert. Im Ergebnis liegt der durchschnittliche Umsatz durch Ersatzteile bei BEVs und PHEVs schließlich über dem von ICEs.

Nach 2030 wird der Umsatz pro Fahrzeug bei ICEs und PHEVs um 1%, bei BEVs um 2% pro Jahr erhöht. Level 4/5-Taxis generieren den gleichen durchschnittlichen Umsatz pro Jahr wie ein privater Pkw. Allerdings scheiden diese Fahrzeuge aufgrund der höheren Laufleistung bereits nach drei Jahren aus dem Markt aus.

Darüber hinaus nehmen wir an, dass es wie in der Herstellung von Pkw auch im Aftermarket zu einer Produktivitätssteigerung kommt. Bei ICEs und PHEVs gehen wir von einer jährlichen Produktivitätssteigerung von 2% aus. Bei BEVs liegt sie bis 2030 bei 3%, danach konvergiert sie bis 2035 zur angenommenen Produktivitätssteigerung von ICEs und PHEVs (2%).

2.2.9 Wertschöpfung in eng verflochtenen Branchen

Der strukturelle Wandel der Automobilindustrie wirkt sich durch Verflechtungen entlang der Wertschöpfungskette auch auf Branchen aus, die eng mit der Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen verflochten sind. Mit den Input-Output-Tabellen des Statistischen Bundesamtes lassen sich die Branchen identifizieren, welche die höchste wertmäßige Verflechtung mit der Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen aufweisen.

Tab. 4 ist ein Auszug aus der Input-Output-Tabelle zu Herstellerpreisen von 2015 (dem aktuellsten verfügbaren Jahr), welcher die Summe der inländischen Vorleistungen der Produktionsbereiche darstellt, die an die Automobilbranche (WZ29) geleistet wurden.[129]

---

[126] Beispielsweise werden Bremsbeläge weniger abgenutzt und Dienstleistungen wie Ölwechsel werden zukünftig entfallen.

[127] Ein gemeinschaftlich genutztes Fahrzeug in der Flotte eines Mobilitätsdienstleisters deckt die Mobilitätsleistung von mehreren individuell besessenen Fahrzeugen ab. Dadurch verringert sich der notwendige Fahrzeugbestand. Siehe dazu auch Abschnitt II.4.2.

[128] Laut dem deutsche Kraftfahrzeuggewerbe e.V. Zentralverband (ZDK) sinkt der Umsatz durch Ersatzteile beim Standardgeschäft, wie etwa der sogenannten Großen Wartung, von durchschnittlich 260 Euro beim ICE auf 61 Euro beim BEV (ZDK, 2018).

[129] Eine ausführliche Input-Output-Tabelle befindet sich im Anhang (siehe Tab. 11).

Insgesamt kamen 2015 etwa 72% der Vorleistungen der Automobilindustrie aus Deutschland. Dies entspricht einem Produktionswert von insgesamt 196 Mrd. Euro. Vorleistungen aus Importen werden nicht nach Wirtschaftszweigen ausgewiesen.

Tab. 4: Verflechtungen der inländischen Produktion von Kraftwagen und Kraftwagenteilen (WZ29), 2015

CPA	Gütergruppen (Zeilen 1 bis 72)	Produktionswert Absolut (in Mio. Euro)	In Prozent	Input-Koeffizient	Anteil Vorleistung in die WZ29 am Gesamtoutput des Sektors
Summe		**195.663**	100,0%	***53,7***	-
29	Kraftwagen und Kraftwagenteile	96.634	49,4%	26,5	26,5%
25	Metallerzeugnisse	13.000	6,6%	*3,6*	10,5%
45	Handelsleistungen mit Kfz, Instandhaltung und Reparatur an Kfz.	10.872	5,6%	*3,0*	13,4%
22	Gummi- und Kunststoffwaren	8.449	4,3%	*2,3*	11,5%
24.5	Gießereierzeugnisse.	7.638	3,9%	*2,1*	39,7%
46	Großhandelsleistungen (ohne Handelsleistungen mit Kfz)	5.629	2,9%	*1,5*	2,3%
28	Maschinen	4.468	2,3%	*1,2*	2,0%
33	Reparatur, Instandh. u. Installation v. Maschinen u. Ausrüstungen	4.410	2,3%	*1,2*	8,9%
69-70	Dienstleistungen der Rechts-, Steuer- und Unternehmensberatung	3.803	1,9%	*1,0*	3,0%
52	Lagereileistungen, sonstige Dienstleistungen für den Verkehr	3.570	1,8%	*1,0*	2,8%
78	Dienstleistungen der Vermittlung und Überlassung von Arbeitskräften	3.470	1,8%	*1,0*	9,8%
24.1-24.3	Roheisen, Stahl, Erzeugn. der ersten Bearbeitung von Eisen und Stahl	3.415	1,7%	*0,9*	4,2%
68	Dienstleistungen des Grundstücks- und Wohnungswesens	2.857	1,5%	*0,8*	0,7%
49	Landverkehrs- und Transportleistungen in Rohrfernleitungen	2.779	1,4%	*0,8*	2,7%
80-82	Wach-, Sicherheitsdienstlg., wirtschaftl. Dienstleistg. a.n.g.	2.576	1,3%	*0,7*	2,6%
47	Einzelhandelsleistungen (ohne Handelsleistungen mit Kfz)	2.540	1,3%	*0,7*	1,4%
27	Elektrische Ausrüstungen	2.412	1,2%	*0,7*	2,7%

Quelle: IPE. Eigene Berechnungen basierend auf Daten des Statistisches Bundesamt (Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Input-Output-Rechnung. Tabelle 2.3 Input-Output-Tabelle 2015 zu Herstellungspreisen – Inländische Produktion. Tabelle 3 Auswertungstabellen zu den Input-Output-Tabellen. CPA=Classification of Products by Activity (Statistische Güterklassifikation in Verbindung mit den Wirtschaftszweigen in der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft)). Anmerkung: Tabelle nicht vollständig. Auswahl der Produktionsbereiche mit einem Vorleistungsanteil größer 1%.

Fast die Hälfte der inländischen Vorleistungen (49%) wurden von Unternehmen aus der Automobilindustrie (WZ29) zugeliefert. Danach folgt die Metallindustrie (WZ25) mit einem Vorleistungsanteil von 7%. Weitere nennenswerte Zuliefervolumen kamen aus den Handelsleistungen mit Kfz, Instandhaltung und Reparatur an Kfz (Handel und Reparatur von

Kraftfahrzeugen (WZ45))[130], aus der Produktion von Gummi- und Kunststoffwaren (WZ22) sowie aus der Gütergruppe der Gießereierzeugnisse (WZ24.5).

Die Input-Koeffizienten beschreiben für jeden Produktionsbereich die zur Produktion erforderlichen wertmäßigen Inputs. Für die Erzeugung eines Produktionswertes in der Automobilindustrie in Höhe von 1 Euro waren 2015 Vorleistungen aus inländischer Produktion in Höhe von 53,7 Cent erforderlich. Davon kamen 26,5 Cent aus dem eigenen Produktionsbereich und beispielsweise 3,6 Cent aus dem Bereich der Metallerzeugnisse.[131]

Die Gießereiindustrie (WZ24.5) ist der Produktionsbereich, der den größten Anteil seines Gesamtoutputs (Produktionswert), der Automobilindustrie zuliefert. Fast 40% der produzierten Gießereierzeugnisse flossen 2015 in die Automobilindustrie. Für die Metallindustrie (WZ25) machten Güter, die in die Automobilindustrie flossen, fast 11% des Produktionswerts aus. Eine ähnliche Bedeutung – gemessen am Produktionswert der jeweiligen Industrie – hatte die Automobilindustrie für Handel und Reparatur von Kraftfahrzeugen (WZ45), Gummi- und Kunststoffindustrie (WZ22) sowie Reparatur, Wartung und Installation von Maschinen und Ausrüstungen (WZ33). Vom Wandel der Automobilindustrie dürften vor allem diese Sektoren betroffen sein.

Mithilfe der Input-Koeffizienten ist es möglich die direkten Effekte von Veränderungen eines Produktionsbereichs auf andere Produktionsbereiche abzuschätzen. Die Input-Koeffizienten dienen als Maß für die Veränderung der Nachfrage eines Produktes als Vorleistung für andere Produktionsbereiche. Die Veränderung kann dann bereichsspezifisch in Arbeitsplatzeffekte umgerechnet werden.

Diese Art der Analyse ist grundsätzlich für kleinere und kurzfristige Veränderungen anwendbar.[132] Größere Veränderungen führen zu Verschiebungen der Wertschöpfungsverflechtung. Die Produktionsbeziehungen zwischen den Produktionsbereichen könnten folglich nicht mehr durch die gegebenen Input-Koeffizienten abgebildet werden. Auch die Abschätzung sekundärer Effekte der betroffenen Produktionsbereiche auf weitere Bereiche ist aufgrund des hohen Verflechtungsgrads nahezu unmöglich.

Ein oft genanntes Beispiel für eine potenzielle Verschiebung der Wertschöpfungsverflechtung in der Automobilindustrie ist der steigende Anteil im Pkw verbauter Elektronik (siehe Kapitel I.2). Von dieser Entwicklung können Unternehmen profitieren, die Datenverarbeitungsgeräte sowie elektronische und optische Erzeugnisse herstellen (WZ26). 2015 hatte dieser Produktionsbereich einen Vorleistungsanteil von 0,2% (siehe Tab. 11 im Anhang). Zukünftig könnte sich dieser Anteil sowie der Input-Koeffizient erhöhen. Jedoch könnten sich OEMs oder Zulieferer der Automobilindustrie entscheiden, diese Produkte auch selbst herzustellen. Für derartige Entscheidungen wird es vermutlich keine einheitliche Strategie geben. Entsprechend schwierig ist es, die Entwicklung der Zulieferanteile anderer Wirtschaftszweige beziehungsweise deren Input-Koeffizienten zu prognostizieren.

---

[130] Hinweis: In den vorherigen Kapiteln betrachten wir die WZ45.1-45.3 gesondert als „Automobilhandel und Aftermarket“. Die Input-Output-Tabellen liegen jedoch nicht in dieser Gliederungstiefe vor.

[131] Außerdem waren importierte Vorleistungen und Nettogütersteuern in Höhe von zusammen 21,1 Cent, Arbeitnehmerentgelte im Inland in Höhe von 11 Cent und weitere Leistungen nötig, die im zweiten Teil der Input-Output-Tabellen (der Matrix der Primärinputs) aufgeführt werden.

[132] Z.B. für Evaluation von Förderprogrammen wie der Abwrackprämie aus dem Jahr 2009.

Um eine Abschätzung des Strukturwandels auf Zulieferer anderer Branchen zu geben, werden deren Anteile an den Vorleistungen (Input-Koeffizienten) als konstant angenommen. Somit wird nur der Effekt der veränderten Produktion von Kraftwagen und Kraftwagenteilen abgebildet, nicht aber eine möglicherweise veränderte Wertschöpfungsstruktur. Dies ist eine starke Vereinfachung und kann nur für eine **grobe Abschätzung** der Arbeitsplatzeffekte des automobilen Strukturwandels auf die Beschäftigung in den verflochtenen Sektoren dienen. Es wird daher nur der Prognosezeitraum bis 2030 betrachtet.

3. Zwischenergebnisse

Das folgende Kapitel beschreibt die Zwischenergebnisse, die auf Grundlage der Annahmen aus dem vorangegangenen Kapitel aus unseren Modellberechnungen resultieren. Zunächst werden in Abschnitt 3.1 die fahrzeugtechnischen Entwicklungen thematisiert. In Abschnitt 3.2 werden die Mobilitätsnachfrage und in Abschnitt 3.3 der Modal Split sowie die Pkw-Neuzulassungen in Deutschland dargestellt. Abschließend werden in Abschnitt 3.4 die Pkw-Produktion sowie in Abschnitt 3.5 die daraus resultierenden Exporte abgebildet.

„Das Wichtigste in Kürze“: Zwischenergebnisse

Durch die Einführung automatisierter Fahrfunktionen in Verbindung mit Shared Mobility-Konzepten wird es sowohl zu einer Veränderung der Nachfrage nach Personenkilometern als auch des Modal Split kommen. Beides bestimmt schließlich die Pkw-Nachfrage. Bis 2030 kommt es in allen Szenarien zu einer **Verschiebung von im privaten Pkw zurückgelegten Kilometern zu solchen, die über Sharing-Konzepte** zurückgelegt werden. Während diese im Referenzszenario und im Szenario Verstärkte Elektrifizierung noch nicht voll automatisiert sind, werden im **Szenario Verstärkte Automatisierung und im Progressiven Szenario erste Level 4-Fahrzeuge bereits vor 2030** im Personentransport eingesetzt und vom Konsumenten angenommen. In diesen beiden Szenarien haben Mobilitätsdienstleister mit Level 4-Fahrzeugen 2030 bereits einen Anteil am Modal Split von 5%. Infolgedessen wird es zu einem niedrigeren Motorisierungsgrad kommen. Je nach Szenario sinkt dieser bis 2040 auf 54% bzw. auf 49%.

Ein niedrigerer Motorisierungsrad und somit eine niedrigere Pkw-Nachfrage beeinflussen maßgeblich die Produktion von Pkw in Deutschland. Die insgesamt in Deutschland produzierte Anzahl an Pkw ist im Referenzszenario und im Szenario Verstärkte Elektrifizierung fast identisch. 2030 werden in beiden Szenarien etwa 6,5 Mio. Pkw und **2040 rund 7,8 Mio. Pkw hergestellt.** Im Szenario Verstärkte Automatisierung und im Progressiven Szenario wächst die Anzahl der in Deutschland produzierten Pkw aufgrund einer fallenden Nachfrage weniger stark. 2030 werden etwa 6,2 Mio. Pkw und **2040 rund 6,5 Mio. Pkw** in Deutschland hergestellt.

In allen Szenarien bleibt der Anteil der exportierten Pkw an den insgesamt in Deutschland produzierten Pkw bis 2030 relativ konstant bei etwa 80%. Nach 2030 steigt die Exportquote in allen Szenarien. Der **Marktanteil der deutschen Exporte an der globalen Nachfrage fällt** hingegen in allen Szenarien. Die inländische Produktion von Pkw wächst weniger als die globale Pkw-Nachfrage.

Die Produktion in Deutschland unterscheidet sich zwischen den Szenarien in der Zusammensetzung der verschiedenen Antriebsarten. Im **Referenzszenario und im Szenario Verstärkte Automatisierung fällt 2030 die marktdominierende Rolle**

effizienzoptimierten Verbrennungsmotoren zu. Im Zeitraum zwischen 2030 und 2040 kommt es hinsichtlich der Elektrifizierung zu einer Eigendynamik des Marktes, sodass 72% der in Deutschland produzierten Pkw 2040 elektrifiziert sind. PHEVs erreichen ihren Höchstwert bereits 2030 mit 11%. Dieser Anteil sinkt im Anschluss kontinuierlich.

Im **Szenario Verstärkte Elektrifizierung ist bereits 2030 fast die Hälfte der in Deutschland produzierten Pkw elektrifiziert**. Die Eigendynamik des Marktes hinsichtlich der Elektromobilität vollzieht sich im Szenario Verstärkte Elektrifizierung bereits etwa drei Jahre früher als im Referenzszenario.

Im **Progressiven Szenario** sind 2035 bereits zwei Drittel der produzieren Pkw elektrifiziert. Der Markthochlauf unterscheidet sich dabei erst nach 2030 signifikant von dem des Szenarios Verstärkte Elektrifizierung. 2040 sind bereits fast 90% der Neuzulassungen BEVs.

3.1 Fahrzeugtechnische Entwicklung

Insgesamt wird unterstellt, dass sich die Fahrzeuge über die verschiedenen Antriebsarten hinweg – innerhalb der jeweiligen Segmente – in ihrer technologischen Ausstattung mit der Zeit einander stark ähneln. Diese Entwicklung wird auf die Referenzfahrzeuge übertragen. Das heißt, die Referenzfahrzeuge des jeweiligen Szenarios unterscheiden sich innerhalb eines Segmentes nur hinsichtlich des Antriebsstrangs und des Interieurs. Unterschiede im Interieur ergeben sich durch die Klimatisierung mittels Wärmepumpe bei Elektrofahrzeugen. Die sonstige Technologieausstattung des Fahrzeuges ist identisch. Somit ergeben sich keine Kostenunterschiede innerhalb eines Segmentes (und eines Szenarios) zwischen einem ICE, BEV, PHEV oder FCEV in den Fahrzeughauptgruppen Elektrik/Elektronik, Karosserie und Fahrwerk. Wie oben erwähnt, wurde in der Analyse entsprechend typisiert, das heißt die Fahrzeugausstattung der Mehrheit der Fahrzeuge betrachtet.

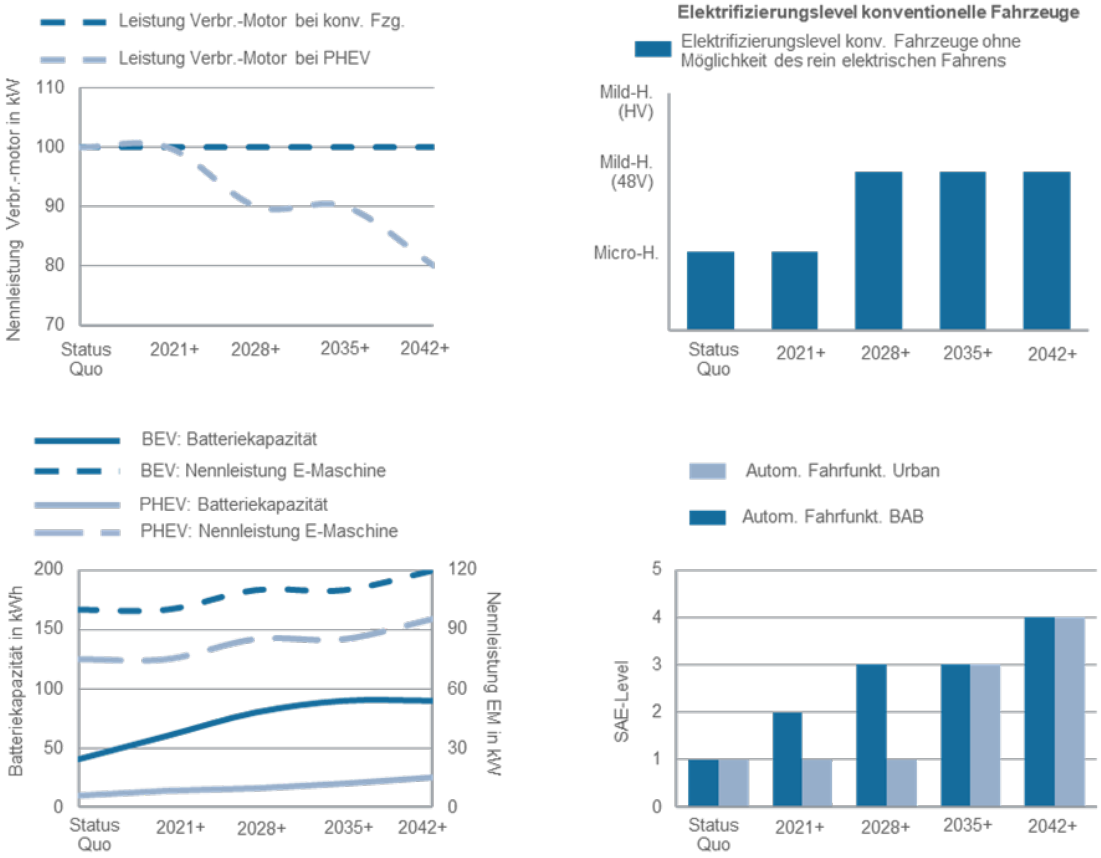
Abb. 33 fasst die wichtigsten Entwicklungen des **Referenzszenarios** am Beispiel des SEG-2 zusammen.

Zur Einhaltung der EU-Regulierung zu CO_2-Flottengrenzwerten wird im **Referenzszenario** mittelfristig der **konventionelle Antriebsstrang weiterentwickelt**. Im SEG-1 werden bis 2021 innermotorische Potenziale wie die einfache Turboaufladung erschlossen. In höheren Fahrzeugsegmenten erfolgt die Mild-Hybridisierung des Antriebsstrangs mittels eines 48-V-Bordnetzes. Ab 2028 erstreckt sich diese auch auf die Fahrzeuge des SEG-2. Hinzukommen elektrifizierte Ladekonzepte unter Nutzung von Synergieeffekten mit dem 48-V-Bordnetz. Die Abgasreinigung der Fahrzeuge erfolgt nach den Erfordernissen der zugrundeliegenden Regularien, womit für Dieselfahrzeuge aller Segmente der Einsatz von SCR-Katalysatoren obligatorisch wird. Nach 2035 werden verbrennungsmotorische Antriebsstränge aufgrund der Weiterentwicklung von Elektrofahrzeugen nicht mehr verbessert.

Bis 2028 setzt sich in allen Segmenten der **PHEV gegenüber dem Full-Hybrid** durch. Als Energiespeicher werden über den gesamten Projektionszeitraum hinweg Lithium-Ionen-Akkumulatoren eingesetzt. Die Batteriekapazität des PHEV richtet sich neben Konsumentenpräferenzen auch nach regulatorischen Anreizen. Fahrzeuge mit CO_2-Emissionen von weniger als 50 g CO_2/km können bis 2030 bei der Berechnung der

Flottenwerte mehrfach einberechnet werden.[133] Entsprechend ist von einer Batteriekapazität von mindestens 14 bis 16 kWh im SEG-2 auszugehen.

Abb. 33: Eckdaten der Entwicklung des SEG-2 im Referenzszenario



Quelle: fka. Eigene Darstellung. Anmerkung: BAB=Bundesautobahn. Es wird angenommen, dass das SAE Level 2 im urbanen Raum übersprungen wird, da die Entlastung des Fahrers durch die permanent erforderliche Überwachung des Systemverhaltens in dieser Automatisierungsstufe gering ist.

BEVs entwickeln sich im Projektionszeitraum überwiegend durch **höhere Batteriekapazität** und realisierbare Ladeleistungen weiter. Ab 2030 sind die Reichweiten in Kombination mit Ladeleistungen von mehr als 100 kW im SEG-2 ausreichend, um eine eigenständige Marktentwicklung zu erreichen. Als neue Technologie treten Festkörperakkumulatoren ab 2030 in den Markt ein. Sie werden zunächst in SEG-3 zum Standard und diffundieren anschließend auch in die niedrigeren Segmente.

Aufgrund von hohen Kosten **automatisierter Fahrfunktionen** bei der Markteinführung werden diese „Top-Down“ erst in **SEG-3** eingeführt (Eckstein et al., 2018). Mit Level 4-Fahrfunktionen, wie einem Autobahn-Piloten, ist ab ca. 2030 im SEG-3 zu rechnen. Level 4-Funktionen im städtischen Umfeld sind in ausgewählten Regionen ab 2035 als Standard zu erwarten. Das Automatisierungslevel wird nach Einsatzfeldern auf der Autobahn sowie im urbanen Raum differenziert. Entscheidendes Merkmal des Autobahnverkehrs ist die strikte Trennung von Richtungsfahrbahnen, das Fehlen niveaugleicher Kreuzungen sowie die ausschließliche Benutzung durch Kraftfahrzeuge. Diese für die Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen günstigen Bedingungen erfüllt der

[133] Siehe https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0631&from=EN.

Verkehr im urbanen Raum nicht. Analoges gilt für den Verkehr im ländlichen Raum, da auch hier jederzeit etwa mit kreuzenden Verkehrsteilnehmern zu rechnen ist. Level 5-Autonomie wird in SEG-3-Fahrzeugen erst zur vierten Modellgeneration 2042 als Stand der Technik in diesem Segment angenommen.

Im Volumensegment SEG-2 werden die höheren Automatisierungsstufen erst mit zeitlichem Verzug angeboten. Level 3-Funktionen auf Autobahnen sind erst ab 2028 Standard, Level 4-Funktionen ab 2042. Bevor die Funktionen standardmäßig bei privaten Pkw verfügbar sind, werden sie zunächst vermehrt bei Flottenfahrzeugen von Mietwagenfirmen eingebaut sein. Für Fahrzeuge des SEG-1 sind automatisierte Fahrfunktionen auf Autobahnen aufgrund des für dieses Segment typischen Kurzstrecken-Fahrprofils weniger sinnvoll. Level 5-Funktionen werden im SEG-1 lediglich in Fahrzeugen, welche nicht in Privatbesitz sind, umgesetzt.

Automatisierte Fahrfunktionen ab Level 3 werden durch eine adäquate Sensorausstattung im Hinblick auf Radar- und Kamera sowie Lidar-Sensorik realisiert.

Abb. 34 veranschaulicht die technologische Entwicklung im **Szenario Verstärkte Elektrifizierung** am Beispiel des SEG-2-Fahrzeugs.

Abb. 34: Eckdaten der Entwicklung des SEG-2 im Szenario Verstärkte Elektrifizierung

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Anmerkung: BAB=Bundesautobahn.

Die höhere Entwicklungsgeschwindigkeit der Elektromobilität führt dazu, dass im **Szenario Verstärkte Elektrifizierung** aus Gründen der Kosteneffizienz konventionelle Antriebsstränge nur noch begrenzt weiterentwickelt werden. Bereits mit dem Modellwechsel

der Referenzfahrzeuge im Jahr 2028 ist **keine erwähnenswerte Effizienzsteigerung des verbrennungsmotorischen Antriebsstrangs** mehr zu verzeichnen.

Stattdessen werden in allen Segmenten PHEVs üblich. Im Vergleich zum Referenzszenario haben **BEVs** höhere Laderaten sowie größere Batteriekapazitäten. Gefördert wird diese Entwicklung durch eine **frühere Massenmarktreife** neuer Batterietechnologien. So können ab 2028 bereits in SEG-3 Festkörperakkumulatoren eingesetzt werden. Trotz der vergleichsweise geringen Temperaturempfindlichkeit von Festkörperakkumulatoren werden aufgrund weiter steigender Laderaten aktive Kühlsysteme eingesetzt. Zur Integration in das Smart Grid wird das bidirektionale Laden fahrzeugseitig grundsätzlich ermöglicht.[134]

Abb. 35 fasst die Technologieentwicklung am Beispiel des SEG-2-Fahrzeugs im **Szenario Verstärkte Automatisierung** zusammen.

Abb. 35: Eckdaten der Entwicklung des SEG-2 im Szenario Verstärkte Automatisierung

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Anmerkung: BAB=Bundesautobahn.

Die Einführung höherer Automatisierungslevel findet im **Szenario Verstärkte Automatisierung** in den einzelnen Segmenten unabhängig vom jeweiligen Antriebsstrang statt. **SEG-3-Fahrzeuge verfügen einen Modellzyklus früher** als im Referenzszenario über Level 4-Funktionalität auf Autobahnen (bereits 2028). Auch in den niedrigeren Segmenten werden die jeweiligen Automatisierungslevel bereits ein Modellzyklus früher umgesetzt. 2050 liegt ein überwiegend vollautomatisierter Verkehr vor. In allen

[134] Das Smart Grid ist ein intelligentes Stromnetz. Ein Stromnetz wird dann intelligent, wenn innerhalb des Netzes ein Informationsaustausch erfolgt, mit dessen Hilfe die Stromerzeugung, der Verbrauch und die Speicherung dynamisch gesteuert und überwacht werden können.

Fahrzeugsegmenten wird jedoch weiterhin von der Möglichkeit des Selbstfahrens ausgegangen. Fahrerlose Level 5-Fahrzeuge finden primär im Bereich neuer Mobilitätsdienstleistungen Anwendung.

Entsprechend der beschleunigten Markteinführung automatisierter Fahrfunktionen wird die technologische Ausstattung der Fahrzeuge hinsichtlich Sensorik, Konnektivität und Datenverarbeitung angepasst. Im Oberklassebereich werden zudem mit Einführung der Level 4-Funktionen **flexibilisierte Sitzkonzepte** angeboten.

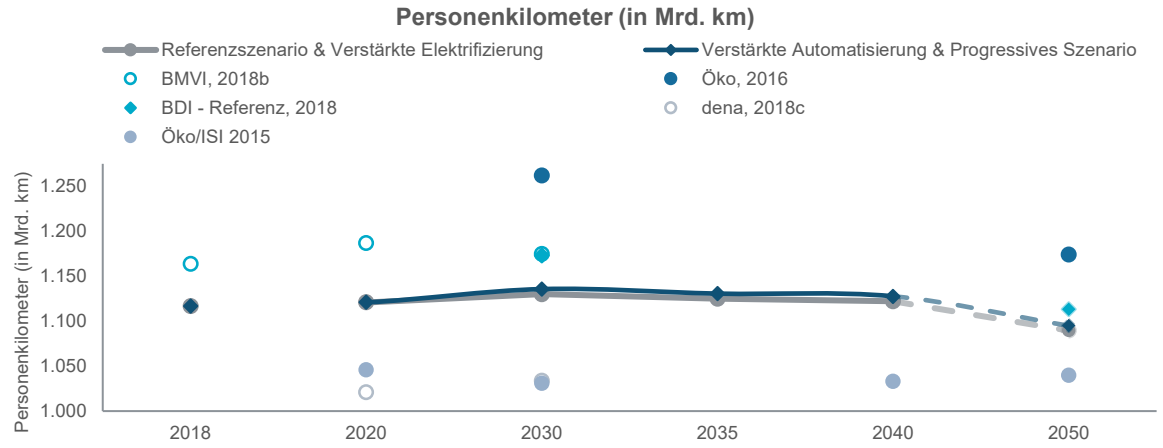
Die Entwicklung der Referenzfahrzeuge im **Progressiven Szenario** ergibt sich aus der **Kombination der Szenarien Verstärkte Elektrifizierung und Verstärkte Automatisierung**. Die Entwicklung der Fahrzeughauptgruppen ist überwiegend einer der beiden Szenarien zuzuordnen. Beispielsweise verläuft die Entwicklung des Antriebsstrangs identisch zum Szenario Verstärkte Elektrifizierung. Die Entwicklung der Elektrik/Elektronik verläuft identisch zum Szenario der Verstärkten Automatisierung. Es kommt technologisch nur zu unerheblichen Wechselwirkungen der beiden Entwicklungen.

Die Einführung der Automatisierungsstufen im Vergleich über die Szenarien ist exemplarisch für das mittlere Fahrzeugsegment (SEG-2) in Tab. 10 im Anhang dargestellt.

3.2 Mobilitätsnachfrage

In allen Szenarien kommt es bis 2030 zu einem leichten Anstieg der aggregierten Nachfrage nach Personenkilometern (pkm) in Deutschland, da die Personenkilometer pro Kopf bei relativ konstanter Bevölkerung ansteigen (siehe Abb. 36). Danach geht die Nachfrage aufgrund der schrumpfenden Bevölkerung wieder leicht zurück, obwohl die Nachfrage pro Kopf steigt. Die Nachfrage der Personenkilometern variiert zwischen den Szenarien. Das liegt vor allem an den unterschiedlichen Marktentwicklungen von Level 4/5-Taxis. Zudem führen höhere Automatisierungsfunktionalitäten dazu, dass Zeit im privaten Pkw besser genutzt werden kann. Dadurch erhöht sich im Schnitt die Jahreslaufleistung der Fahrzeuge in diesen Szenarien.

Abb. 36: Prognose der Personenkilometer (ohne Luftverkehr) in Deutschland, 2018 bis 2050



Quelle: Eigene Berechnungen sowie Prognosen aus abgebildeten Studien: (BDI, 2018), (BMVI, 2018b), (dena, 2018c), (Öko Institut, 2016), (Öko-Institut und Fraunhofer ISI, 2015).

Im **Referenzszenario** bleiben die in Deutschland zurückgelegten Kilometer zwischen 2017 und 2030 relativ konstant bei 1.130 Mrd. pkm. Bis 2040 fällt die pkm-Nachfrage auf

1.125 Mrd. und bis 2050 auf 1.100 Mrd. pkm. Um unsere Ergebnisse besser in die Literatur einordnen zu können, sind Prognosen anderer Studien mit in Abb. 36 abgetragen. Das BMVI und der Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) prognostiziert bis 2030 einen Anstieg der in Deutschland zurückgelegten Kilometer auf 1.175 Mrd. pkm, was einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 0,3% entspricht. Relativ dazu ist die Prognose des Referenzszenarios konservativ. 2050 liegt unsere Prognose eng bei der des BDI.

Die Mobilitätsnachfrage im **Szenario Verstärkte Elektrifizierung** entspricht der des Referenzszenarios. Dies liegt daran, dass es (1) jeweils zum gleichen Zeitpunkt zur Einführung von Level 4/5-Taxis kommt und (2) keine Veränderung des Einkommens, der Zahlungsbereitschaft der Konsumenten oder deren Mobilitätspräferenzen gibt. Folglich gibt es auch keine Veränderung des Preises der Mobilität im Vergleich zum Referenzszenario.

Im **Szenario Verstärkte Automatisierung** und im **Progressiven Szenario** führt die Einführung von ersten Level 4-Taxis bereits ab 2025 zu einem niedrigeren Preis des Gutes „Mobilität“. Dies führt wiederum zu einem Anstieg der Nachfrage nach Mobilität im Vergleich zum Referenzszenario. Auch erhöhen sich im Durchschnitt die Personenkilometer, die im privaten Pkw zurückgelegt werden. Beides drückt sich in einer höheren Nachfrage nach Personenkilometern aus.

Bis 2030 wird die Prognose der Personenkilometer aus dem Profit Pool Modell bestimmt. Danach wird die jährliche Wachstumsrate der Personenkilometer allein durch die wachsende Kaufkraft der Haushalte determiniert.

3.3 Modal Split, Motorisierungsgrad und Neuzulassungen in Deutschland

Neben der Veränderung der aggregierten Mobilitätsnachfrage wird es auch zu einer Veränderung des **Modal Split** kommen**,** das heißt zu einer Verschiebung in der Nutzung der verschiedenen Verkehrsmittel. Die Verknüpfung der Nachfrage nach Personenkilometern und des Modal Split ergeben dann die Pkw-Nachfrage.

Das Profit Pool Modell berücksichtigt bis 2030 explizit eine Verschiebung des Modal Split. Tab. 5 stellt die Entwicklung des Modal Split für alle Szenarien bis 2030 dar. Der grundlegende Unterschied zwischen den Szenarien ist die Einführung von Level 4-Fahrzeugen. Diese erfolgt im **Referenzszenario** und im **Szenario Verstärkte Elektrifizierung** erst ab 2030. Entsprechend gleicht sich der Modal Split in diesen beiden Szenarien. Bis 2030 kommt es in beiden Szenarien zu einer Verschiebung von privat zurückgelegten Kilometern zu solchen in Sharing-Konzepten, die jedoch noch nicht voll automatisiert sind. Sharing-Konzepte umfassen Taxis, Mobility-on-demand-Konzepte wie Ridepooling und Ridehailing sowie Miet- und Carsharingangebote.

Im **Szenario Verstärkte Automatisierung** und im **Progressiven Szenario** werden erste Level 4-Fahrzeuge bereits vor 2030 im Personentransport eingesetzt und vom Konsumenten angenommen. Vollautomatisierte Taxis haben 2030 einen Anteil von 5% an den nachgefragten pkm. Entsprechend verlagert sich die Mobilitätsnachfrage signifikant weg vom privaten Eigentum hin zu neuen Mobilitätskonzepten. Das heißt jedoch nicht, dass komplett auf den privaten Pkw verzichtet wird, sondern nur, dass mehr pkm in vollautomatisierten Mobilitätsdienstleistungen zurückgelegt werden.

Nach 2030 wird der Modal Split nicht mehr endogen ermittelt, sondern eine Verlagerung der Mobilitätsnachfrage über den Motorisierungsgrad modelliert.

Tab. 5: Entwicklung des Modal Split, 2017 bis 2030

	Referenzszenario und Szenario Verstärkte Elektrifizierung				
	2017	2020	2025	2030	
Privates Eigentum	82,9%	82,9%	80,0%	77,1%	↓
Taxi & Mobility-on-demand	0,4%	0,4%	1,2%	1,9%	↑
Mietwagen & Carsharing	1,1%	1,1%	1,7%	2,2%	↑
Mobilitätsdienstleistungen (Level 4)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	⇔
ÖPV (Tram, Bus, Zug)	15,6%	15,6%	17,2%	18,8%	↑
	Szenario Verstärkte Automatisierung und Progressives Szenario				
	2017	2020	2025	2030	
Privates Eigentum	82,9%	82,9%	80,0%	73,1%	↓
Taxi & Mobility-on-demand	0,4%	0,4%	1,2%	1,5%	↑
Mietwagen & Carsharing	1,1%	1,1%	1,7%	1,8%	↑
Mobilitätsdienstleistungen (Level 4)	0,0%	0,0%	0,0%	5,0%	↑
ÖPV (Tram, Bus, Zug)	15,6%	15,6%	17,2%	18,6%	↑

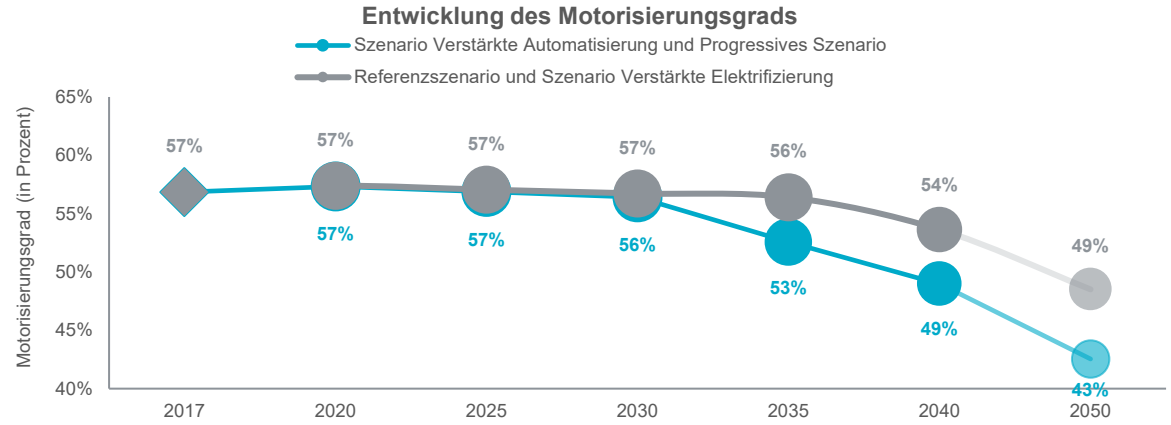
Quelle: Eigene Berechnungen.

Die Nachfrage nach Personenkilometern und der Modal Split bestimmen den Absatz von Pkw in Deutschland. Um diese Entwicklung nach 2030 prognostizieren zu können, wird die Personenkilometernachfrage mit dem **Motorisierungsgrad** – Bestand von Pkw im Verhältnis zur Bevölkerung – verknüpft. Bis 2030 ergeben sich zwei gegenläufige Trends: Zum einen bedeutet eine höhere Nachfrage nach Personenkilometern, dass bei gleicher Nutzung der Fahrzeuge die Neufahrzeugnachfrage steigen würde. Gleichzeitig sorgen neue Mobilitätskonzepte, bei denen sich mehrere Personen ein Fahrzeug teilen, für eine effizientere Nutzung der verfügbaren Pkw und wirken dieser Entwicklung entgegen. Nach 2030 überwiegt der Effekt der Sharing-Konzepte in allen Szenarien. Bedingt durch eine Verlagerung zu Sharing-Konzepten wird der Motorisierungsgrad langfristig fallen. Abb. 37 stellt die Entwicklung des Motorisierungsgrades in Deutschland bis 2040 bzw. 2050 dar.

Die Einführung von Sharing-Konzepten ist im **Referenzszenario** und im Szenario **Verstärkte Elektrifizierung** gleich. Entsprechend gibt es keinen Unterschied des Motorisierungsgrades zwischen den beiden Szenarien. Bis 2040 fällt der Motorisierungsgrad von 57% im Jahr 2017 auf 54%.[135] Danach fällt der Motorisierungsgrad aufgrund der weiteren Verbreitung von Sharing-Konzepten bis 2050 auf etwa 49%. Im Szenario **Verstärkte Automatisierung** und im **Progressiven Szenario** fällt der Motorisierungsgrad aufgrund des schnelleren Markthochlaufs von Level 4/5-Taxis bereits vorher. 2040 liegt er nur noch bei etwa 49% und 2050 bei 43%.

[135] Zum Vergleich, das IAB prognostiziert ein Sinken auf 56,4% bis 2035 (IAB, 2018b). Das Öko-Institut und das Fraunhofer ISI prognostizierten im „Aktuelle Maßnahmen-Szenario“ einen Wert von 59% (Öko-Institut und Fraunhofer ISI, 2015). Durch die Steigerung der Attraktivität des ÖPV ergibt sich jedoch ein mögliches Sinken auf zwischen 53% und 43% bis 2050 („Klimaschutzszenario 80“ und „Klimaschutzszenario 95“).

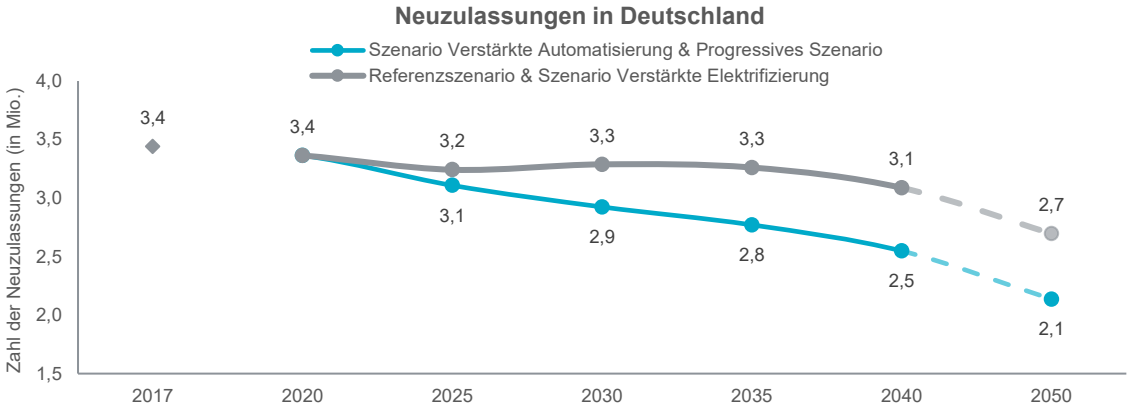
Abb. 37: Entwicklung des Motorisierungsgrades, 2017 und Prognose 2020 bis 2050



Quelle: 2017: Eigene Berechnungen basierend auf Daten des Kraftfahrtbundesamtes (Fahrzeugzulassungen (FZ) Bestand an Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen (FZ13) – Jahr 2018) und Daten des Statistischen Bundesamtes (2018). 2020-2050: Eigene Berechnungen.

Als Ergebnis der veränderten Nachfrage nach Personenkilometern und des Modal Split geht im **Referenzszenario** und **im Szenario Verstärkte Elektrifizierung** die Anzahl der **Neuzulassungen** zwischen 2020 und 2030 leicht von 3,4 auf 3,3 Mio. zurück (siehe Abb. 38). Der Rückgang 2025 erklärt sich durch die Verschiebung der Nachfrage hin zu Sharing-Konzepten. Diese führen zu einem kurzfristigen Einbruch in den Neuzulassungen, bis auch diese Fahrzeuge wieder ersetzt werden müssen. Bis 2040 fallen die Neuzulassungen auf 3,1 Mio. Pkw. Auch bis 2050 wird in beiden Szenarien ein weiterer Rückgang der Neuzulassungen – getrieben durch die Einführung von Sharing-Konzepten – prognostiziert.

Abb. 38: Pkw-Neuzulassungen in Deutschland, 2017 und Prognose 2020 bis 2050



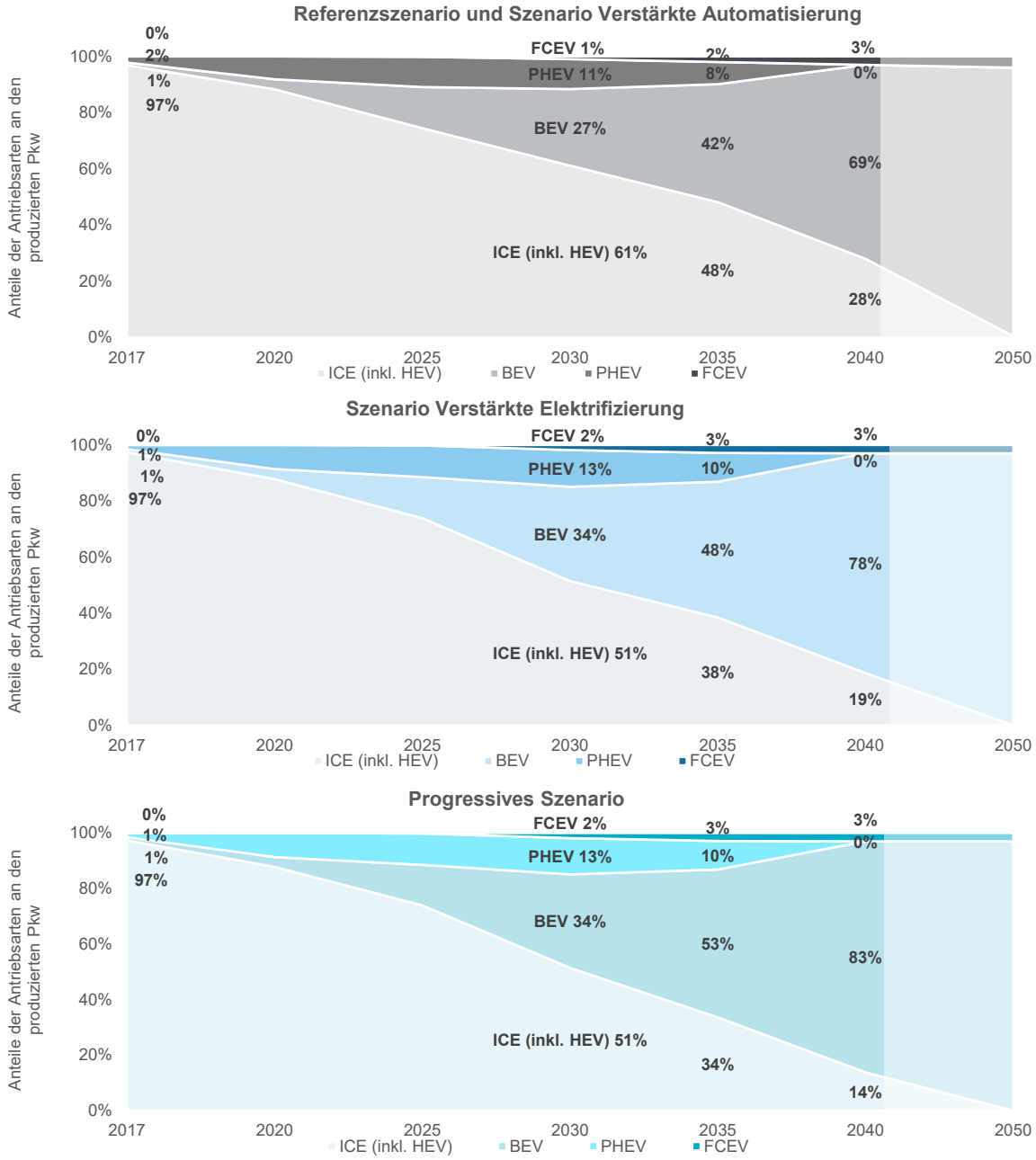
Quelle: 2017: Kraftfahrt-Bundesamt (Fahrzeugzulassungen (FZ) Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen (FZ14) – Jahr 2017). 2020-2050: Eigene Berechnungen.

Im **Szenario Verstärkte Automatisierung** und **im Progressiven Szenario** liegt die Zahl der Neuzulassungen unter der im Referenzszenario. Grund dafür ist die schnellere Verbreitung von Shared Mobility-Konzepten. Dadurch fällt der Motorisierungsgrad und damit die Zahl der Neuzulassungen in Deutschland. Es wird kein positiver Effekt des höheren Markthochlaufs von Elektrofahrzeugen auf die Verbreitung von Shared Mobility-Konzepten unterstellt. Entsprechend entwickelt sich die Zahl der Neuzulassung in den beiden Szenarien gleich.

3.4 Produktion in Deutschland

Der Produktionshochlauf von Pkw nach Antriebsarten in Deutschland wird in Abb. 39 dargestellt. Die Entwicklung ist das Ergebnis der Fahrzeugnachfrage in Deutschland, Europa und der Welt.

Abb. 39: Pkw-Produktion nach Antriebsarten, 2017 und Prognose 2020 bis 2050



Quelle: Eigene Berechnungen. Anmerkung: HEV=Hybrid Electric Vehicle.

Im **Referenzszenario** fällt 2030 die marktdominierende Rolle effizienzoptimierten Verbrennungsmotoren zu, von denen 2030 über zwei Drittel eine Mild-Hybridisierung des Antriebsstrangs in 48-V-Technik nutzen. Anders wären die CO_2-Flottengrenzwerte nicht einzuhalten. Diese Produktionsanteile implizieren, dass bis 2030 noch eine starke Kundenpräferenz für konventionelle Antriebe vorherrscht. Im Zeitraum zwischen 2030 und

2040 kommt es aufgrund sinkender TCO für Elektrofahrzeuge hinsichtlich der Elektrifizierung zu einer Eigendynamik des Marktes. Sinkende TCO für elektrifizierte Pkw sorgen dafür, dass Elektromobilität zunehmend attraktiv für den Verbraucher wird. 2040 sind 72% der in Deutschland produzierten Pkw elektrifiziert. PHEVs erreichen ihren Höchstwert bereits 2030 mit 11%. Dieser Anteil sinkt kontinuierlich. 2040 werden PHEVs komplett vom Markt verschwunden sein. FCEVs erlangen erst nach 2030 eine gewisse Rolle im Pkw-Markt. Bis 2040 gewinnen FCEVs einen Anteil von 3%.[136]

Die Produktionsanteile stellen einen Überblick des gesamten Marktes dar und sind die Summe über alle Segmente und OEMs hinweg. Der Produktionsanteil der einzelnen Antriebsarten wird sich zwischen den Segmenten deutlich unterscheiden. So werden beispielsweise PHEVs primär in höheren Segmenten zu finden sein. Gleiches gilt für FCEVs. Zum anderen wird sich die Aufteilung nach Antrieben ebenfalls zwischen den einzelnen OEMs unterscheiden. Während einige OEMs ihren Fokus auf BEVs legen werden, werden PHEVs vor allem für Premiumhersteller eine wichtigere Rolle spielen. Auch FCEVs werden nur für einen Teil der deutschen OEMs relevant sein.

Im **Szenario Verstärkte Elektrifizierung** ist 2030 bereits fast die Hälfte der in Deutschland produzierten Pkw elektrifiziert. Schärfere CO_2-Flottengrenzwerte in der EU sowie sinkende Kosten für Elektrofahrzeuge führen zu einer gesteigerten Attraktivität von BEVs und PHEVs. Dies beschleunigt die Verbreitung der Elektromobilität. Die Eigendynamik des Marktes hinsichtlich der Elektromobilität entsteht somit im Szenario Verstärkte Elektrifizierung bereits etwa drei Jahre früher als im Referenzszenario. FCEVs haben einen leicht höheren Produktionsanteil. Bis 2050 werden keine ICEs mehr in Deutschland produziert.

Der Produktionshochlauf im **Szenario Verstärkte Automatisierung** entspricht dem des Referenzszenarios.

Im **Progressiven Szenario** wird im Vergleich zu den anderen Szenarien am ehesten ein hoher Anteil an elektrifizierten Pkw erreicht. 2035 sind bereits zwei Drittel der produzieren Pkw elektrifiziert. Die frühere Einführung von Automatisierungsfunktionen hat zwei positive Effekte auf den Markthochlauf von Elektrofahrzeugen: (1) Durch höhere Automatisierungsstufen können Reichweitenängste von Privatkunden überwunden werden, da das Fahrzeug in der Lage ist automatisiert zu laden, während beispielsweise der Konsument bei der Arbeit ist. (2) Da Level 4/5-Taxis nutzungsgemäß als BEVs definiert sind, führt deren frühere Einführung zu einer Beschleunigung der Elektrifizierung im Markt. Da die Fahrzeuge erst ab 2028 Level 4-Funktionen aufweisen, unterscheidet sich der Markthochlauf bis 2030 nicht von dem des Szenarios der Verstärkten Elektrifizierung. Nach 2030 liegt der Markthochlauf aber signifikant über dem des Szenarios der Verstärkten Elektrifizierung. 2040 sind bereits fast 90% der produzierten Pkw BEVs. Im Vergleich, im Szenario Verstärkte Automatisierung wird diese Quote erst ca. fünf Jahre später erreicht.

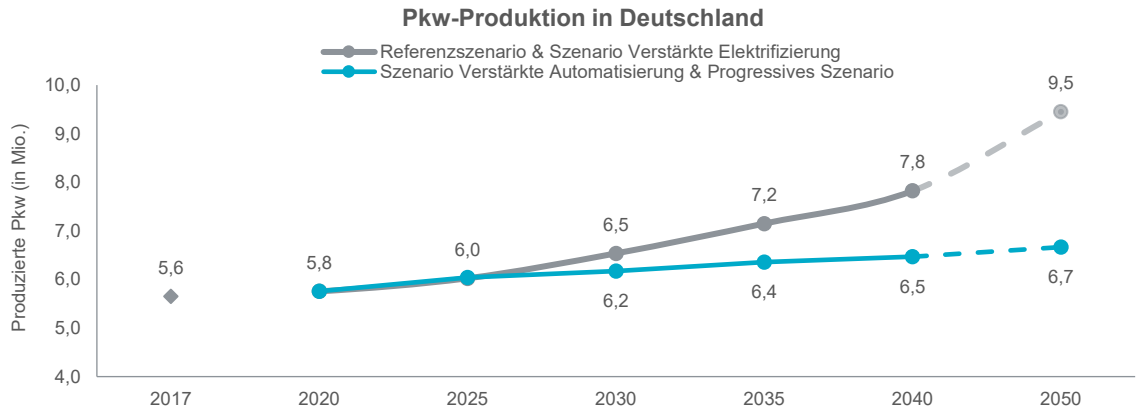
Eine Übersicht der Produktionsverteilung nach Antriebsart über die Szenarien hinweg bis 2050 ist im Anhang in Tab. 12 dargestellt.

Die Szenarien unterscheiden sich sowohl in den Anteilen der verschiedenen Arten von Antriebssträngen an der gesamten Inlandsproduktion als auch in der Anzahl der in Deutschland produzierten Pkw.

[136] Auch synthetische Kraftstoffe erlangen erst nach 2030 eine gewisse Rolle im Markt.

Abb. 40 stellt die in Deutschland produzierten Fahrzeuge im Zeitverlauf in den vier Szenarien dar.

Abb. 40: Pkw-Produktion in Deutschland, 2017 und Prognose 2020 bis 2050



Quelle: Eigene Berechnungen.

Die insgesamt in Deutschland produzierte Anzahl an Pkw ist im **Referenzszenario** und im Szenario Verstärkte Elektrifizierung fast identisch. 2030 werden in beiden Szenarien etwa 6,5 Mio. Pkw hergestellt. Dies entspricht einem Wachstum von etwa 1% pro Jahr. Zwischen 2030 und 2040 wächst die Produktion von Pkw im Referenzszenario um etwa 1,8% pro Jahr. Damit wächst die Produktion langsamer als die weltweite Nachfrage nach Fahrzeugen.[137] Dieser positive Verlauf erfolgt unter der Annahme, dass genügend Arbeitskräfte für die Produktion zur Verfügung stehen, um die globale Fahrzeugnachfrage zu befriedigen.[138]

Im Vergleich zur bisherigen Pkw-Produktion in Deutschland ist die Prognose im Referenzszenario damit auf den ersten Blick positiv. Denn seit 2011 ist die Anzahl der in Deutschland produzierten Pkw leicht zurück gegangen (siehe Teil II, Abb. 17) Ziel unserer Prognose ist die Wertschöpfung in Deutschland möglichst gut zu prognostizieren. Wir stellen die Wertschöpfung in der Form des Produktionspotenzials im Lichte der weltweiten Pkw-Nachfrage dar, also als fertig verbaute Pkw. Alternativ könnte die Wertschöpfung auch eine Produktionsstufe tiefer, nämlich in der Produktion von Teilen und Zubehör erfasst werden. Das würde bedeuten, dass die Produktionskapazitäten nicht bei den OEMs, sondern primär bei den Zulieferern entstehen würden. In Summe bliebe die Wertschöpfung der deutschen Automobilindustrie aber gleich. Eine bisherige Entwicklung der Produktion von Teilen und Zubehör ist auf Basis öffentlich verfügbarer Daten nicht darstellbar. Als Approximation kann jedoch die Entwicklung des Exportwertes herangezogen werden. Zwischen 2011 und 2017 ist der Exportwert von Teilen und Zubehör durchschnittlich mit 5% pro Jahr gestiegen (siehe Teil II, Abb. 19). Damit liegt unsere Prognose insgesamt unter dem bisherigen Wachstumspfad und ist daher eher als konservativ einzuordnen. Für unsere Zwecke ist es

[137] Im Referenzszenario und im Szenario Verstärkte Elektrifizierung beträgt die jährliche Wachstumsrate der globalen Fahrzeugnachfrage etwa 2%. Die für Deutschland besonders relevante Nachfrage in Westeuropa wächst zwischen 2017 und 2030 aber nur um etwa 0,2% pro Jahr.

[138] Wie die Neuzulassungen in Deutschland sind auch die globalen Neuzulassungen bis 2030 Ergebnis des Profit Pool Modells. Nach 2030 wird für die europäische Nachfrage nach Neufahrzeugen eine ähnliche Entwicklung wie in Deutschland unterstellt. Bedingt durch eine Verlagerung zu Sharing-Konzepten wird der Motorisierungsgrad langfristig fallen. Für Westeuropa wird jedoch ein leicht zeitlich verzögerter Rückgang im Vergleich zu Deutschland unterstellt. Die Nachfrage der restlichen Welt richtet sich nach Wachstumsraten des BIP. Entsprechend wird unterstellt, dass der Rückgang des Motorisierungsgrades in Industrieländern durch den Anstieg der Fahrzeugnachfrage in anderen Ländern zumindest teilweise ausgeglichen wird.

wichtig, dass die Wertschöpfungsprognose als Summe aus Pkw-Produktion sowie Teilen und Zubehör belastbar ist.

Im **Szenario Verstärkte Automatisierung** und im **Progressiven Szenario** wächst die Anzahl der in Deutschland produzierten Fahrzeuge im Vergleich zum Referenzszenario weniger stark. Ausgelöst wird der niedrige Produktionshochlauf von einer fallenden Fahrzeugnachfrage.

Der Produktionshochlauf von Pkw nach Antriebsarten in Deutschland ist Ergebnis der Fahrzeugnachfrage in Deutschland. Kasten 7 sowie Abb. 41 zeigen einen Vergleich der in dieser Studie prognostizierten Marktanteilen von Elektrofahrzeugen in unserem Referenzszenario im Vergleich zu Szenarien anderer aktueller Studien.

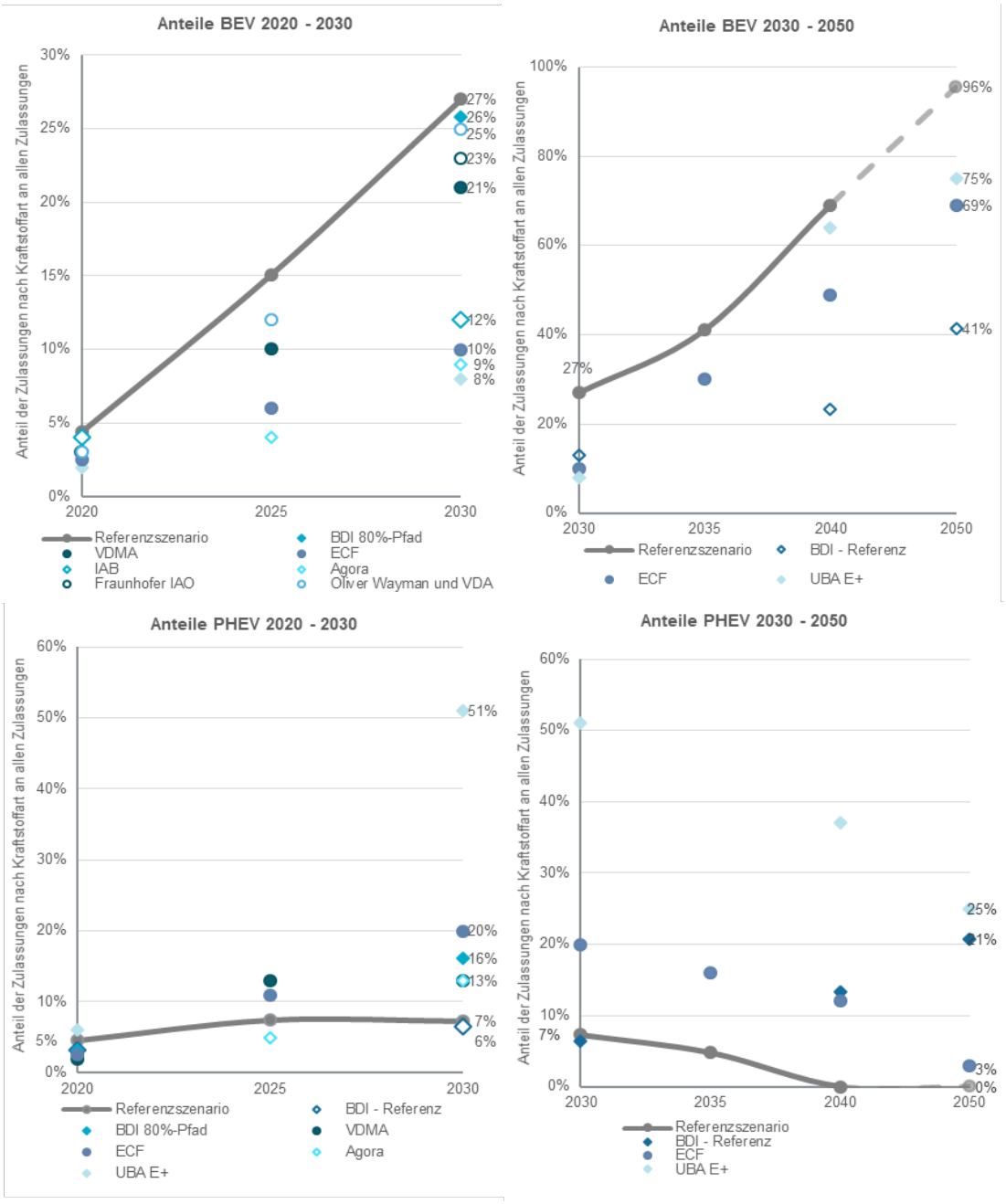
Kasten 7: Exkurs: Vergleich der Marktanteile von Elektrofahrzeugen zwischen verschiedenen Studien

Exkurs: Vergleich der Marktanteile von Elektrofahrzeugen zwischen verschiedenen Studien

Zum Vergleich unserer Marktanteile nach Antrieb nutzen wir die Szenarien anderer Studien, die meist nur eine Fortschreibung des Trends bezüglich der Entwicklung technologischer und regulatorischer Rahmenbedingungen unterstellen. Von der Studie im Auftrag des BDI betrachten wir auch ein Szenario, dass bis 2050 eine Reduktion des Treibhausgas-Ausstoßes (THG) gegenüber 1990 um 80% unterstellt. Von der Studie des Umweltbundesamtes nutzen wir das Szenario, welches elektrische Energie als zentrale THG-freie Energieträgeroption nutzt, um THG Neutralität im Verkehrssektor bis 2050 zu erreichen.

Bei den Marktanteilen von BEVs bis 2030 liegen die Prognosen der Studien zwischen 8% und 25%. Unter den hier getroffenen Annahmen liegt der Wert im Referenzszenario leicht darüber, nämlich bei etwa 27%. Die relativ hohen BEV-Marktanteile in unserer Studie sind ein Ergebnis der Verschärfung der CO_2-Flottengrenzwerte für Pkw. Frühere Studien nutzten zum Teil ältere Grenzwerte. Für 2050 prognostiziert keine der anderen Studien eine volle Dominanz des BEVs, wie im Referenzszenario der vorliegenden Studie. Die Werte der anderen Studien variieren von 41% (BDI-Referenz) bis 75% (Umweltbundesamt, 2016). Beide Studien prognostizieren für 2050 hohe Marktanteile von PHEVs von etwa 20%. Die meisten Studien prognostizieren ebenfalls einen Anstieg des Marktanteils bis 2025 oder 2030. Das Umweltbundesamt sogar von 50%. Bis 2050 geht in allen Szenarien – bis auf im Referenzszenario des BDI – der Marktanteil des PHEV wieder zurück. Im Referenzszenario des BDI steigt der Anteil von PHEVs bis 2050 stetig.

Abb. 41: Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen (BEV und PHEV) in unterschiedlichen Referenzszenarien, 2020 bis 2050



Quelle: Abgebildete Studien: Referenzszenario und 80%-Pfad aus (BDI, 2018), (IAB, 2018b), (Agora Verkehrswende, 2018), (Fraunhofer IAO, 2018), (Umweltbundesamt, 2016), (VDMA, 2018), (ECF, 2017), (Fraunhofer IAO und IW Consult, 2017), (Oliver Wyman und VDA, 2018), (Roland Berger, IPE). Anmerkung: PHEVs werden in vielen Studien nicht separat modelliert, sondern zusammen mit anderen Formen der Hybridisierung. UBA=Umweltbundesamt.

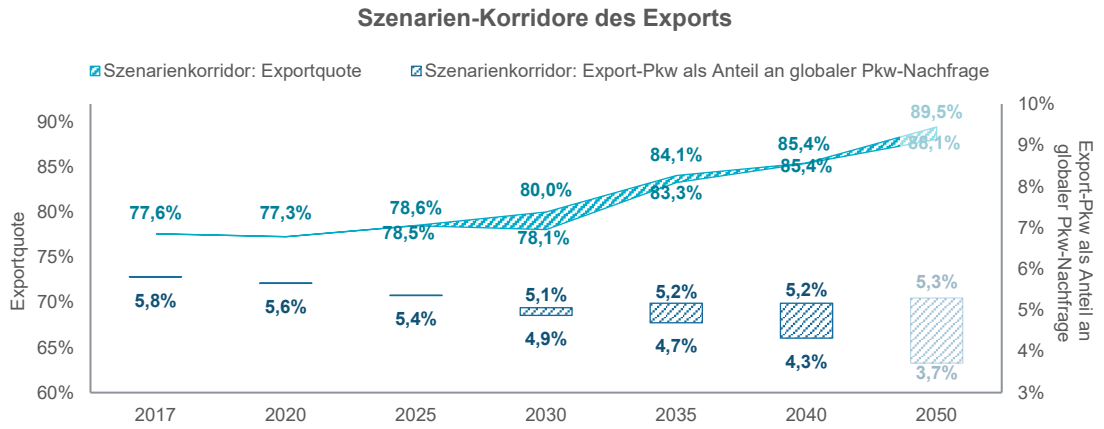
3.5 Exporte

Die Exporte von Pkw ergeben sich aus der Differenz der gesamten Inlandsproduktion und den Neuzulassungen aus der Inlandsproduktion. Im Folgenden betrachten wir (1) die Exportquote, das heißt der Anteil der Exporte an der Inlandsproduktion, sowie (2) den Marktanteil der deutschen Exporte an der globalen Pkw-Nachfrage. Abb. 42 stellt die Korridore der Entwicklung des weltweiten Marktanteils deutscher Exporte und der Exportquote dar.

Die Exportquote bleibt bis 2030 in allen Szenarien relativ konstant bei etwa 80%. Nach 2030 steigt die Exportquote in allen Szenarien. Da die inländische Nachfrage fällt, steht ein größerer Teil der Inlandsproduktion dem Export zur Verfügung. Das bedeutet, dass langfristig die Pkw-Inlandsproduktion noch stärker von der weltwirtschaftlichen Entwicklung abhängig sein wird als bisher.

Der Marktanteil der deutschen Exporte an der globalen Nachfrage fällt in allen Szenarien. Die Produktion fällt aufgrund der sinkenden Fahrzeugnachfrage in Deutschland und Westeuropa. Da der Rest der Welt weiterhin ein vergleichsweise hohes Wachstum aufweist, reduziert sich der Anteil der deutschen Produktion am Weltmarkt.

Abb. 42: Entwicklung der Exporte über die Szenarien, 2017 bis 2050



Quelle: Eigene Berechnungen. Anmerkung: Die Korridore geben an, in welchem Intervall der Anteil der Exporte an der globalen Pkw-Nachfrage bzw. die Exportquote liegen wird. Die Intervalle werden durch die Szenarien determiniert.

2017 lag der Marktanteil deutscher Exporte an der globalen Nachfrage bei 5,8%. Im **Referenzszenario** und Szenario **Verstärkte Elektrifizierung** fällt der Marktanteil bis 2040 auf etwa 5,2%. Im Szenario **Verstärkte Automatisierung** und im **Progressiven Szenario** wächst die Anzahl der in Deutschland produzierten Fahrzeuge im Vergleich zum Referenzszenario weniger stark (siehe Abb. 40). Entsprechend reduziert sich der Anteil der deutschen Produktion am Weltmarkt bis 2040 auf bis zu 4,3%.

Der Export von Teilen, Karosserien und Fahrgestellen entwickelt sich per Annahme analog zu den Exporten von Pkw (siehe dazu Unterabschnitt 2.2.5). In allen Szenarien wächst der Exportwert von Teilen. Allerdings sind die Wachstumsraten im Szenario Verstärkte Automatisierung und im Progressiven Szenario niedriger als im Referenzszenario.[139] Im Referenzszenario und im Szenario Verstärkte Elektrifizierung wächst der Exportwert von

[139] Bedingt durch eine schwächere Pkw-Nachfrage in Deutschland und Europa.

Teilen bis 2030 mit etwa 1% pro Jahr, zwischen 2030 und 2040 mit etwa 3% pro Jahr. Im Szenario Verstärkte Automatisierung und im Progressiven Szenario ist die jährliche Wachstumsrate zwischen 2030 und 2040 nur etwa halb so hoch.

4. Ergebnisse

Das folgende Kapitel beschreibt die Ergebnisse, welche auf Grundlage der Annahmen und Zwischenergebnisse aus unseren Modellberechnungen resultieren. Zunächst werden in Abschnitt 4.1 die Ergebnisse für die Automobilindustrie betrachtet. In Abschnitt 4.2 werden die Ergebnisse für den Automobilhandel und Aftermarket präsentiert. Abschnitt 4.3 vergleicht die Ergebnisse der beiden vorangegangen Abschnitte. Abschnitt 4.4 betrachtet Verflechtungen entlang der Wertschöpfungskette und Abschnitt 4.5 präsentiert Umsatzpotenziale für Shared Mobility-Konzepte in Deutschland.

„Das Wichtigste in Kürze“: Zentrale Ergebnisse der quantitativen Analyse

Zwei grundsätzliche Erkenntnisse lassen sich aus unserer Analyse ableiten: Erstens werden sowohl die Elektrifizierung des Pkw-Marktes als auch das automatisierte Fahren – und damit einhergehende Konzepte für Shared Mobility – die Automobilwirtschaft jeweils fundamental verändern. Die Transformation zur Elektromobilität zeigt sich auf der Produktionsseite vor allem an der sinkenden Anzahl der im Pkw verbauten sowie sich veränderten Komponenten. Durch die effizientere Nutzung von Shared Mobility-Fahrzeugen kommt es zu einer abnehmenden Fahrzeugnachfrage in Westeuropa. Zwar führt eine steigende globale Pkw-Nachfrage zu positiven Wachstumsraten der Produktion und der Wertschöpfung in der deutschen Automobilindustrie. Dies reicht jedoch nicht aus, um den arbeitsplatzsparenden technologischen Fortschritt, welcher durch Elektromobilität noch einmal verstärkt wird, im Zeitverlauf auszugleichen. Bis 2040 könnten in der deutschen Automobilindustrie, je nach Szenario, bis zu einem Drittel der Arbeitsplätze verlorengehen. Im Automobilhandel und Aftermarket sind sogar die Hälfte der Arbeitsplätze gefährdet.

Die zweite Erkenntnis und teilweise positive Nachricht: Aufgrund der gesetzten Regulierung ist der Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzverlust durch Elektromobilität bis 2030 relativ gut planbar. Die Politik kann die Effekte durch gezielte Maßnahmen deutlich abmildern. Zudem ist der Zeitpunkt des Strukturwandels verhältnismäßig günstig und fällt mit dem demografisch bedingten Rückgang der Erwerbsbevölkerung in Deutschland zusammen. Einem großen Teil des Arbeitsplatzabbaus wird so durch den Fachkräfterückgang entgegengewirkt.

Schwieriger einzuschätzen ist der Effekt von neuen Shared Mobility-Angeboten auf die Beschäftigungssituation. Sowohl der Zeitpunkt als auch die Geschwindigkeit des Transformationsprozesses sind hochgradig unsicher. Tendenziell werden die daraus resultierenden Arbeitsplatzverluste sich aber erst nach 2035 in großem Umfang realisieren.

Dabei ergibt sich ein besonders schmerzhaftes Dilemma: Setzt sich die deutsche Automobilwirtschaft – flankiert durch eine zielorientierte Regulierung – an die Spitze der Entwicklung und Markteinführung des automatisierten Fahrens, kann sie eine Vielzahl an Arbeitsplätzen in Deutschland langfristig erhalten. Verschleppt sie hingegen den

Strukturwandel und überlässt die Technologie- und Marktführerschaft der internationalen Konkurrenz, könnte der gesamte Automobilstandort Deutschland zur Disposition stehen.

Die aktuelle Transformation der Automobilwirtschaft wird zu einer Neuplanung und Verlagerung von Produktionsstätten führen. Hier stellt die vergleichsweise hohe regionale Konzentration des Sektors Herausforderungen dar. 2017 entfielen auf nur drei Bundesländer – Bayern, Baden-Württemberg und Niedersachsen – rund zwei Drittel der 920.000 Beschäftigten in der deutschen Automobilindustrie. Bei Werksschließungen und entsprechendem massiven Abbau von Arbeitsplätzen kann der regionale Arbeitsmarkt in seiner Aufnahmekapazität (temporär) überfordert sein. Unsere Prognosen deuten auf eine vergleichsweise günstige Perspektive für Bayern und Baden-Württemberg hin. Auch erscheint die Beschäftigungsstruktur der Automobilindustrie in Niedersachsen mit Blick auf den Strukturwandel robust. Grundsätzlich werden die prognostizierten Arbeitsplatzverluste jedoch dazu führen, dass die Rolle der Automobilindustrie als Arbeitgeber in allen Bundesländern an Bedeutung verliert. Dies ist schmerzlich, da es sich in der Automobilindustrie um Beschäftigungsverhältnisse mit hohem Lohnniveau handelt.

Ebenfalls variiert die Bedeutung der Zulieferindustrie im Vergleich zu den OEMs enorm über die Bundesländer. Da KMU besonders unter Zulieferern zu finden sind, deutet ein hoher Beschäftigungsanteil solcher Betriebe auf eine zusätzliche regionale Herausforderung im Transformationsprozess hin. Davon wird vor allem das Saarland gravierend betroffen sein, das heute unter allen Bundesländern den höchsten Anteil an Erwerbstätigkeit in der Automobilindustrie hat.

Der Arbeitsplatzrückgang in der Automobilindustrie wird zumindest teilweise durch die Einführung neuer Mobilitätskonzepte abgeschwächt werden können. Für diese wird zukünftig ein deutlich steigendes Umsatzpotenzial prognostiziert.

4.1 Automobilindustrie

4.1.1 Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzprognose im Zuge des Strukturwandels: Ergebnisse

Eine steigende globale Pkw-Nachfrage führt zu positiven Wachstumsraten der Wertschöpfung in der deutschen Automobilindustrie. Diese reicht jedoch nicht aus, um die Arbeitsplatzverluste aufgrund von Produktivitätssteigerungen auszugleichen.

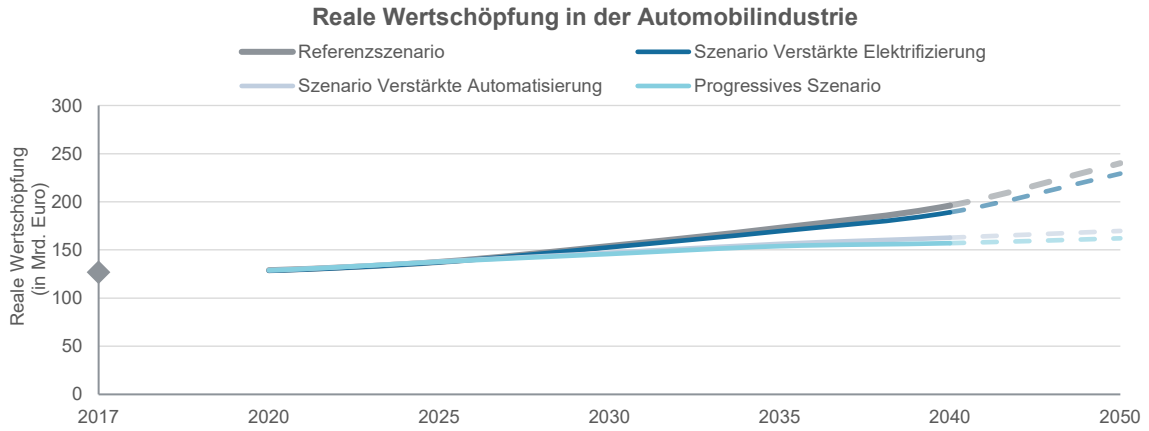
Das Startjahr des Modells ist das Jahr 2017. Die Wertschöpfung der deutschen Automobilindustrie lag 2017 real bei etwa 122 Mrd. Euro (siehe Abb. 43).[140] Im **Referenzszenario** und im **Szenario Verstärkte Elektrifizierung** wächst die reale Wertschöpfung zwischen 2020 und 2025, bedingt durch eine relativ verhaltene europäische Pkw-Nachfrage, mit nur etwa 1% pro Jahr. Nach 2025 entwickelt sich die Nachfrage auf dem europäischen Pkw-Markt positiver und die inländische Produktion steigt an. Hinzu kommt, dass die Wertschöpfung pro Referenzfahrzeug nach 2025 aufgrund der Einführung

[140] Im Unterschied zu Abschnitt II.1.1 verwenden wir als Datengrundlage die Kostenstrukturerhebung im Verarbeitenden Gewerbe und Bergbau und nicht die VGR des Bundes. Wertschöpfung auf Basis der VGR ist aktuell (Mitte 2019) noch nicht verfügbar. In der Kostenstrukturerhebung werden jedoch nur Unternehmen mit 20 Beschäftigten und mehr erfasst. Daher sind 22 Mrd. als untere Grenze der Wertschöpfung der Automobilindustrie im Jahr 2017 zu interpretieren.

neuer technischer Funktionalitäten steigt. Somit wächst die Wertschöpfung der Automobilindustrie nach 2025 mit etwa 2% pro Jahr. Im Vergleich zur bisherigen Entwicklung der realen Wertschöpfung in Deutschland ist die Prognose damit relativ verhalten. Seit 2011 stieg die Wertschöpfung der Automobilindustrie im Schnitt mit fast 5% pro Jahr.[141]

Im **Szenario Verstärkte Automatisierung** und im **Progressiven Szenario** steigt die Wertschöpfung in der Automobilindustrie aufgrund von moderaten Wachstumsraten der Produktion in Deutschland nur langsam. Die steigende Wertschöpfung aufgrund neuer technischer Funktionalitäten (im Vergleich zum Referenzszenario) wird durch den Produktionsrückgang in diesen beiden Szenarien überschattet.

Abb. 43: Reale Wertschöpfung in der Automobilindustrie, 2017 und Prognose von 2020 bis 2050



Quelle: 2017: Daten des Statistischen Bundesamtes (Kostenstrukturerhebung im Verarbeitenden Gewerbe und Bergbau, Tabelle 42251-0001). WZ29: Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen. 2020-2050: Eigene Berechnungen.

Der Wandel zur Elektromobilität wirkt sich nicht nur auf die absolute Höhe der Wertschöpfung aus, sondern auch auf die Verteilung entlang der Wertschöpfungskette. Sowohl Entwicklungs- als auch Produktionsumfänge in den fahrzeugtechnischen Hauptgruppen werden neu strukturiert. In den letzten Jahren ist ein allgemeiner Trend eines sinkenden Wertschöpfungsanteils der Fahrzeughersteller zu verzeichnen. Im Bereich des konventionellen Antriebsstrangs entfallen bereits mehr als zwei Drittel der Wertschöpfung auf die Zulieferindustrie – in den restlichen Fahrzeugbereichen ist es sogar noch mehr. Dennoch verbleiben beispielsweise Entwicklung und Produktion des Grundmotors häufig bei den OEMs, weil hierin eine kundenwahrnehmbare Produktdifferenzierung gesehen wird.

Bei der Entwicklung und Produktion elektrifizierter Antriebstränge hat sich hingegen noch keine dominante Form der Aufteilung der Wertschöpfungsumfänge ergeben. Es herrschen vielmehr unterschiedliche Herangehensweisen. Dies macht eine Prognose der zukünftigen Wertschöpfungsverteilung unmöglich. Kasten 8 erläutert am Beispiel des Elektromotors und der Hochvolt-Batterie verschiedene, aktuelle Produktionsansätze.

[141] Siehe Teil II, Abb. 11.

Kasten 8: Exkurs: Was bedeutet der Wechsel zur Elektromobilität für die Verteilung der Wertschöpfungsumfänge zwischen Fahrzeughersteller und Zulieferindustrie?

Exkurs: Was bedeutet der Wechsel zur Elektromobilität für die Verteilung der Wertschöpfungsumfänge zwischen Fahrzeughersteller und Zulieferindustrie?

OEMs verfolgen verschiedene Herangehensweisen bei der Produktion des Elektromotors. Insbesondere neue Fahrzeughersteller im Bereich der Elektromobilität oder Kleinserienhersteller übernehmen oftmals nur die eigentliche Fahrzeugmontage des Aggregates bzw. die Anbindung an die entsprechenden Strukturen. Der Elektromotor wird dafür als Baugruppe direkt in die Endmontage des OEMs geliefert („Minimaler OEM-Umfang“). Demgegenüber beanspruchen derzeit etablierte OEMs erheblich größere Umfänge („Mittlerer OEM-Umfang“). Fremdbezogen werden von ihnen lediglich einzelne Komponenten, wie z.B. Magnete, Blechpakete oder Elektrik/Elektronik-Komponenten. Die Integration der Komponenten zum Gesamtsystem und die abschließende Fahrzeugintegration findet bei den OEMs statt. Ein noch weitergehender Wertschöpfungsumfang der OEMs („Maximaler OEM-Umfang“) ist nur in Extremfällen möglich.

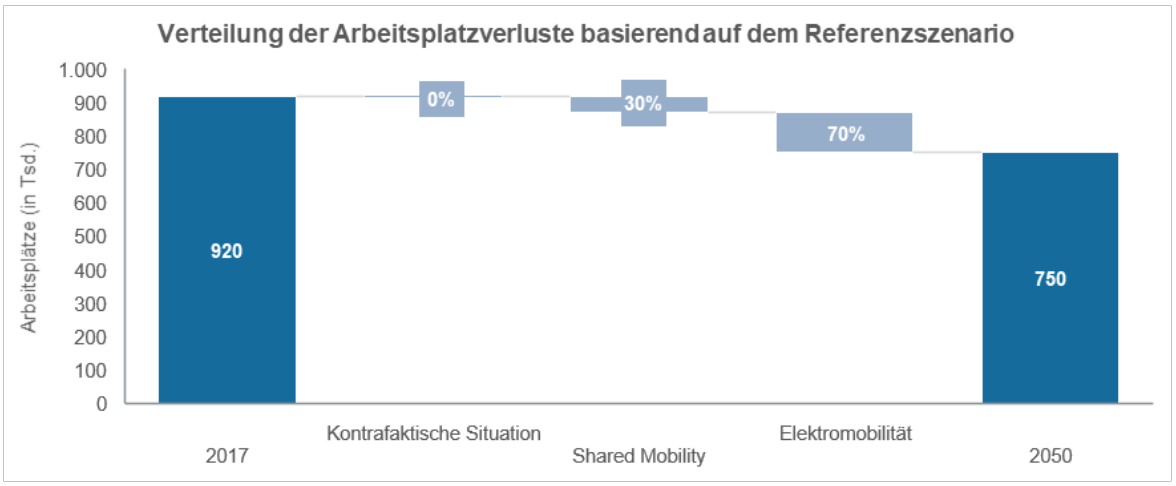
Auch bei den weiteren Kernkomponenten des elektrifizierten Antriebsstrangs, z.B. der Hochvolt-Batterie, hat sich noch keine eindeutige Aufgabenverteilung zwischen Fahrzeughersteller und Zulieferer ausgebildet. Gegenwärtig übernehmen OEMs Aufgaben der Systemintegration, etablieren mit Zulieferern aber bereits bei der Komponentenentwicklung, z.B. des Batteriegehäuses, enge Beziehungen. Für Zulieferer verbleibt daher im Kontext der sich herausbildenden Wertschöpfungsstrukturen die Herausforderung, ihre Bedeutung für den OEM durch rechtzeitigen Kompetenzaufbau weiter zu stärken.

Die Kombination aus (1) höherem technischen Fortschritt sowie zunehmender Kapitalintensität in der Produktion von Elektrofahrzeugen und (2) einer fallenden Pkw-Nachfrage aufgrund der Verbreitung von Shared Mobility-Konzepten wird zu signifikanten Arbeitsplatzverlusten in der deutschen Automobilindustrie führen.

2017 waren in der deutschen Automobilindustrie etwa 920.000 Menschen beschäftigt. Abb. 45 und Tab. 6 stellen die Arbeitsplatzentwicklung im Vergleich über die Szenarien dar. Im **Referenzszenario** gehen davon bis 2030 etwa 11% verloren, bis 2040 sind es 14%, bis 2050 könnten es sogar 18% sein. Die Arbeitsplatzverluste sind zum größten Teil auf die sukzessiv zunehmende Umstellung der Produktion auf elektrifizierte Pkw zurückzuführen. Abb. 44 zerlegt den Arbeitsplatzrückgang bis 2050 in einzelne Komponenten.

Im Referenzszenario sind 2050 nur noch etwa 750.000 Personen in der Automobilindustrie tätig. Dieser Rückgang wird von verschiedenen Faktoren getrieben. Auf der einen Seite führen das globale Wirtschaftswachstum und die dadurch ausgelöste steigende Exporttätigkeit der deutschen Automobilindustrie sowie eine steigende Wertschöpfung pro Fahrzeug zu einem Anstieg der Beschäftigung. Auf der anderen Seite kommt es jedoch aufgrund des arbeitsplatzsparenden technischen Fortschritts (Produktivitätssteigerung) zu einem Rückgang der Beschäftigung. Beide Effekte gleichen sich im Zeitverlauf aus. Mit anderen Worten: In einer *kontrafaktischen Situation*, in welcher kein Strukturwandel und somit kein Umstieg auf Sharing-Konzepte erfolgen und der Verbrenner als Hauptantriebskonzept weiter bestehen würde, käme es zu keiner Veränderung der Beschäftigung.

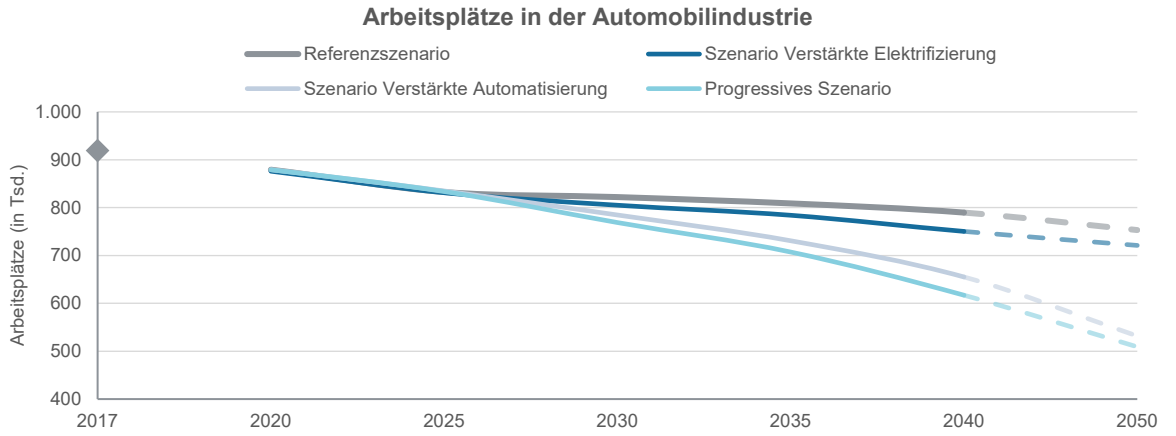
Abb. 44: Prognose der Arbeitsplätze in der Automobilindustrie im Referenzszenario im Jahr 2050



Quelle: 2017: Daten der Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008)). WZ29: Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen. 2050: Eigene Berechnungen. In der kontrafaktischen Situation werden die Effekte der steigenden Exporte, der Produktivitätssteigerung und der steigenden Wertschöpfung pro Fahrzeug zusammengefasst.

Das geänderte Mobilitätsverhalten und die damit einhergehende stärkere Nutzung von Sharing-Konzepten sind für etwa ein Drittel (30%) des Rückgangs der Arbeitsplätze verantwortlich. Die Umstellung der Produktion auf elektrifizierte Pkw ist für etwa zwei Drittel (70%) des Arbeitsplatzrückgangs verantwortlich. Die prognostizierten Arbeitsplatzverluste durch Elektromobilität kommen durch die höhere Kapitalintensität, den höheren technischen Fortschritt und geringere Vorleistungen aus Deutschland (insbesondere bei der Batterie) bei der Produktion von Elektrofahrzeugen bzw. des elektrifizierten Antriebsstrangs im Vergleich zum ICE zustande.

Abb. 45: Arbeitsplätze in der Automobilindustrie, 2017 und Prognose von 2020 bis 2050



Quelle: 2017: Daten der Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008), Stichtag: 31.3.2017). WZ29: Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen. 2020-2050: Eigene Berechnungen.

Das **Szenario Verstärkte Elektrifizierung** zeigt, dass auch bei günstigen Rahmenbedingungen für die Elektromobilität – und damit einer zwischen 2025 und 2040 signifikant beschleunigten Industrietransformation – kaum zusätzliche Arbeitsplatzverluste gegenüber dem Referenzszenario drohen. Dies lässt sich damit erklären, dass bereits im Referenzszenario ein signifikanter Anteil an BEVs und PHEVs im Markt ist (um die CO_2-Flottengrenzwerte einzuhalten). Im Szenario Verstärkte Elektrifizierung gehen bis 2030

etwa 12% und bis 2040 18% der Arbeitsplätze des Jahres 2017 verloren. Bis 2050 könnten es 21% sein. Eine beschleunigte Entwicklung der Elektromobilität stellt demnach gegenüber dem Referenzszenario keine weitreichende zusätzliche Bedrohung für Wertschöpfung und Jobs in Deutschland dar.

Tab. 6: Prognose der Veränderung der Arbeitsplätze in der Automobilindustrie, 2017 und Prognose von 2020 bis 2050

	Referenzjahr	Prognose: Veränderung der Arbeitsplätze in der Automobilindustrie				
	2017	2030		2040		2050
	(in Tsd.)	(in Tsd.)	(in %)	(in Tsd.)	(in %)	(in %)
Referenzszenario	920	-100	-11%	-130	-14%	-18%
Szenario Verstärkte Elektrifizierung	920	-110	-12%	-170	-18%	-21%
Szenario Verstärkte Automatisierung	920	-140	-15%	-270	-29%	-42%
Progressives Szenario	920	-150	-16%	-300	-33%	-45%

Quelle: 2017: Daten der Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008), Stichtag: 31.3.2017). WZ29: Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen. 2020-2050: Eigene Berechnungen.

Das **Szenario Verstärkte Automatisierung** dokumentiert, dass für den Fall einer schnelleren Marktreife höherer Automatisierungsstufen als im Referenzszenario und der damit einhergehenden stärkeren Nutzung von Sharing-Konzepten eine **disruptive Transformation der Automobilindustrie** zu erwarten ist. Bis 2030 gehen 15%, bis 2040 etwa 29% und bis 2050 etwa 42% der Arbeitsplätze von 2017 in der deutschen Automobilindustrie verloren. Dies liegt vor allem daran, dass durch das Angebot an Level 4/5-Fahrzeugen im Sharing-Bereich die Mobilitätsnachfrage der Bevölkerung mit einem geringen Anteil an **privatem Fahrzeugbesitz** befriedigt werden kann. Entsprechend sinkt der Motorisierungsgrad (siehe Abschnitt 3.3) und damit wird schlussendlich die Fahrzeugproduktion in Deutschland direkt in Mitleidenschaft gezogen. Dies betrifft zunächst die Fahrzeugnachfrage und damit die Neuzulassungen in Deutschland selbst, aber auch die Nachfrage in Europa, dem wichtigsten Exportmarkt der deutschen Automobilindustrie. Ferner wirkt sich die verstärkte Automatisierung auch auf den Weltmärkten aus, d.h. die Nachfrage nach Pkw fällt im Vergleich zum Referenzszenario. Dies dämpft die Nachfrage nach in Deutschland produzierten Fahrzeugen im Vergleich zum Referenzszenario.

Durch die Automatisierung ergibt sich somit für die Automobilindustrie ein besonders schmerzhaftes Dilemma: Setzt sich die deutsche Automobilwirtschaft – flankiert durch eine zielorientierte Regulierung – an die Spitze der Entwicklung des automatisierten Fahrens, kann sie zumindest gut die Hälfte der Arbeitsplätze in Deutschland langfristig erhalten. Verschleppt sie den strukturellen Wandel und verzögert sich der notwendige Regulierungsrahmen – beispielsweise in der Hoffnung kurzfristig möglichst viele Arbeitsplätze zu erhalten – und überlässt sie die Technologieführerschaft bei der Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen der internationalen Konkurrenz, so steht der gesamte Automobilstandort Deutschland zur Disposition.

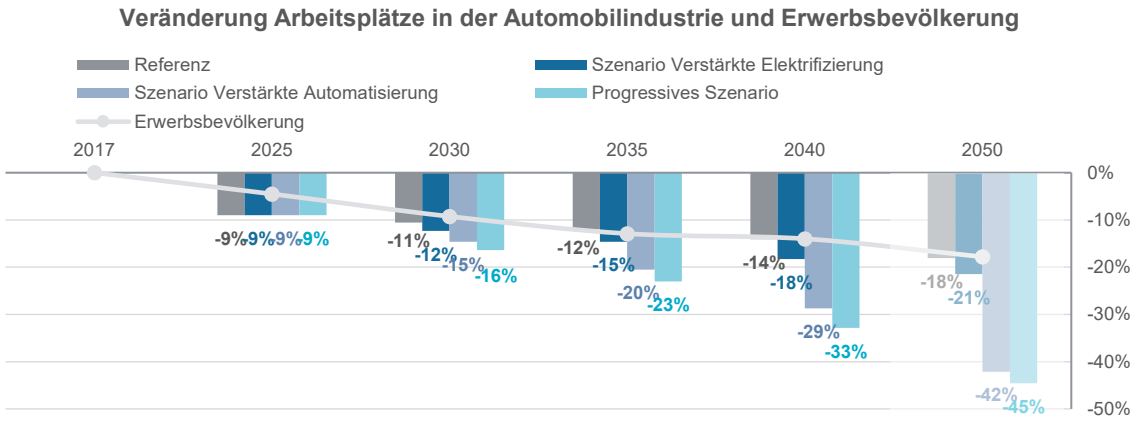
Das **Progressive Szenario** zeigt, dass die zusätzlichen Arbeitsplatzverluste durch eine potenziell beschleunigte Elektrifizierung im Vergleich zum Szenario Verstärkte Elektrifizierung, die durch einen höheren Automatisierungsgrad der Fahrzeuge ausgelöst werden könnte, moderat wären. So gehen bis 2030 etwa 16% und bis 2040 etwa 33% der Arbeitsplätze in der deutschen Automobilindustrie im Vergleich zu 2017 verloren. Bis 2050 könnten es sogar 45% sein. Damit wären nur noch etwa 500.000 Personen in der deutschen Automobilindustrie beschäftigt. Dies sind aber kaum höhere Arbeitsplatzverluste als allein eine verstärkte Automatisierung ohnehin nach sich zieht. Das Szenario spielt für die Analyse

des Strommarktes (siehe Teil IV) aufgrund der Elektrifizierung eine Schlüsselrolle, da ein schneller Hochlauf an Elektrofahrzeugen – wie im Szenario Verstärkte Elektrifizierung modelliert – das Stromnetz unter Umständen stark beanspruchen würde. Eine hochautomatisierte Pkw-Flotte könnte für eine deutliche Entlastung der Stromnetze sorgen. So könnten die Kosten des für eine schnelle Elektrifizierung der Flotte nötigen Netzausbaus reduziert werden.

4.1.2 Arbeitsplatzprognose vor dem Hintergrund der Entwicklung der Erwerbsbevölkerung

Auf den ersten Blick erscheinen die Arbeitsplatzverluste in der deutschen Automobilindustrie bereits im Referenzszenario bedrohlich. Die Zahlen lassen sich aber leicht in einen demografischen Kontext einordnen und verlieren dann zumindest etwas an Schrecken. Denn der Arbeitsplatzabbau, der durch die sukzessive Elektrifizierung und Automatisierung der deutschen, europäischen und globalen Fahrzeugnachfrage entsteht, fällt in eine Zeit, in der die Erwerbsbevölkerung in Deutschland deutlich zurückgehen wird. So geht die Zahl der Erwerbspersonen in Deutschland im Vergleich zu 2017 gemäß der Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes bis 2030 um 9%, bis 2040 um 14% und bis 2050 um 18% zurück. Dies entspricht in etwa dem prognostizierten prozentualen Rückgang der Arbeitsplätze in der deutschen Automobilindustrie im Referenzszenario (siehe Abb. 46). Damit würde die Automobilindustrie ihre Bedeutung in Deutschland trotz einer zügigeren Transformation zur Elektromobilität aufrechterhalten.

Abb. 46: Vergleich der Entwicklung der Arbeitsplätze in der Automobilindustrie und der Erwerbsbevölkerung für alle vier Szenarien, 2017 und Prognose 2020 bis 2050



Quelle: Eigene Berechnungen. Entwicklung der Erwerbsbevölkerung zwischen 15 und 64 Jahren berechnet auf Grundlage von Daten des Statistischen Bundesamtes (Bevölkerungsvorausberechnung. BEV-VARIANTE-02: Kontinuität bei stärkerer Zuwanderung).

Das Szenario **Verstärkte Elektrifizierung** verdeutlicht, dass Arbeitsplatzverluste drohen, falls sich die Elektromobilität schneller durchsetzt als dies im Referenzszenario abgebildet wird. In diesem Szenario verliert die deutsche Automobilindustrie etwas an volkswirtschaftlicher Bedeutung. Allerdings ist zu beachten, dass der größte Teil der Arbeitsplatzverluste durch einen Rückgang der Erwerbsbevölkerung aufgefangen werden kann. Die lange, graduelle Transition vom Verbrenner zur Elektromobilität ermöglicht, dass zumindest im Aggregat kein gravierendes beschäftigungspolitisches Problem auf

Deutschland zurollt. Regional können sich aber durchaus Arbeitsmarktfriktionen einstellen, die ein Handeln erforderlich machen.[142]

Das Szenario **Verstärkte Automatisierung** verdeutlicht, dass eine schnellere globale Entwicklung und Marktreife automatisierter Fahrfunktionen als im Referenzszenario einer Disruption der deutschen Automobilindustrie gleichkäme. Die Arbeitsplatzverluste durch Shared Mobility-Konzepte wären schon 2030 nicht mehr durch demografische Entwicklungen aufzufangen. Bis 2040 würde die Dynamik der Automatisierung der Flotte und dem damit einhergehenden Rückgang im Motorisierungsgrad in Deutschland und in Europa zu einem Rückgang der Beschäftigung in der deutschen Automobilindustrie von 29% führen. Davon kann nur etwa die Hälfte durch den demografischen Wandel aufgefangen werden. Bis 2050 droht sogar der Verlust von 42% der Arbeitsplätze, von denen weit weniger als die Hälfte durch einen Rückgang der Erwerbsbevölkerung abgefedert werden kann.

Festzuhalten ist darüber hinaus, dass die bestehenden Arbeitsplätze nur dann erhalten bleiben, wenn Deutschland es schafft, sich unter die Technologieführer für das vernetzte und automatisierte Fahren zu setzen. Sollte Deutschland abgehängt werden, könnte sogar der Verlust weiterer Arbeitsplätze drohen.

Das **Progressive Szenario** zeigt, dass eine beschleunigte Automatisierung eine endogene Dynamik im Sinne einer schnelleren Elektrifizierung der Flotte bzw. Fahrzeugproduktion in Deutschland auslösen könnte, die wiederum weitere Arbeitsplatzverluste nach sich zöge. Wie im Szenario Verstärkte Automatisierung, können die Verluste nur sehr bedingt durch den Rückgang der Erwerbsbevölkerung aufgefangen werden.

4.1.3 Regionale Arbeitsplatzanalyse und Beschäftigung nach Unternehmensgröße

„Das Wichtigste in Kürze“: Regionale Arbeitsplatzanalyse und Beschäftigung nach Unternehmensgröße

2018 waren nahezu drei Viertel der Beschäftigten in der Automobilindustrie bei Großbetrieben mit mindestens 1.000 Beschäftigten tätig. Dabei waren lediglich 8% aller Betriebe in der Automobilindustrie Großbetriebe. KMU mit weniger als 250 Beschäftigten stellten nur knapp 9% aller Beschäftigten, aber rund 70% aller Betriebe in der Branche, aber.

Großbetriebe nehmen insbesondere unter den OEMs eine zentrale Rolle ein. Auf diese entfielen ca. 97% der Beschäftigten. Bei KMU waren nicht einmal 1% der Beschäftigten tätig. KMU haben jedoch eine größere Bedeutung unter den Zulieferern. Der Anteil der bei KMU Beschäftigen lag bei den Zulieferern bei 16%.

Der prognostizierte Rückgang der Arbeitsplätze könnte im Besonderen KMU treffen und somit primär Zulieferer. KMU haben generell größere Schwierigkeiten bei der Stellenbesetzung als Großbetriebe. Entsprechend des prognostizierten Beschäftigungsrückgangs aus dem Referenzszenario sowie der Verteilung der Beschäftigten wären somit bei den Zulieferern etwa 8.500 Arbeitsplätze besonders gefährdet.

[142] Siehe die Regionalanalyse im folgenden Kapitel.

Unterschiede wird es bei der Transformation nicht nur zwischen Zulieferern und OEMs geben, sondern auch zwischen den Bundesländern. Da die Erwerbsbevölkerung dort unterschiedlich stark zurückgehen wird, wird sich auch der vorhergesagte Beschäftigungsanteil der Automobilindustrie an der Beschäftigung verändern. Die Automobilindustrie verliert beispielsweise bis 2040 in Bayern, Baden-Württemberg und Bremen jeweils etwa ein Viertel und in Niedersachen ca. ein Fünftel ihrer wirtschaftlichen Bedeutung.

Während bundesweit knapp die Hälfte der automobilen Beschäftigung auf Zulieferer entfiel, waren es im Saarland knapp drei Viertel (73%). Bayern, Baden-Württemberg und Sachsen wiesen eine mit dem Bundesschnitt vergleichbare Beschäftigungsstruktur auf. In Niedersachsen waren es hingegen nur 16%.

Getrieben durch den höchsten Beschäftigungsanteil an allen regionalen Arbeitsplätzen, einem drastischen Rückgang der Erwerbsbevölkerung bis 2050 sowie einem überdurchschnittlich hohen Anteil an Zulieferern – und somit auch an KMU – bringt der Transformationsprozess der Automobilindustrie besonders für das Saarland gravierende Probleme mit sich.

Jedoch stehen auch in den Bundesländern mit der größten automobilen Beschäftigung große Herausforderungen an. Im Vergleich zum Saarland deuten jedoch Prognosen zur Erwerbsbevölkerung auf eine vergleichsweise günstigere Entwicklung für Bayern und Baden-Württemberg hin. Auch erscheint die Beschäftigungsstruktur der Automobilindustrie in Niedersachsen mit Blick auf den Strukturwandel robust. Insgesamt werden die prognostizierten Arbeitsplatzverluste jedoch dazu führen, dass die Bedeutung der Automobilindustrie als Arbeitgeber in allen Bundesländern abnimmt.

Beschäftigung nach Unternehmensgröße

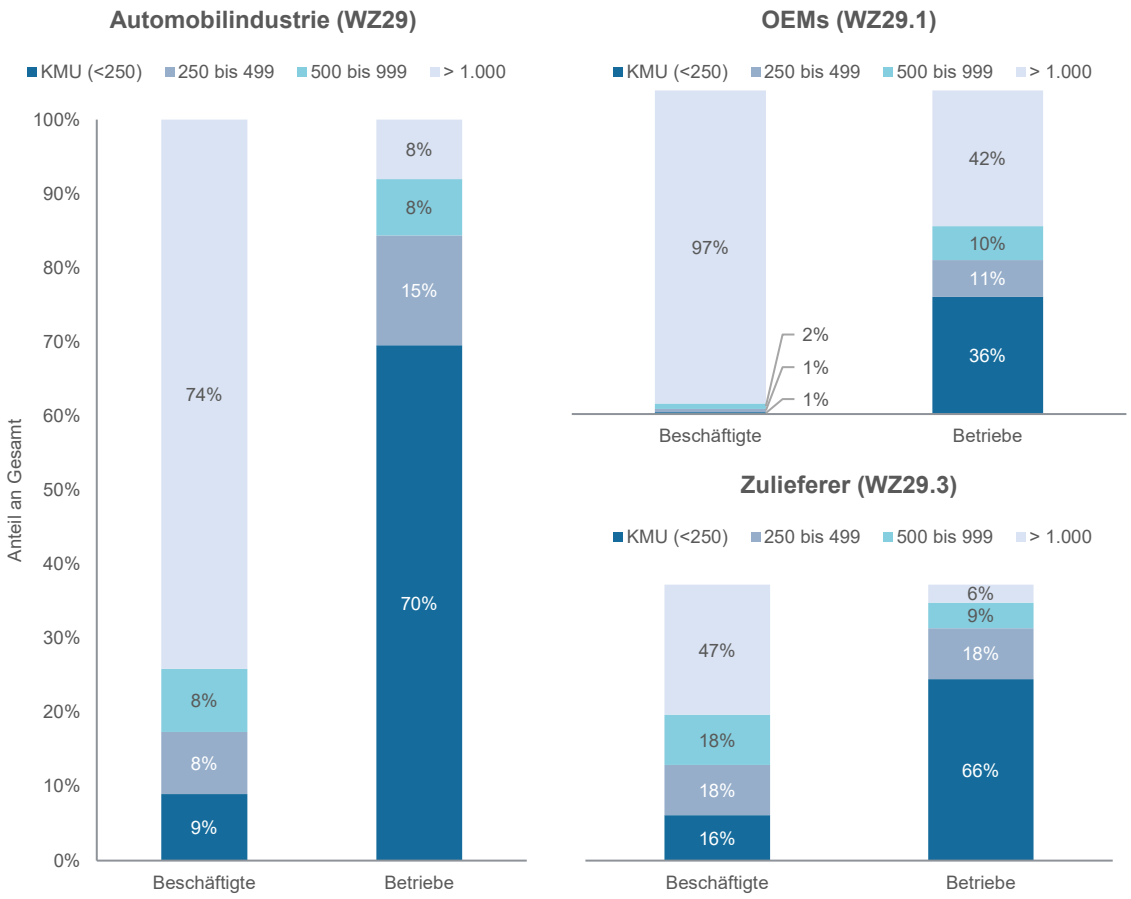
Grundlegende Transformationsprozesse erfordern Investitionen in Humankapital (z.B. durch Fort- und Weiterbildung der Mitarbeiter), physisches Kapital (z.B. neue Produktionsanlagen) und wissensbasiertes Kapitel (z.B. F&E). Sie erfordern daher meist ein hohes Maß an finanziellen Ressourcen sowie ein breit gefächertes Know-how, welches vorwiegend bei größeren Betrieben zu finden ist. Wie in Teil II herausgearbeitet, verfügen kleine Betriebe oft über geringere finanzielle Spielräume und zeichnen sich durch einen höheren Spezialisierungsgrad aus, was eine Umstellung erschwert. Die Voraussetzungen, den strukturellen Wandel der Automobilindustrie erfolgreich zu bewältigen, unterscheiden sich somit auch nach der Betriebsgröße. Daher wird die Verteilung von Beschäftigten und Betrieben in der Automobilindustrie nachfolgend über verschiedene Betriebsgrößenklassen betrachtet.

Wie in Abb. 47 dargestellt, waren 2018 nahezu drei Viertel der Beschäftigten in der Automobilindustrie (WZ29) bei Großbetrieben mit mindestens 1.000 Beschäftigten tätig. Dabei waren lediglich 8% aller Betriebe in der Automobilindustrie Großbetriebe. KMU mit weniger als 250 Beschäftigten stellten hingegen rund 70% aller Betriebe in der Branche, aber nur knapp 9% aller Beschäftigten.

Großbetriebe nehmen insbesondere unter den OEMs (WZ29.1) eine zentrale Rolle ein. Auf diese entfielen 42% der Betriebe sowie 97% der Beschäftigten. Unter den OEMs (WZ29.1) war gut ein Drittel (36%) der Betriebe KMU, auf welche jedoch nicht einmal 1% der Beschäftigten in der Branche entfielen.

Eine deutlich größere Bedeutung wird KMU unter den Zulieferern (WZ29.3) zuteil. Mit zwei Dritteln der Zuliefererbetriebe war der Anteil der KMU fast doppelt so hoch wie unter den OEMs. Auch der Anteil der bei KMU Beschäftigen lag mit 16% bei den Zulieferern deutlich über dem Anteil bei OEMs (<1%).

Abb. 47: Verteilung der Beschäftigten und Betriebe in der Automobilindustrie (WZ29) nach Betriebsgrößenklassen, 2018



Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten des Statistischen Bundesamtes (Jahresberichte für Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe, Stichtag 30.9.2018). Anmerkung: Die WZ29 (Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen) setzt sich aus WZ29.1 (Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenmotoren), WZ29.2 (Herstellung von Karosserien, Aufbauten und Anhängern) und WZ29.3 (Herstellung von Teilen und Zubehör für Kraftwagen) zusammen. Hinweis: Durch Rundungsdifferenzen ergeben sich vereinzelte Abweichungen von 100%.

KMU in der Automobilindustrie stehen in den kommenden Jahren vor großen Herausforderungen. Die Umstellung zur Elektromobilität, die digitale Transformation sowie die knappe Verfügbarkeit hochqualifizierter Mitarbeiter könnten die Existenz vieler Betriebe dieser Größenklasse bedrohen. Die Verfügbarkeit von ausgebildeten Fachkräften ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Transformation. Ergebnisse des IAB zeigen, dass KMU größere Schwierigkeiten bei der Stellenbesetzung haben als Großbetriebe (IAB, 2015).

Der prognostizierte Rückgang der Arbeitsplätze könnte somit im Besonderen KMU treffen, welche wiederum primär unter den Zulieferern zu finden sind. Im Referenzszenario prognostizieren wir für die Automobilindustrie einen Beschäftigungsrückgang von 11% bis 2030 bzw. 18% bis 2050 (siehe Abschnitt 4.1). Hier ist zu befürchten, dass dieser Rückgang besonders unter den KMU zu gravierenden Problemen bis hin zu Betriebsschließungen führen könnte. Entsprechend der in Abb. 47 dargestellten Verteilung der Beschäftigten

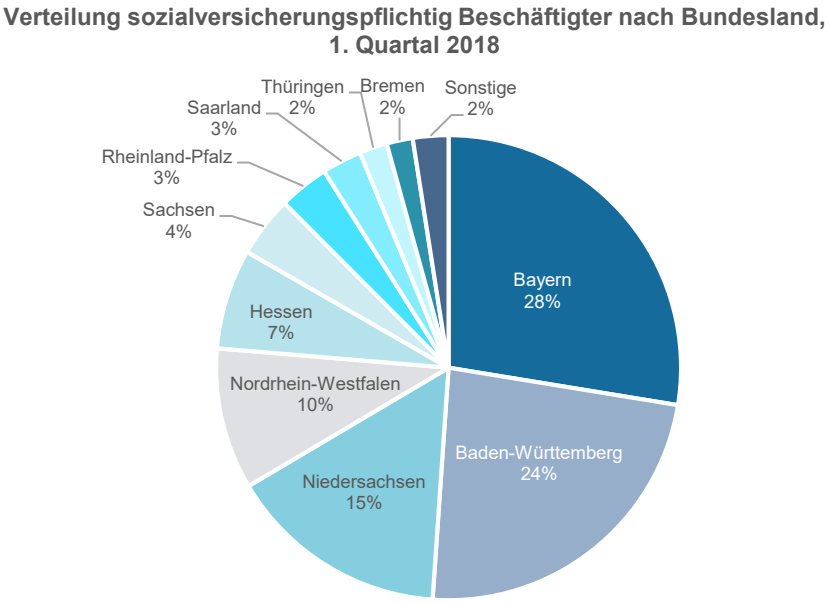
wären bei den Zulieferern 16% der Arbeitsplätze besonders gefährdet, also etwa 52.000 Beschäftigte (bezogen auf 2018). Maßnahmen zur Unterstützung von KMU bei der Transformation werden in den Handlungsempfehlungen in Abschnitt V.6.4 aufgegriffen.

Beschäftigung nach Bundesländern

Zulieferer sind regional unterschiedlich stark konzentriert. Somit lassen sich Bundesländer identifizieren, welche besonders durch Zulieferer und damit auch durch eine relativ starke KMU-Struktur geprägt sind. Im Folgenden werden daher Disparitäten des Transformationsprozess auf regionaler Ebene diskutiert.

2018 waren 940.000 sozialversicherungspflichtig Beschäftigte in der Automobilindustrie tätig, was etwa 3% der sozialversicherungspflichtigen Gesamtbeschäftigung in Deutschland entsprach. Abb. 48 stellt dar, wie sich die Beschäftigten in der Automobilindustrie 2018 auf die Bundesländer verteilten. Rund die Hälfte der automobilen Beschäftigung entfiel auf Bayern (28%) und Baden-Württemberg (24%). Niedersachsen (15%) und Nordrhein-Westfalen (10%) steuerten ein weiteres Viertel der Beschäftigung bei, während die verbleibenden Arbeitsplätze in den restlichen Bundesländern zu finden waren. Somit **entfielen auf nur drei Bundesländer – Bayern, Baden-Württemberg und Niedersachsen – rund zwei Drittel der 940.000 Beschäftigten in der deutschen Automobilindustrie**.

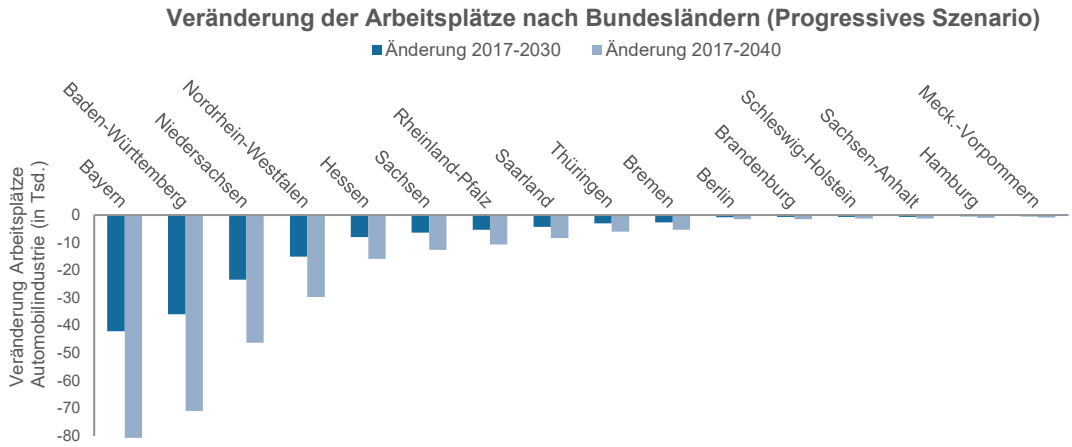
Abb. 48: Verteilung der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in der Automobilindustrie (WZ29) nach Bundesländern, 1. Quartal 2018



Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten der Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008), Stichtag: 31.3.2018). Hinweis: Berlin, Brandenburg, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein wurden als „Sonstige“ zusammengefasst.

Abb. 49 stellt die absoluten Veränderungen der Arbeitsplätze in der Automobilindustrie im Progressiven Szenario dar. Es ergeben sich die absoluten höchsten Arbeitsplatzverluste bis 2040 in Bayern (-80.000), Baden-Württemberg (-70.000), Niedersachsen (-45.000) und Nordrhein-Westfalen (-30.000).

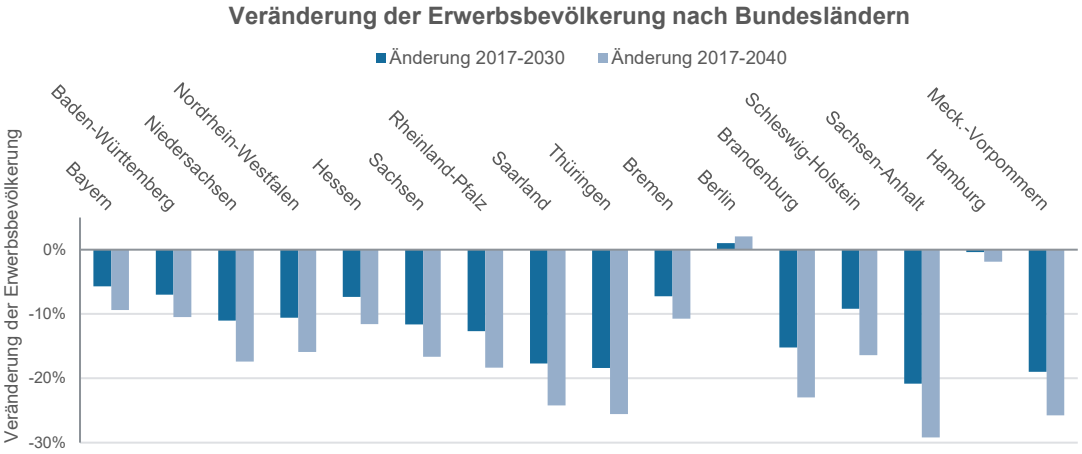
Abb. 49: Veränderung der Arbeitsplätze in der Automobilindustrie im Progressiven Szenario nach Bundesländern, 2017 und Prognose von 2020 bis 2040



Quelle: 2017: Daten der Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008)). WZ29: Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen. 2020-2050: Eigene Berechnungen.

Die deutlichen regionalen Unterschiede in der absoluten Größe der Arbeitsplatzverluste in der Automobilindustrie geben jedoch noch keinen Rückschluss auf deren Bedeutung für die regionale Gesamtwirtschaft. Gemessen an allen sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in einem Bundesland ist das Saarland 2017 am stärksten von der Automobilindustrie abhängig. Während hier rund 7% aller Beschäftigten in der Automobilindustrie tätig sind, sind es in Bremen, Baden-Württemberg, Niedersachsen und Bayern etwa 5%.[143] Diese fünf Bundesländer könnte man demnach etwas salopp als „Autobundesländer“ beschreiben.

Abb. 50: Prognostizierte Entwicklung der Erwerbsbevölkerung (15 bis 64 Jahre) bis 2030 und 2040 nach Bundesländern



Quelle: IPE. Eigene Berechnungen basierend auf Daten des Statistischen Bundesamtes (Bevölkerungsvorausberechnung, BEV VARIANTE-02: Kontinuität bei stärkerer Zuwanderung (G1-L1-W2)).

Auch, wie in Abschnitt 2.2 dargestellt, fällt der strukturelle Wandel der Automobilindustrie in eine Zeit, in der in Deutschland die Erwerbsbevölkerung zurückgehen wird. Der Rückgang der Erwerbsbevölkerung unterliegt regionaler Variation. Im Ergebnis hängt daher die regionale Entwicklung der Automobilindustrie auch von regionalen Disparitäten in der Entwicklung der Erwerbsbevölkerung ab. Abb. 50 stellt die Entwicklung der

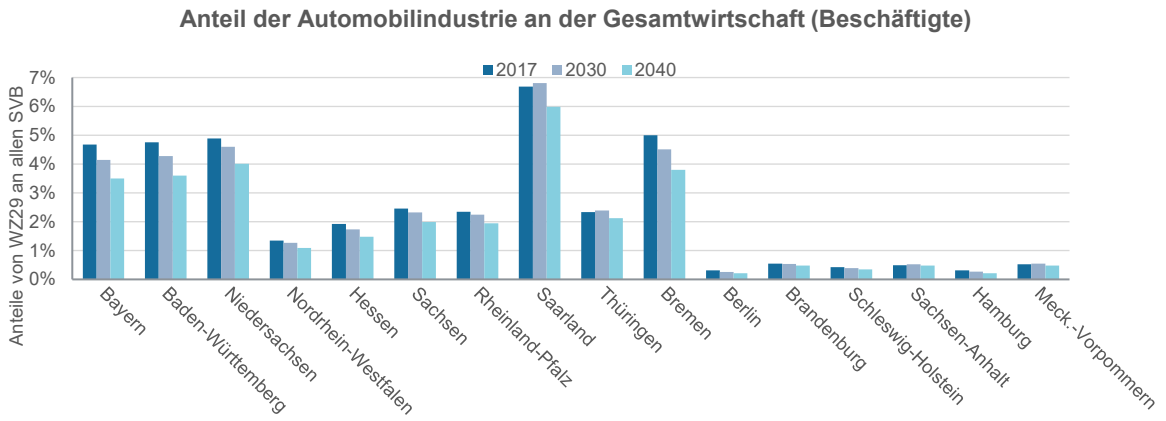
[143] Siehe hierzu Teil II, Abb. 14.

Erwerbsbevölkerung zwischen 15 und 64 Jahren pro Bundesland als Prognose bis 2030 bzw. 2050 dar.

In den absolut betrachtet größten Autobundesländern Bayern und Baden-Württemberg sinkt die Erwerbsbevölkerung bis 2040 mit 10% vergleichsweise moderat. Ein ähnlich starker Rückgang wird auch für Bremen prognostiziert (11%). In Niedersachsen (17%) und Nordrhein-Westfalen (16%) nimmt sie dagegen stärker ab. Im Saarland hingegen fällt die Erwerbsbevölkerung sogar um beinahe ein Viertel.

Abb. 51 stellt den vorhergesagten Beschäftigungsanteil der Automobilindustrie an allen sozialversicherungspflichtig Beschäftigten im **Progressiven Szenario** dar.

Abb. 51: Prognostizierter Anteil der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in der Automobilindustrie (WZ29) an der Gesamtwirtschaft im Progressiven Szenario, 2017 und Prognose 2030 bis 2040



Quelle: 2017: Daten der Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008), Stichtag: 31.3.2017). WZ29: Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen. 2020-2050: Eigene Berechnungen. SVB=Sozialversicherungspflichtig Beschäftigten.

Unter Berücksichtigung dieser Prognose wird die wirtschaftliche Bedeutung der Automobilindustrie in allen Bundesländern sinken. Während die Automobilindustrie 2017 noch 4,7% der Arbeitsplätze in Bayern und 4,8% der Beschäftigung in Baden-Württemberg stellte, prognostizieren wir bis 2040 einen Beschäftigungsanteil von nur noch rund 3,5% und 3,6% in den jeweiligen Bundesländern. In Niedersachsen fällt der Anteil von 4,9% bis 2040 auf rund 4%. Im Saarland fällt er von 6,7% auf 6,0% und in Bremen von 5,0% auf 3,8%. Exemplarisch für ein vergleichsweise starkes Automobilbundesland im Osten Deutschlands deutet die Prognose auch in Sachsen darauf hin, dass die Automobilindustrie signifikant an wirtschaftlicher Bedeutung verlieren wird. 2017 lag der Beschäftigungsanteil in Sachsen bei 2,5% und fällt bis 2040 auf 2% ab.

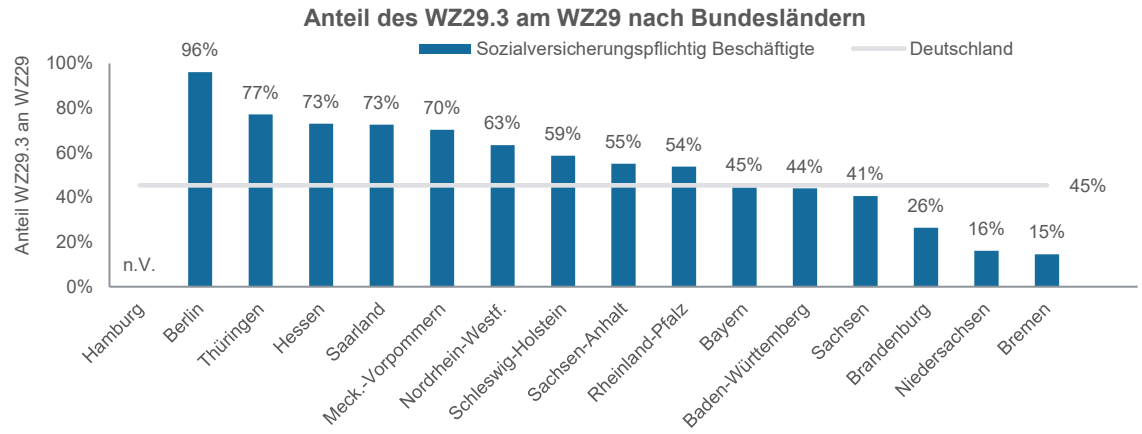
Die Automobilindustrie verliert bis 2040 in fast allen Autobundesländern wesentlich an wirtschaftlicher Bedeutung. In Bayern, Baden-Württemberg und Bremen verliert sie jeweils etwa ein Viertel und in Niedersachen ca. ein Fünftel ihrer wirtschaftlichen Bedeutung. Nur im Saarland fällt die wirtschaftliche Bedeutung mit rund 11% weniger stark. Grund hierfür ist der starke Rückgang der Erwerbsbevölkerung.

Bedeutung der Zulieferindustrie nach Bundesland

Die Bedeutung der Zulieferindustrie im Vergleich zu den OEMs variiert enorm über die Bundesländer. Abb. 52 stellt für 2018 die regionale Beschäftigungsstruktur pro Bundesland

als Anteil der Beschäftigten bei Zulieferern an der Automobilindustrie dar. Bundesweit entfiel knapp die Hälfte (45%) der automobilen Beschäftigung auf Zulieferer. Unter den Bundesländern, welche besonders von der Automobilindustrie geprägt sind, zeigt sich eine heterogene Beschäftigungsstruktur. Nahezu drei Viertel (73%) der Beschäftigten in der Automobilindustrie im Saarland waren bei Zulieferern tätig. Während in Niedersachsen lediglich jeder sechste Beschäftigte (16%) in der Branche bei einem Zulieferer angestellt war, verhielt sich die Beschäftigungsstruktur in Bayern (45%) und Baden-Württemberg (44%) ähnlich der des Bundes. Auch Sachsen (41%) wies eine mit dem Bundesschnitt vergleichbare Beschäftigungsstruktur auf. Da KMU besonders unter Zulieferern zu finden sind, deutet ein hoher Beschäftigungsanteil solcher Betriebe auf eine zusätzliche regionale Herausforderung im Transformationsprozess hin.

Abb. 52: Anteile von sozialversicherungspflichtig Beschäftigten bei Zulieferern (WZ29.3) an der Automobilindustrie (WZ29) nach Bundesländern, 1. Quartal 2018



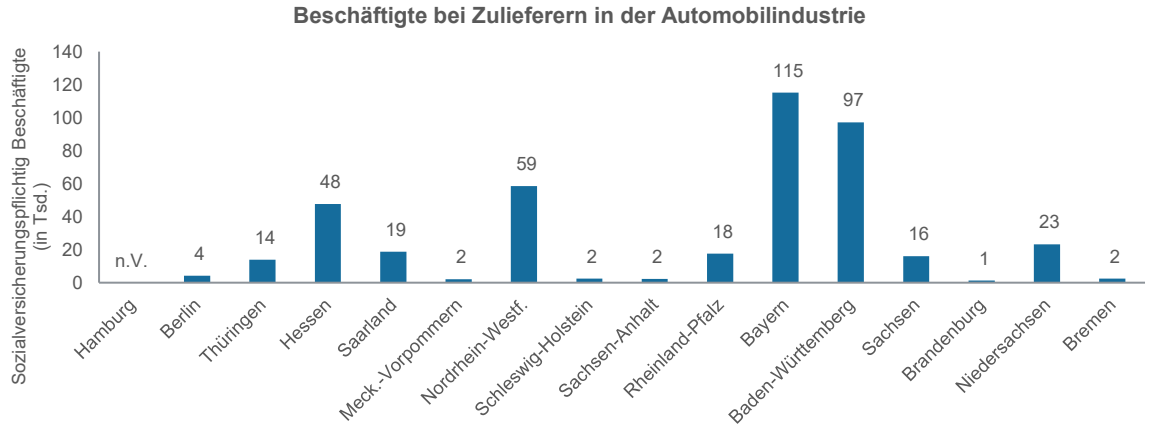
Quelle: IPE. Eigene Berechnungen basierend auf Daten der Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008), Stichtag: 31.3. 2018). Anmerkung: Werte für Hamburg nicht verfügbar.

Um die Beschäftigungsanteile bei Zulieferern ins Verhältnis zu setzen, stellt Abb. 53 die absoluten Zahlen der Beschäftigten bei Zulieferern dar. Es zeigt sich, dass sich die Beschäftigten bei Zulieferern nicht unbedingt in Bundesländern clustern, in denen viele Produktionsstätten von OEMs liegen, so z.B. in Hessen und Nordrhein-Westfalen.

Getrieben durch den höchsten Beschäftigungsanteil an allen regionalen Arbeitsplätzen, einem drastischen Rückgang der Erwerbsbevölkerung bis 2040 sowie einem überdurchschnittlich hohen Anteil an Zulieferern – und somit auch an KMU – bringt der Transformationsprozess der Automobilindustrie besonders für das Saarland gravierende Probleme mit sich. Aber auch in den Bundesländern mit der größten automobilen Beschäftigung stehen große Herausforderungen an. Im Vergleich zum Saarland deuten jedoch Prognosen zur Erwerbsbevölkerung auf eine vergleichsweise günstigere Entwicklung für Bayern und Baden-Württemberg hin. Auch erscheint die Beschäftigungsstruktur der Automobilindustrie in Niedersachsen mit Blick auf den Strukturwandel robust. Grundsätzlich werden die prognostizierten Arbeitsplatzverluste jedoch dazu führen, dass die Rolle der Automobilindustrie als Arbeitgeber in allen Bundesländern an Bedeutung verliert.

Dies ist schmerzlich, da es sich in der Automobilindustrie um Beschäftigungsverhältnisse mit hohem Lohnniveau handelt. 2018 war die Automobilindustrie unter den zehn Wirtschaftszweigen mit den höchsten durchschnittlichen Bruttostundenverdiensten.[144]

Abb. 53: Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte bei Zulieferern (WZ29.3) nach Bundesländern, 1. Quartal 2018



Quelle: IPE. Eigene Berechnungen basierend auf Daten der Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008), Stichtag: 31.3.2018). Anmerkung: Werte für Hamburg nicht verfügbar.

4.1.4 Exkurs: Qualifikationsanforderungen im Strukturwandel

Eine Besonderheit der Automobilindustrie ist, dass 20% der Beschäftigten über einen akademischen Abschluss verfügen. Damit liegt sie fünf Prozentpunkte über dem Durchschnitt des Produzierenden Gewerbes und drei Prozentpunkte über dem Durchschnitt aller Branchen (siehe Abb. 54).[145] Ansonsten ist das Qualifikationsniveau der Beschäftigten in der deutschen Automobilindustrie wesentlich durch klassische Berufsabschlüsse geprägt. 2018 verfügten nahezu zwei Drittel (64%) der Beschäftigten über eine abgeschlossene Berufsausbildung. Dieser Anteil ist zwar leicht unter dem Durchschnitt des Verarbeitenden Gewerbes, jedoch deutlich über dem der Gesamtwirtschaft.[146]

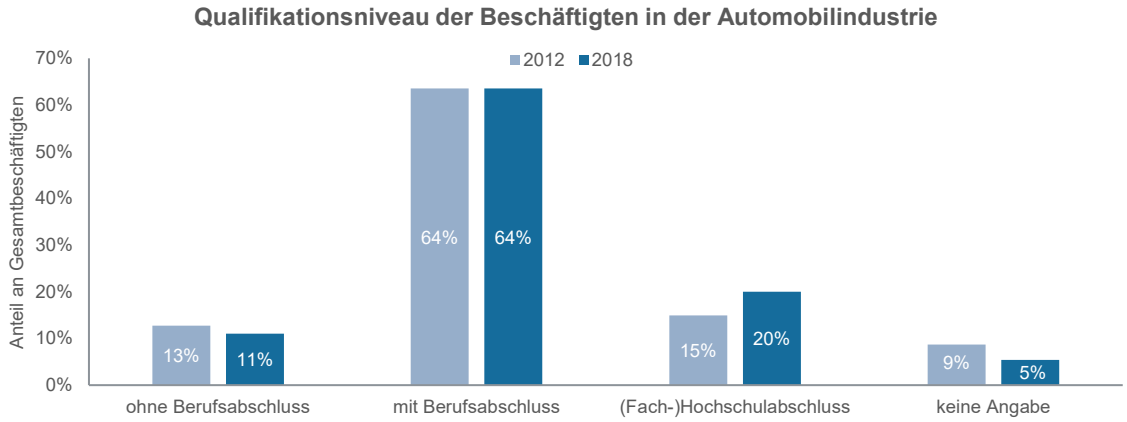
Dass aktuell ein Wandel in der Nachfrage nach höherqualifiziertem Personal stattfindet, wird durch einen Vergleich mit 2012 belegt. Während der Anteil der Beschäftigten mit Berufsabschluss in der Automobilindustrie konstant blieb, nahm der Anteil der Beschäftigten mit einem (Fach-)Hochschulabschluss zu. Er stieg von 15% auf 20% an. Dies entspricht einem Wachstum von 27%. Im gleichen Zeitraum fiel der Anteil des ungelernten Personals um 15%. Eine vergleichbare Entwicklung lässt sich im Verarbeitenden Gewerbe beobachten. Hier stieg der Akademikeranteil ebenfalls um 27%, während der Anteil der Beschäftigten ohne Berufsausbildung um 14% zurückging.

Eine differenzierte Betrachtung nach OEMs (WZ29.1) und Zulieferern (WZ29.3) ist in Abb. 55 dargestellt. Innerhalb der Automobilindustrie wiesen OEMs 2018 mit 22% den höchsten Anteil an akademischem Personal auf. Unter den Zulieferern verfügten 19% der Beschäftigten über einen (Fach-)Hochschulabschluss. Sowohl bei OEMs als auch bei Zulieferern haben Hochqualifizierte im Vergleich zu 2012 an Bedeutung gewonnen. Die

144 Quelle: Statistisches Bundesamt (Vierteljährliche Verdiensterhebung, Tabelle: 62321-0001). Stichtag: 31. März 2018. Nicht ausgewiesen wurden die Abschnitte A, S, T und U.
145 Quelle: Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008), Stichtag 31.12.)
146 Der Anteil an Arbeitskräften ohne Berufsabschluss beläuft sich auf lediglich 11% und ist damit sowohl mit dem Verarbeitenden Gewerbe als auch mit der Gesamtwirtschaft vergleichbar.

Entwicklung von ungelerntem Personal (ohne Berufsabschluss) unterscheidet sich jedoch. Unter den OEMs blieb der Anteil dieser Beschäftigten relativ konstant, während bei Zulieferern ein leichter Rückgang des Anteils von ungelerntem Personal beobachtbar ist.

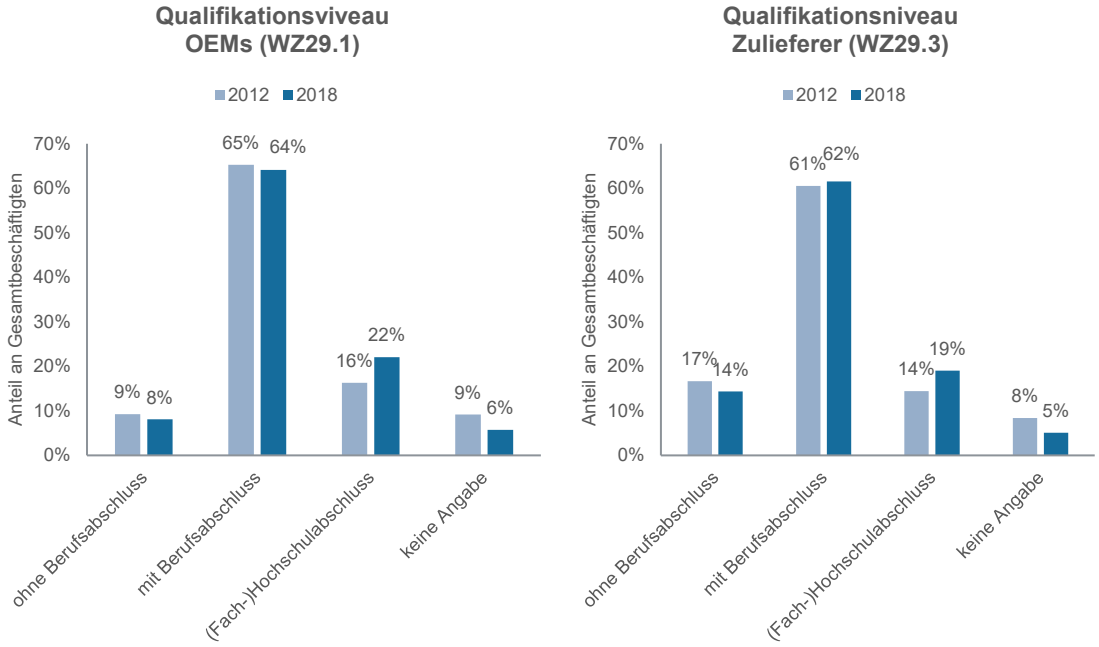
Abb. 54: Verteilung der Beschäftigten in WZ29 auf Qualifikationsniveaus in Deutschland, 2012 und 2018



Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten der Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008), Stichtag 31.12. des jeweiligen Jahres). Anmerkung: Die WZ29 (Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen) setzt sich aus WZ29.1 (Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenmotoren), WZ29.2 (Herstellung von Karosserien, Aufbauten und Anhängern) und WZ29.3 (Herstellung von Teilen und Zubehör für Kraftwagen) zusammen.

Und auch für die Zukunft geht das BMAS aufgrund einer Expertenbefragung davon aus, dass der Anteil der hochqualifizierten Beschäftigten zunehmen wird (BMAS, 2018). Unter den befragten Experten prognostizieren drei Viertel eine weitere Zunahme von Hochqualifizierten in der Branche, während 25% sogar eine starke Zunahme an Beschäftigten dieses Qualifikationsniveaus erwarten. Dies könnte zum einen in der zunehmenden Technologisierung von Pkw und deren Produktion begründet sein, welche eine steigende Nachfrage nach hochqualifiziertem Personal (z.B. Ingenieuren) bedingt. Zum anderen könnte aber auch die Zunahme an Hochschulabsolventen dazu führen, dass vermehrt höher Qualifizierte eingestellt werden. Die fortschreitende Automatisierung substituiert hingegen einfachere Tätigkeiten, was zu einer abnehmenden Nachfrage nach gering Qualifizierten führt (IAB, 2019). Kommt es zu Entlassungen, fällt es dabei insbesondere gering Qualifizierten schwer, einen neuen Arbeitsplatz zu finden (Bundesagentur für Arbeit, 2019). So ist die Arbeitslosenquote von Personen ohne abgeschlossene Berufsausbildung rund sechs Mal höher als von Personen mit einer beruflichen Ausbildung. Zudem ist ihr Risiko, in die Langzeitarbeitslosigkeit zu geraten, höher als bei Fachkräften, Spezialisten und Experten.

Abb. 55: Verteilung der Beschäftigten in WZ29.1 (OEMs) und WZ29.3 (Zulieferer) auf Qualifikationsniveaus in Deutschland, 2012 und 2018



Quelle: IPE. Eigene Berechnungen basierend auf Daten der Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008), Stichtag 31.12. des jeweiligen Jahres). Anmerkung: Die WZ29 (Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen) setzt sich aus WZ29.1 (Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenmotoren), WZ29.2 (Herstellung von Karosserien, Aufbauten und Anhängern) und WZ29.3 (Herstellung von Teilen und Zubehör für Kraftwagen) zusammen. Hinweis: Durch Rundungsdifferenzen ergeben sich vereinzelte Abweichungen von 100%.

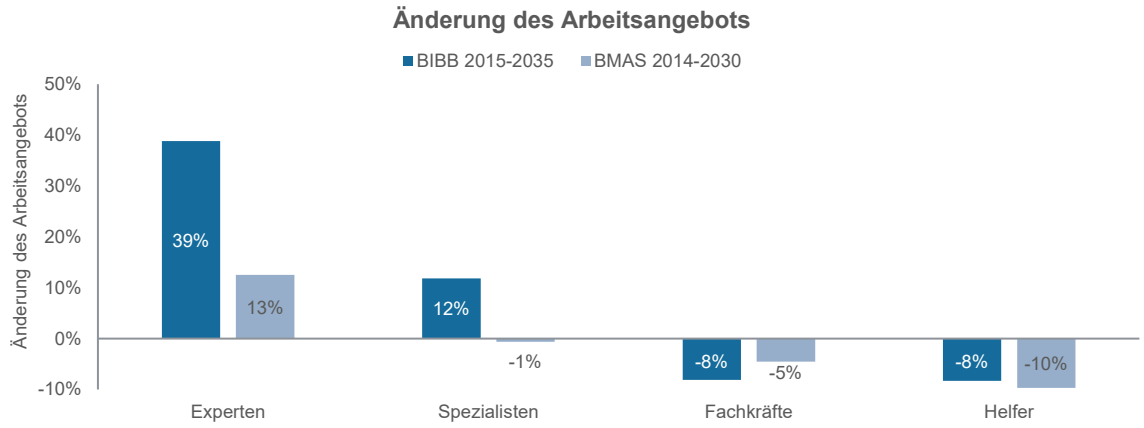
Die erwartete Entwicklung der Nachfrage deckt sich in dieser Hinsicht auch mit dem zukünftigen Angebot an Arbeitskräften in Deutschland (siehe Abb. 56). Auf Basis des Jahres 2015 prognostizieren das IAB und das Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB),[147] dass das verfügbare Arbeitskräfteangebot bei einer Betrachtung nach dem Anforderungsniveau gemäß der Klassifikation der Berufe 2010 (KldB2010) für Expertentätigkeiten bis 2035 um 39% ansteigen wird. Während das Angebot an Spezialisten ebenfalls um 12% steigt, kommt es zukünftig sowohl bei Fachkräften (-8%) als auch bei Helfern (-8%) zu einem deutlich geringeren Arbeitskräfteangebot.[148] Eine Prognose des BMAS (2016) deutet qualitativ auf eine ähnliche Entwicklung hin. Laut dieser Vorhersage wird das Angebot an Helfern zwischen 2014 und 2030 um 10% abnehmen, während das Fachkräfteangebot um 5% sinkt. Im selben Zeitraum prognostiziert das BMAS ein nahezu gleichbleibendes Angebot an Spezialisten (-1%) und einen Anstieg an Experten um 13%.

Grundsätzlich steht der stärkeren Nachfrage der Automobilindustrie somit auch ein erhöhtes gesamtwirtschaftliches Angebot an Hochqualifizierten gegenüber. Prognosen des IAB und BIBB zu Angebot und Nachfrage auf Expertenniveau in Deutschland sind in Abb. 57 dargestellt. Während 2015 ca. 5,5 Mio. Arbeitsplätze für Expertentätigkeiten besetzt werden konnten, belief sich die Nachfrage jedoch auf knapp 8 Mio. Obwohl das Angebot (39%) an

147 Siehe https://www.bibb.de/de/qube_datenportal_ergebnisse.php (Szenario: Basisprojektion).
148 Expertentätigkeiten erfordern ein mindestens vierjähriges abgeschlossenes Hochschulstudium, Spezialisten eine Meister- oder Technikerausbildung bzw. einen gleichwertigen (Fach-)Hochschulabschluss (z.B. einen Bachelorabschluss), Fachkräfte eine mindestens zweijährige abgeschlossene Berufsausbildung. Helfertätigkeiten erfordern hingegen keine berufliche Ausbildung.

Experten laut der Prognose bis 2035 stärker als die Nachfrage (11%) steigt, kann diese nicht bedient werden. Somit ergibt sich auch im Jahr 2035 noch ein Nachfrageüberschuss („Fachkräftemangel“) von ca. 1 Mio. Stellen.

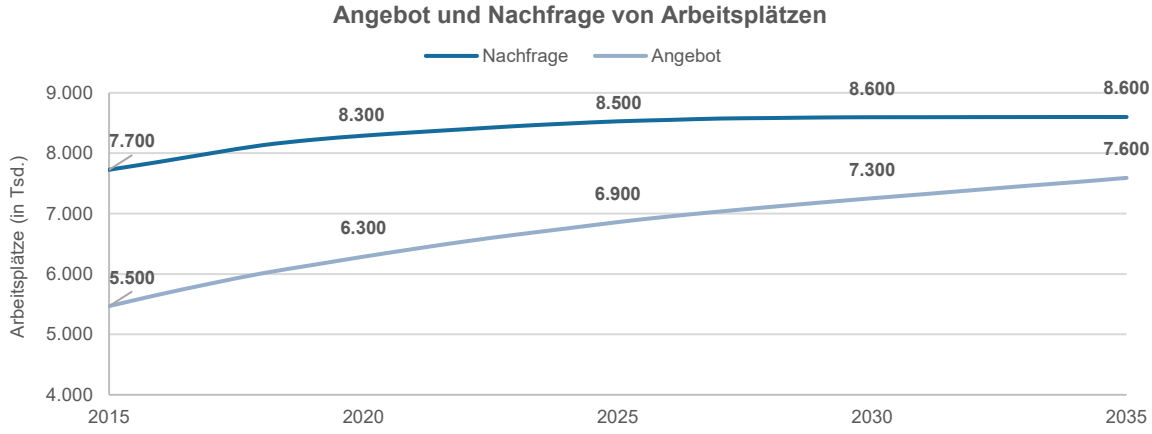
Abb. 56: Prognostizierte Entwicklung des Arbeitsangebots nach beruflichem Anforderungsniveau (BIBB und BMAS)



Quelle: IPE. Eigene Berechnungen basierend auf Daten des IAB und BIBB sowie BMAS (2016). Anmerkung: Dargestellte Änderungsraten nach Daten des BIBB beziehen sich auf den Zeitraum zwischen 2015-2035, während sich Daten nach BMAS (2016) auf 2014-2030 beziehen.

In wie weit das zukünftige Arbeitskräftepotenzial die Nachfrage der Automobilindustrie decken kann, ist auch von der fachlichen Ausrichtung der (Fach-)Hochschulabsolventen abhängig. Aufgrund der eingeschränkten Datenlage lässt sich jedoch keine fundierte quantitative Prognose ableiten. Studien im Rahmen des Projekts „Netzwerk Qualifizierung Elektromobilität (NQuE)“ kommen zu der Erkenntnis, dass Studieninhalte zu Elektromobilität und alternativen Antriebsarten bereits umfassend verfügbar sind (ika und Technische Hochschule Ingolstadt, 2017). Eine umfangreiche Diskussion dieser Ergebnisse ist Gegenstand von Kapitel 6.

Abb. 57: Angebot und Nachfrage nach Experten mit mindestens vierjährigem abgeschlossenem Hochschulstudium, 2015 und IAB/BIBB-Prognose 2020 bis 2035



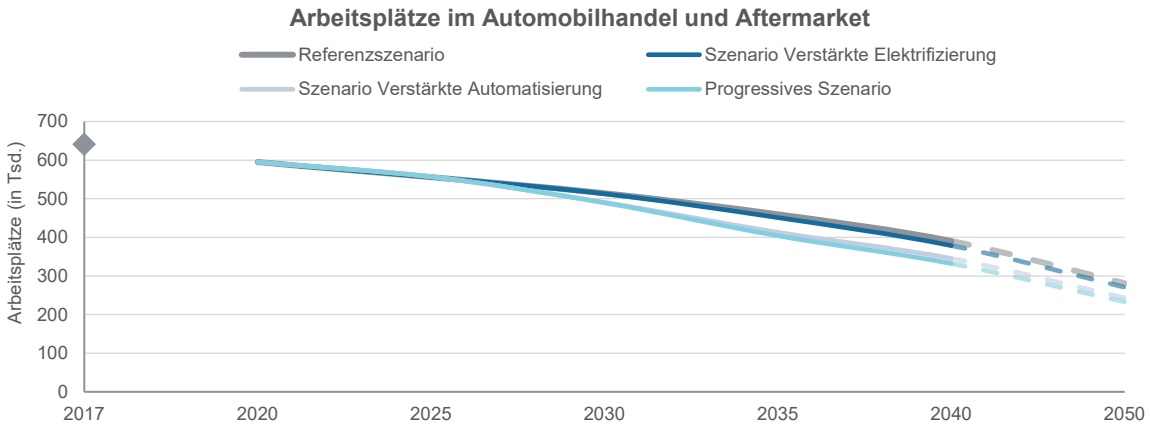
Quelle: BIBB und IAB. Siehe https://www.bibb.de/de/qube_datenportal_ergebnisse.php (Szenario: Basisprojektion).

4.2 Automobilhandel und Aftermarket

Aufgrund eines Rückgangs der Neuzulassungen wird es im Automobilhandel zu einem Verlust an Arbeitsplätzen kommen. Im Aftermarket wird es sowohl durch Shared Mobility und dem damit einhergehenden niedrigeren Motorisierungsgrad als auch durch die Elektrifizierung zu einem drastischen Verlust an Arbeitsplätzen kommen.

Die Arbeitsplatzeffekte der Elektrifizierung bzw. Automatisierung des Pkw-Marktes sind in der Summe für Automobilhandel und Aftermarket über alle Szenarien hinweg vergleichsweise ähnlich. Von den heute etwa 640.000 Arbeitsplätzen werden bis 2030 mindestens 20% (Referenzszenario) und bis zu 24% (Progressives Szenario) der Arbeitsplätze verloren gehen (siehe Abb. 58 und Tab. 7). Bis 2040 werden es mindestens 39% und bis zu 48% sein. Bis 2050 könnten sogar knapp zwei Drittel (64%) der Arbeitsplätze von heute verloren gehen. Der Grund hierfür liegt einerseits an dem geringeren Reparaturbedarf und den niedrigeren Reparaturkosten von Elektrofahrzeugen. Aber auch geringere Unfallzahlen bei automatisierten Fahrzeugen sowie der deutlich geringere Motorisierungsgrad bzw. Fahrzeugbestand in einer hochautomatisierten bzw. autonom fahrenden Fahrzeugwelt wirken sich aus. Letzteres betrifft insbesondere den Automobilhandel.

Abb. 58: Arbeitsplätze im Automobilhandel und Aftermarket, 2017 und Prognose von 2020 bis 2050



Quelle: 2017: Daten der Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008), Stichtag: 31.3.2017). WZ45.1: Handel mit Kraftwagen, WZ45.2: Instandhaltung und Reparatur von Kraftwagen und WZ45.3: Handel mit Kraftwagenteilen und -zubehör. 2020-2050: Eigene Berechnungen.

Die Zahl der Arbeitsplätze im **Automobilhandel** hängt maßgeblich an der Zahl der Neuzulassungen in Deutschland, die bereits in Abschnitt 3.3 dargestellt wurde. Ab 2025 kommt es im Szenario **Verstärkte Automatisierung** und im **Progressiven Szenario** aufgrund der niedrigeren Zulassungszahlen zu einem **höheren Verlust an Arbeitsplätzen** als im Referenzszenario und im Szenario Verstärkte Elektrifizierung.

Bedingt durch die Automatisierung geht, wie in Abb. 59 dargestellt, die Zahl der Beschäftigten im Automobilhandel von rund 180.000 im Status Quo (2017) bis 2030 auf knapp 130.000 und bis 2040 auf 110.000 im Referenzszenario zurück. Bis 2050 droht sogar ein Rückgang auf 100.000 Arbeitsplätze. Im Szenario Verstärkte Elektrifizierung sind die Abweichungen zum Referenzszenario aufgrund der ähnlichen Zulassungszahlen äußerst gering.

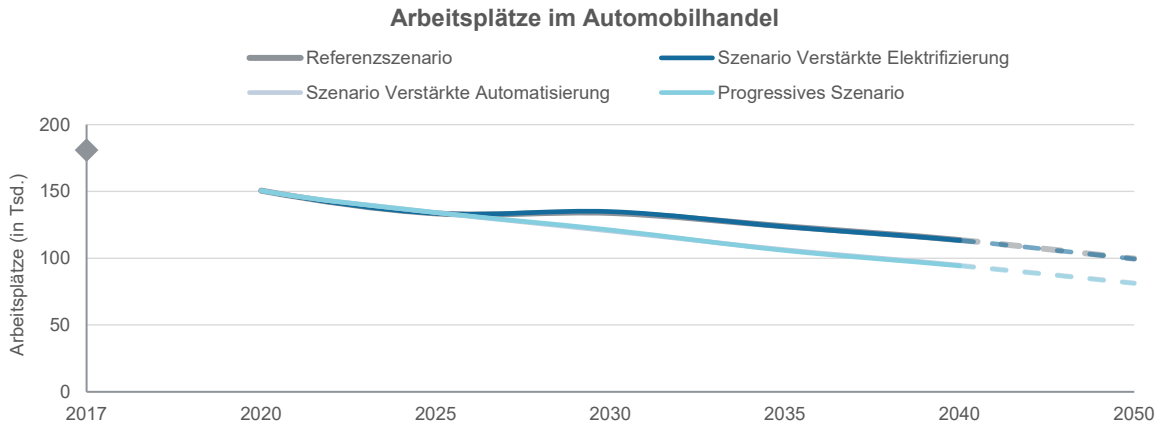
Tab. 7: Prognose der Veränderung der Arbeitsplätze im Automobilhandel und Aftermarket, 2017 und Prognose von 2020 bis 2050

	Referenzjahr	Prognose: Veränderung der Arbeitsplätze im Automobilhandel und Aftermarket				
	2017	2030		2040		2050
	(in Tsd.)	(in Tsd.)	(in %)	(in Tsd.)	(in %)	(in %)
Referenzszenario	640	-130	-20%	-250	-39%	-56%
Szenario Verstärkte Elektrifizierung	640	-130	-20%	-260	-41%	-58%
Szenario Verstärkte Automatisierung	640	-150	-23%	-300	-46%	-62%
Progressives Szenario	640	-150	-24%	-310	-48%	-64%

Quelle: 2017: Daten der Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008), Stichtag: 31.3.2017). WZ45.1: Handel mit Kraftwagen, WZ45.2: Instandhaltung und Reparatur von Kraftwagen und WZ45.3: Handel mit Kraftwagenteilen und -zubehör. 2020-2050: Eigene Berechnungen.

Im Szenario Verstärkte Automatisierung kommt es bis 2030 zu einem Rückgang auf rund 120.000 Arbeitsplätze und bis 2040 auf 90.000 Arbeitsplätze. 2050 könnte sich die Anzahl der Beschäftigten in diesem Szenario sogar fast auf 80.000 halbieren. Im Progressiven Szenario entsprechen die Arbeitsplatzverluste wiederum fast denen im Szenario Verstärkte Automatisierung.

Abb. 59: Arbeitsplätze im Automobilhandel, 2017 und Prognose 2020 bis 2050



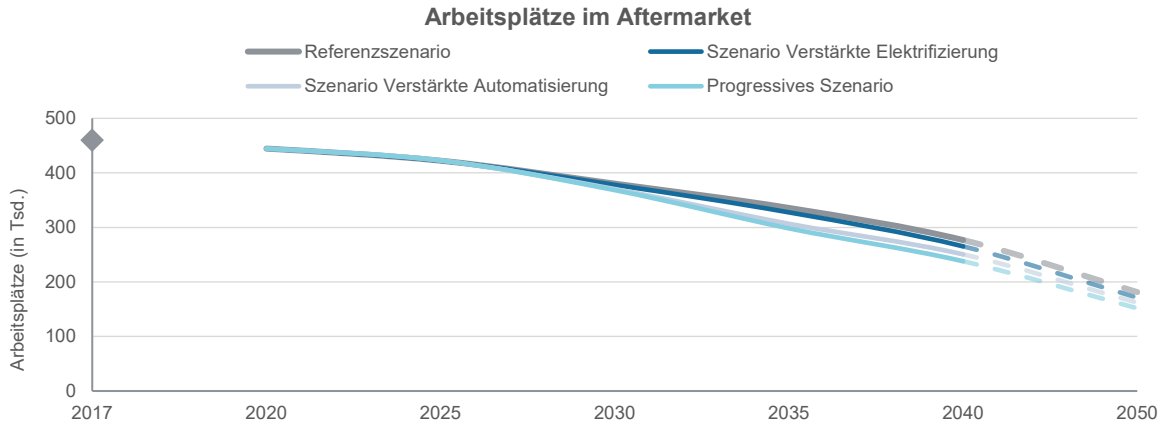
Quelle: 2017: Daten der Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008), Stichtag: 31.3.2017). WZ45.1: Handel mit Kraftwagen. Eigene Berechnungen.

Im **Aftermarket** kommt es sowohl durch die Elektrifizierung des Pkw-Marktes als auch durch die Einführung automatisierter Fahrfunktionen zu drastischen Arbeitsplatzverlusten. Die Elektrifizierung wirkt sich insofern auf die Beschäftigung aus, als die Wartung von Elektrofahrzeugen weniger Wertschöpfung in Deutschland bindet als von ICEs (siehe Unterabschnitt 2.2.8). Dies liegt zum einen daran, dass die Reparaturen weniger aufwendig sind. Zum anderen schafft der Tausch der Traktionsbatterie nur wenig Wertschöpfung in Deutschland. Die Automatisierung verstärkt diese Effekte signifikant, da beispielsweise vollautomatisierte Fahrzeuge weniger Unfälle verursachen werden als von Menschen gesteuerte. Zusätzlich werden Level 4/5-Fahrzeuge in Sharing-Konzepten zwar intensiver genutzt, gleichzeitig werden sie aber schon nach wenigen Jahren wieder ersetzt, da sie in kürzerer Zeit eine hohe Anzahl an Kilometern zurücklegen.

Wie in Abb. 60 dargestellt, machen sich bis 2030 die Unterschiede zwischen den Szenarien am Aftermarket weniger stark bemerkbar als z.B. im Automobilhandel. Von rund

450.000 Beschäftigten im Aftermarket im Status Quo (2017) geht die Zahl der Beschäftigten bis 2030 auf rund 370.000 bis 380.000 zurück. 2040 sind es 280.000 im Referenzszenario bis 240.000 im Progressiven Szenario. 2050 könnte die Zahl der Beschäftigten bis auf ein Drittel zurückgehen. Im Progressiven Szenario fällt die Beschäftigung auf 150.000 Personen.

Abb. 60: Arbeitsplätze im Aftermarket, 2017 und Prognose 2020 bis 2050



Quelle: 2017: Daten der Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008), Stichtag: 31.3.2017). WZ45.2: Instandhaltung und Reparatur von Kraftwagen und WZ45.3: Handel mit Kraftwagenteilen und -zubehör. 2020-2050: Eigene Berechnungen.

4.2.1 Exkurs: Qualifikationsanforderungen im Aftermarket und Automobilhandel

2018 war im Vergleich zur Automobilindustrie der Anteil an Fachkräften mit 80% im Aftermarket und im Automobilhandel höher, der Anteil an Helfern mit 6% sowie an Experten mit 4% jedoch deutlich niedriger.[149] Damit lässt sich ein unterschiedliches Anforderungsniveau im Vergleich zur Automobilindustrie feststellen. Dort liegt der Anteil der Fachkräfte bei 53%, der Helfer bei 13% und der Experten bei 19%. Gegenüber 2012 gab es keine Veränderungen hinsichtlich der Anforderungsniveaus im Aftermarket und im Automobilhandel.

Wie in der Automobilindustrie, ist das Qualifikationsniveau der Beschäftigten im deutschen Aftermarket und im Automobilhandel wesentlich durch klassische Berufsabschlüsse geprägt. 2018 verfügten im Aftermarket und im Automobilhandel insgesamt 73% über eine abgeschlossene Berufsausbildung. Das sind rund 9 Prozentpunkte mehr als in der Automobilindustrie. Dafür hatten lediglich 4% ein abgeschlossenes Studium. Zum Vergleich, in der Automobilindustrie waren es 20%.

Gegenüber 2012 ist sowohl der Anteil der Beschäftigten mit abgeschlossener Berufsausbildung als auch der Beschäftigten mit akademischem Abschluss leicht angestiegen. Da jedoch auch der Anteil der Beschäftigten mit unbekannter Berufsausbildung zurückgegangen ist, lässt sich an dieser Stelle nicht eindeutig von einer Verschiebung des Qualifikationsniveaus sprechen.

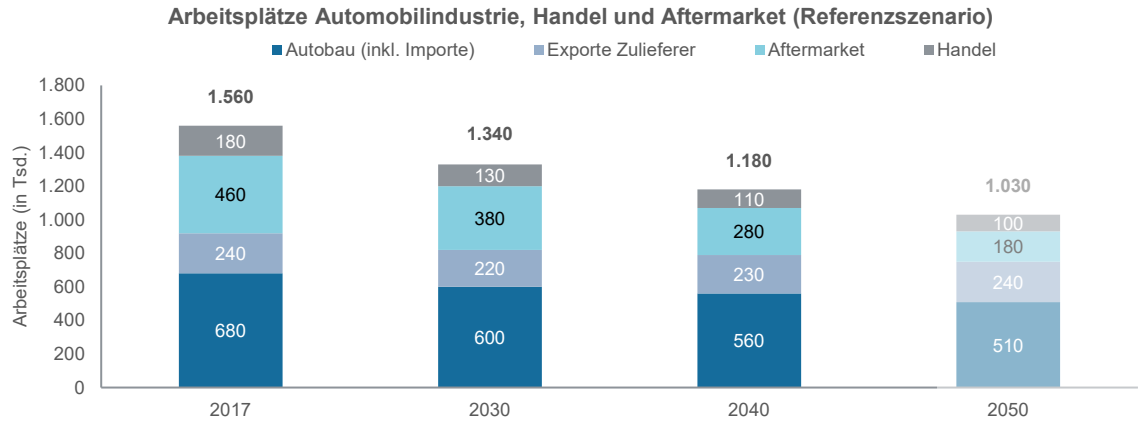
[149] Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten der Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008), Stichtag 31.12.). Betrachtet wurden die WZ29 und WZ45.1-WZ45.3.

4.3 Arbeitsplatzeffekte in der Automobilindustrie, dem Automobilhandel und dem Aftermarket im Vergleich

Von den knapp 1,6 Mio. Arbeitsplätzen in der Automobilindustrie, dem Automobilhandel und dem Aftermarket im Jahr 2017 werden im Referenzszenario bis 2030 rund 300.000 Arbeitsplätze wegfallen. Bis 2040 können sogar 400.000 Arbeitsplätze aufgrund des Strukturwandels verloren gehen.

Ausgangspunkt ist der Status Quo der Automobilindustrie (Automobilproduktion sowie der Produktion von Automobilteilen für den Export),[150] dem Aftermarket sowie dem Automobilhandel. 2017 waren knapp 1,6 Mio. Personen in den drei Wirtschaftszweigen beschäftigt (siehe Abb. 61). Davon entfielen etwa 680.000 auf die Automobilproduktion, 240.000 auf den Export von Automobilteilen, 460.000 auf den Aftermarket und 180.000 auf den Automobilhandel.

Abb. 61: Arbeitsplätze in der Automobilindustrie, Automobilhandel und Aftermarket im Referenzszenario, 2017 und Prognose von 2030 bis 2050



Quelle: 2017: Daten der Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008), Stichtag: 31.3.2017). WZ29: Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen, WZ45.1: Handel mit Kraftwagen, WZ45.2: Instandhaltung und Reparatur von Kraftwagen und WZ45.3: Handel mit Kraftwagenteilen und -zubehör. 2030-2050: Eigene Berechnungen.

Im Referenzszenario sinkt die Beschäftigung in der deutschen Automobilwirtschaft bis 2030 bereits deutlich. Die Gesamtzahl der Arbeitsplätze geht auf 1,3 Mio. zurück. Davon werden etwa 600.000 auf die Automobilproduktion entfallen und damit etwa 80.000 weniger als noch 2017. Auch die Zahl der Arbeitsplätze, die am Export von Teilen hängen, wird sich auf 220.000 und damit um etwa 10% verringern. Im Aftermarket werden nur noch 380.000 Personen beschäftigt sein, während der Automobilhandel noch etwa 130.000 Jobs schafft.

Bis 2040 ist im Referenzszenario ein weiterer Rückgang der Beschäftigten in der deutschen Automobilwirtschaft auf etwa 1,2 Mio. zu erwarten. Davon werden gut 560.000 auf die Automobilproduktion entfallen. Die Arbeitsplätze für den Export der Teileproduktion werden sich auf etwa 230.000 leicht erhöhen, getrieben durch die boomende globale Mobilitätsnachfrage. Im Aftermarket werden 2040 nur noch etwa 280.000 Personen

[150] Die Unterteilung der Automobilindustrie erfolgt nicht mehr nach Automobilhersteller und Zulieferer, sondern nach Automobilproduktion sowie Herstellung von Teilen für den Export.

beschäftigt sein, während der Automobilhandel nur noch etwa 110.000 Personen beschäftigen wird.

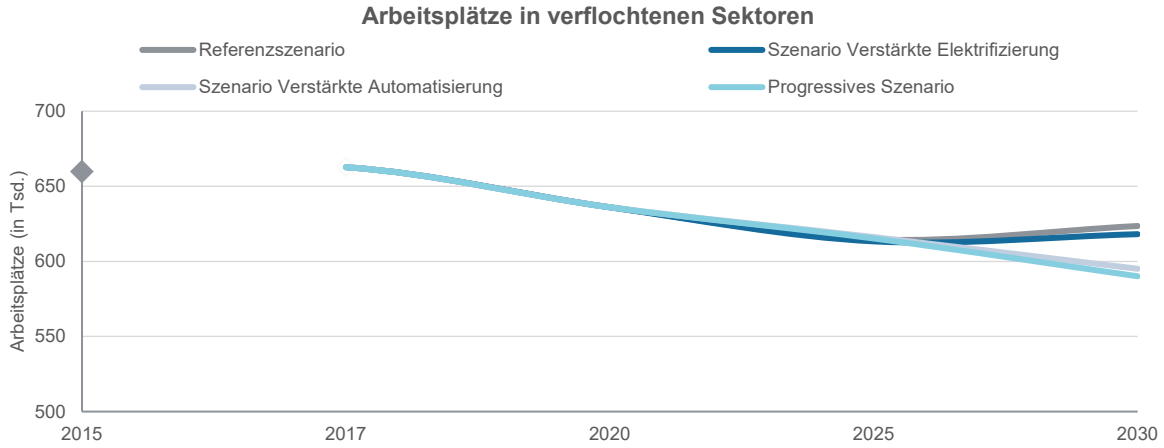
4.4 Verflechtungen entlang der Wertschöpfungskette der Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen

4.4.1 Arbeitsplatzprognose im Zuge des automobilen Strukturwandels in verflochtenen Sektoren

Die Projektion der Input-Output-Tabellen zeigt einen langsamen Rückgang der Beschäftigten in verflochtenen Sektoren. Die prognostizierten Arbeitsplatzverluste fallen im Vergleich zur Gesamtbeschäftigung in den meisten Sektoren gering aus (unter 1%).

Basierend auf den Input-Output-Tabellen schätzen wir für 2015 660.000 Erwerbstätige, die in Zulieferbetrieben für die Automobilbranche arbeiten und weder der Automobilindustrie (WZ29), noch dem Handel und Reparatur von Kraftfahrzeugen (WZ45) zuzuordnen sind. Wir nutzen hierfür die aktuellste der verfügbaren Input-Output-Tabellen, weshalb sich der Status Quo im folgenden Teil der Analyse immer auf das Jahr 2015 bezieht.[151] In den Input-Output-Tabellen werden Erwerbstätige abgebildet. Dies ist für unsere Zwecke insofern ungünstig, als in der bisherigen Analyse die Anzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten im Mittelpunkt stand.[152] Die hier berechneten Arbeitsplätze bei den Zulieferern verflochtener Sektoren sind somit als obere Grenze zu verstehen.

Abb. 62: Arbeitsplätze in verflochtenen Sektoren (ohne WZ29,45), 2015 und Prognose 2017 bis 2030



Quelle: 2015: Eigene Berechnungen basierend auf Daten des Statistischen Bundesamtes (Input-Output-Rechnung. Fachserie 18, Reihe 2). 2017-2030: Eigene Berechnungen.

Im Ergebnis zeigt die Projektion der Input-Output-Tabellen eine langsame Veränderung in den betroffenen Sektoren. Bis 2030 nehmen die Pkw-Produktion und damit auch die

[151] 2017 stellt somit bereits eine Prognose der Beschäftigung dar. Mit 663.000 Erwerbstätigen liegt die Prognose für 2017 sehr nah am Status Quo 2015, daher wären die errechneten Änderungsraten für 2017 nahezu identisch.

[152] Zu den Erwerbstätigen zählen Selbstständige, Beamte, geringfügig und sozialversicherungspflichtig Beschäftigte. Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte stellen somit nur eine Teilgruppe der Erwerbstätigen dar. Es handelt sich dabei um Beschäftigte, die der Beitragspflicht zur Kranken-, Renten- und Arbeitslosenversicherung unterliegen. Per Definition liegt somit die Anzahl der Erwerbstätigen über der Anzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten der Bundesagentur für Arbeit.

aggregierte Nachfrage nach Vorleistungen mit einem Wachstum von jeweils etwa 1% pro Jahr zu (siehe Abschnitt 3.4). Da die Nachfrage nach Vorleistungen somit langsamer als die Produktivität (empirisch fundiert 2% pro Jahr) wächst, kann die gesteigerte Nachfrage mit einer reduzierten Anzahl an Beschäftigten bedient werden – es kommt somit zu Arbeitsplatzverlusten. Die Nachfrage nach Vorleistungen ergibt sich aus der Entwicklung der Produktion von Kraftwagen und Kraftwagenteilen.

Bis 2030 zeigt sich in allen Szenarien ein Rückgang der Beschäftigung (siehe Abb. 62). So wird – ausgehend von 660.000 Erwerbstätigen im Jahr 2015 – bis 2030 je nach Szenario ein Rückgang von 40.000 bis 70.000 Arbeitsplätzen erwartet (minus 6% bis 11%). Die Entwicklung verläuft bis 2025 in allen Szenarien ähnlich. Im Referenzszenario und im Szenario Verstärkte Elektrifizierung gibt es danach eine leichte Erholung bis 2030. Im Szenario Verstärkte Automatisierung und im Progressiven Szenario hält der Arbeitsplatzabbau auch nach 2025 weiter an. Tab. 8 stellt die Ergebnisse im Detail dar.

Tab. 8: Prognose der Veränderung der Arbeitsplätze in verflochtenen Sektoren, 2017 und Prognose 2020 bis 2050

	Referenzjahr	Prognose: Veränderung der Arbeitsplätze in verflochtenen Sektoren	
	2015*	2030	
	(in Tsd.)	(in Tsd.)	(in %)
Referenzszenario	660	-40	-6%
Szenario Verstärkte Elektrifizierung	660	-40	-6%
Szenario Verstärkte Automatisierung	660	-60	-10%
Progressives Szenario	660	-70	-11%

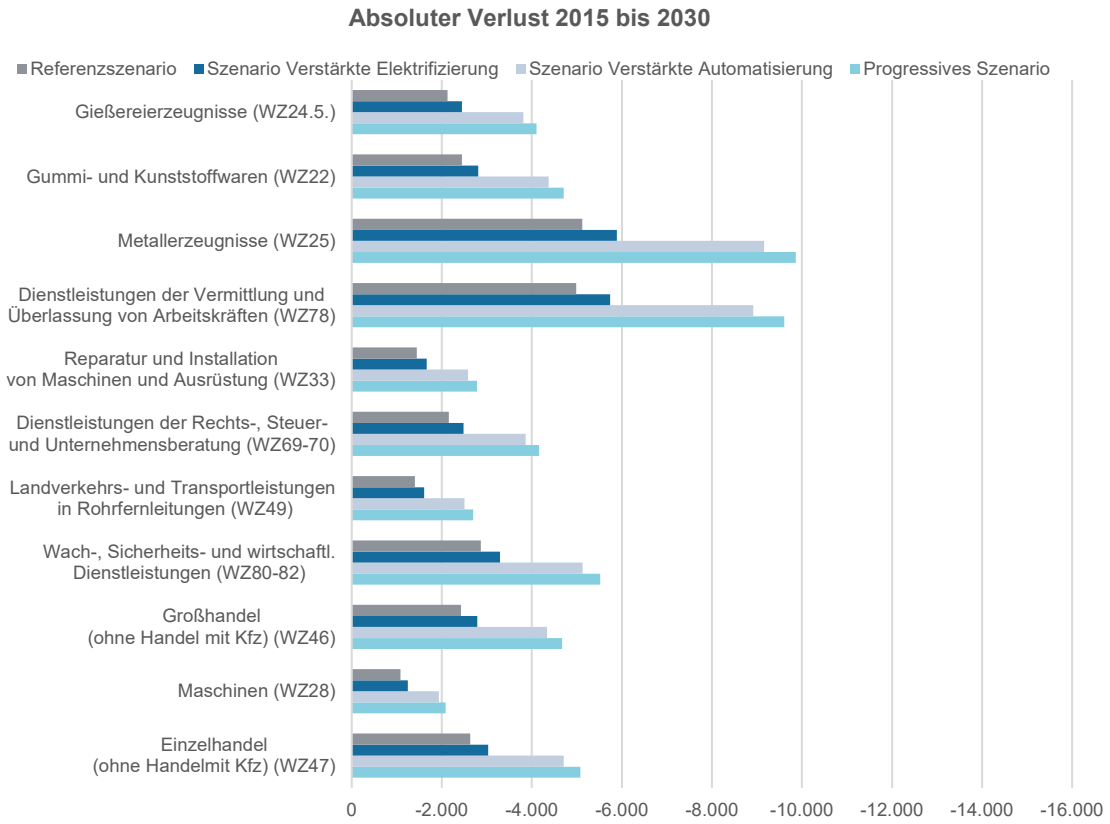
*Letztes verfügbares Jahr. Quelle: 2015: Eigene Berechnungen basierend auf Daten des Statistischen Bundesamt (Input-Output-Rechnung. Fachserie 18, Reihe 2). 2017-2030: Eigene Berechnungen.

Viele Produktionsbereiche sind nur in geringem Maße vom Arbeitsplatzrückgang betroffen. In den meisten Sektoren ist der prognostizierte Rückgang der Beschäftigung geringer als 2.000 Erwerbstätige. Elf Sektoren erwarten einen stärkeren Rückgang. Abb. 63 zeigt den absoluten Verlust an Arbeitsplätzen in elf zuliefernden Produktionsbereichen. Der Großteil der relativen Arbeitsplatzverluste entfällt auf die Bereiche Metallerzeugnisse (WZ25), Gummi- und Kunststoffwaren (WZ22) sowie Gießereiindustrie (WZ24.5). Einige Bereiche des Dienstleistungssektors sind ebenfalls stärker betroffen. So werden spürbare Arbeitsplatzverluste in den Dienstleistungsbereichen der Vermittlung und Überlassung von Arbeitskräften (WZ78), Wach-, Sicherheitsdienstleistungen und wirtschaftlicher Dienstleistung (WZ80-82), Einzelhandelsleistungen (ohne Kfz-Handel) (WZ47), Großhandelsleistungen (ohne Kfz-Handel) (WZ46) sowie Dienstleistungen der Rechts-, Steuer- und Unternehmensberatung (WZ69-70) erwartet.[153]

Um festzustellen ob diese Arbeitsplatzverluste für einen Sektor bedeutsam sind, ist ein Vergleich mit der jeweiligen Gesamtbeschäftigung der Sektoren hilfreich. Die prognostizierten Verluste liegen in fast allen Produktionsbereichen unter 1% der Gesamtbeschäftigung des Jahres 2015. Die Ausnahme bildet hier die Gießereiindustrie (WZ24.5) für die je nach Szenario ein Beschäftigungsverlust von 2% bis über 4% erwartet werden kann.

[153] Wir schließen den Handel und Reparatur von Kraftfahrzeugen (WZ45) in der Prognose der Arbeitsplatzeffekte auf Basis der Input-Output-Tabelle aus, da diese gesondert betrachtet wurden (siehe Abschnitt III.4.2).

Abb. 63: Prognose der Veränderung der Arbeitsplätze in verflochtenen Sektoren nach Wirtschaftszweig, Prognose bis 2030



Quelle: Eigene Berechnungen.

Insgesamt ist es daher zu erwarten, dass diese Beschäftigungseffekte vom Markt aufgefangen werden können. Veränderungen in vergleichbarer Größenordnung treten beispielsweise bereits durch saisonale Schwankungen auf.

Obwohl die gesamtdeutschen Effekte auf den Arbeitsmarkt also moderat erscheinen, könnte auf regionaler Ebene Handlungsbedarf entstehen. Die zum Teil starke Konzentration bestimmter Bundesländer auf die Automobilwirtschaft würde dort eine stärkere Betroffenheit verursachen (wie etwa das Saarland, Bayern und Baden-Württemberg). Eine Analyse der Arbeitsplatzeffekte bei Zulieferern auf regionaler Ebene ist auf Basis der Input-Output-Tabellen nicht möglich, da diese regionalisiert nicht öffentlich verfügbar sind. Für einige Bundesländer stehen allerdings öffentliche Studien zur Verfügung, die durch Umfragen, Heuristiken und Länderstatistiken eigene Input-Output-Tabellen erstellt haben. Da jedoch die Methodik der einzelnen Studien stark variiert, können sie schwer miteinander verglichen werden und auch kein Bezug zu den Input-Output-Tabellen des Statistischen Bundesamts gezogen werden. Kasten 9 stellt die Ergebnisse qualitativ vor.

Kasten 9: Exkurs: Drei Bundesländer-Studien mit Verwendung von Input-Output-Tabellen

Exkurs: Drei Bundesländer-Studien mit Verwendung von Input-Output-Tabellen

Baden-Württemberg: Strukturstudie BW^{e} 2019, e-mobil BW GmbH – Landesagentur für neue Mobilitätslösungen und Automotive Baden-Württemberg, 2019

Die Studie identifiziert 2016 fast 470.000 Beschäftigte, die im Automobilcluster Baden-Württemberg tätig sind. Lediglich die Hälfte dieser Beschäftigten werden unter der Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen (WZ29) geführt. Etwa 86.000 Beschäftigte werden dem Handel und der Reparatur von Kraftfahrzeugen zugeordnet. Laut der Studie sind somit ca. 35% der Beschäftigten des Automobilclusters (166.000 Beschäftigte) in anderen Wirtschaftszweigen tätig. Unter diesen sind viele in der Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren (WZ22), der Metallerzeugung und -bearbeitung (WZ24) sowie der Herstellung von Metallerzeugnissen (WZ25) beschäftigt. Da ebendiese Wirtschaftszweige mit den größten Beschäftigungsverlusten konfrontiert sind, könnte Baden-Württemberg verhältnismäßig stärker betroffen sein.

Bayern: Veränderungen der bayerischen Automobilindustrie durch automobile Megatrends, vbw/bayme vbm, IW Consult GmbH, Fraunhofer IAO, 2018

Rund 480.000 Beschäftigte sind laut dieser Studie im Automobilcluster Bayern tätig und entweder direkt (340.000) oder indirekt (145.000) an der Kfz-Herstellung beteiligt. Unter den direkt beteiligten Beschäftigten werden rund 50% der Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen (WZ29) und 22% anderen Wirtschaftszweigen eindeutig zugeordnet. Unter letzteren ist eine Vielzahl bei Betrieben beschäftigt, die in der Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren (WZ22), Metallerzeugung und -bearbeitung (WZ24) sowie der Herstellung von Metallerzeugnissen (WZ25) tätig sind. Beschäftigungsverluste sind zudem im Dienstleistungssektor zu erwarten, welcher in Bayern ebenfalls einen großen Anteil der Beschäftigten in eng verflochtenen Branchen darstellt.

Saarland: Zukunftsstudie Autoland Saarland, IW Consult GmbH, Fraunhofer IAO, 2017

Dem Automotive-Cluster im Saarland sind laut dieser Studie knapp 44.000 Beschäftigte direkt zuzurechnen, wovon die Hälfte auf die Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen (WZ29) entfällt. Unter den restlichen Beschäftigten entfallen 19% auf den Maschinenbau (WZ28) und 10% auf Betriebe in der Metallverarbeitung (WZ24 und WZ25). Weitere Wirtschaftszweige, die vom prognostizierten Stellenabbau betroffen sind, sind im Saarland nur unwesentlich vertreten. Des Weiteren identifiziert die Studie 10.000 weitere Beschäftigungsverhältnisse im Saarland, die durch die Nachfrage des saarländischen Automobilclusters indirekt geschaffen wurden.

4.4.2 Exkurs: Bedeutung geschlossener Wertschöpfungsketten

Die deutsche Automobilindustrie ist eng mit anderen Branchen entlang der kompletten Wertschöpfungskette verflochten. Die Gießereiindustrie, die Metallindustrie und Gummi- und Kunststoffindustrie verkaufen große Teile ihrer Produktion an die Automobilindustrie (siehe Tab. 4). Deutsche Zulieferer sind aufgrund jahrelanger Lieferbeziehungen oft eng mit OEMs verbunden. Auch die geografische Nähe in lokalen Automobilclustern fördert die enge Kooperation und schafft automobile Netzwerke.

Vertrauensbasierte lokale Netzwerke zwischen Herstellern und Zulieferern können im Hinblick auf Innovationsprozesse von entscheidender Bedeutung sein. Sie ermöglichen einen einfachen kontinuierlichen Austausch und können sich als entscheidender Wettbewerbsvorteil herausstellen. Je mehr Teile der Wertschöpfungskette in räumlicher Nähe abgedeckt werden, desto einfacher sind Forschungskooperationen. Dies ist ein wesentlicher **Vorteil geschlossener Wertschöpfungsketten**.

Die Bedeutung geschlossener Wertschöpfungsketten im Innovationsprozess lässt sich mithilfe der Batterieforschung veranschaulichen. Batteriekosten machen aktuell einen signifikanten Teil der Kosten eines Elektrofahrzeugs aus. Eine Senkung durch F&E in Deutschland könnte zu einer maßgeblichen Kostenreduktion beitragen und damit einen Wettbewerbsvorteil für deutsche Unternehmen bedeuten. Decken die eng mit der Automobilindustrie verflochtenen Unternehmen in Deutschland die gesamte Wertschöpfungskette ab – vom Material über die Batteriezelle bis hin zum Batteriesystem und dem entsprechenden Recycling – so können Innovationen und somit potenzielle Kostenvorteile auf allen Stufen erreicht werden. Dies könnte sich wiederum positiv auf die in Deutschland erbrachte Wertschöpfung sowie die daraus resultierenden Arbeitsplätze auswirken.

Mit Ausnahme der industriellen Fertigung der Batteriezelle finden alle Produktionsschritte im Zusammenhang mit der aktuellen Batterietechnologie (LIB – Lithium-Ionen-Batterie) in Deutschland statt – von der Materialherstellung und Komponentenproduktion über die Modul- und Batterieproduktion bis hin zur Fahrzeugintegration (NPE, 2018). Das heißt, das Argument der geschlossenen Wertschöpfungsketten lässt sich in Deutschland besonders auf die nächste Batteriezellgeneration übertragen, bei der die wettbewerblich sinnvolle internationale Arbeitsteilung noch völlig offen.

Die Batterietechnologie bietet großes Wertschöpfungspotenzial, weshalb eine Förderung von F&E der nächsten Batteriegeneration in den Handlungsempfehlungen (Teil V) adressiert wird.

4.5 Abschätzung des Umsatzpotenzials von Shared Mobility-Konzepten in Deutschland

Für Shared Mobility-Konzepte wird ein steigendes Umsatzpotenzial prognostiziert. Der Anstieg des Umsatzpotenzials lässt erkennen, dass Shared Mobility-Konzepte den Arbeitsplatzrückgang in der Automobilindustrie zumindest teilweise abschwächen können.

2017 gaben private Haushalte real etwa 221 Mrd. Euro für ihre Mobilität aus. Rund ein Viertel (55 Mrd. Euro) davon entfiel auf Mobilitätsdienstleistungen. Der Rest entfiel auf den Kauf bzw. die Wartung und Reparatur von Fahrzeugen.[154] Der reale Umsatz des Bereiches der Mobilitätsdienstleistungen wie die Personenbeförderung auf Schiene und Straße (WZ 49.3) sowie die Vermietung von Kraftwagen (WZ 77.1) belief sich 2016 auf etwa 42 Mrd. Euro. Davon entfielen 31 Mrd. Euro auf Personenbeförderung und etwa 11 Mrd. Euro auf Vermietung.[155] Beide zusammen stellten im Dezember 2017 ca. 1% (310.000) aller

[154] Quelle: Statistisches Bundesamt (VGR des Bundes - Konsumausgaben der privaten Haushalte, Tabelle: 81000-0120).

[155] Daten für 2017 noch nicht verfügbar. 88% des Umsatzes der WZ 77.1 entfielen auf die Vermietung von Kraftwagen mit Gesamtgewicht bis 3,5t. Quelle: Statistisches Bundesamt (Strukturerhebung im Dienstleistungsbereich, Tabelle: 47415-0009).

Arbeitsplätze in Deutschland.[156] Als Vergleich: Der reale Umsatz der Automobilindustrie belief sich 2016 auf etwa 379 Mrd. Euro.[157] Dort waren 2017 etwa 920.000 Personen beschäftigt.

Eine Verlagerung des Individualverkehrs auf Sharing-Konzepte wird im Bereich der Verkehrsdienstleistungen nicht nur einen Gewinn an Wertschöpfung, sondern auch positive Beschäftigungseffekte auslösen. Die Quantifizierung der Nettobeschäftigungseffekte der laufenden Transition durch neue Mobilitätsdienstleistungen kann aber im Rahmen dieser Studie nicht abgedeckt werden. Sie werden im Rahmen einer getrennten Fokusstudie im Auftrag des BMWi erarbeitet. Bereits um eine Wertschöpfungsprognose zu erstellen, müsste eine Vielzahl an Annahmen getroffen werden, die mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Darunter fallen unter anderem zukünftige Gewinnmargen, Kundenpräferenzen, Mobilitätspreise, Besetzungsgrad der Fahrzeuge sowie Nutzungsintensität. Die weitere Umrechnung in Arbeitsplätze bedarf zudem einer Analyse der bisherigen Wertschöpfungstiefen in der Branche sowie einer Abschätzung der zukünftigen Entwicklung.

Die Beschäftigungseffekte durch Shared Mobility-Konzepte und neuer Mobilitätskonzepte sind aktueller Forschungsgegenstand einiger Studien und Projekte. Zum einen wurden M-Five und das Fraunhofer ISI von der Hans-Böckler-Stiftung beauftragt diese zu analysieren. Ein Teil der Ergebnisse wurde bereits veröffentlicht (M-Five und Fraunhofer ISI, 2019). Ein zentrales Ergebnis deren Szenarioanalyse ist, dass im Mobilitätsdienstleistungsbereich eine Verschiebung der Beschäftigung von Fahrdiensttätigkeiten zu Verwaltungsarbeiten und technischen Dienstleistungen stattfinden wird, falls automatisierte Fahrzeuge graduell in den Öffentlichen Verkehr integriert werden. Da die Autoren im entsprechenden Szenario unterstellen, dass der Öffentliche Verkehr zukünftig das zentrale Verkehrsmittel sein wird, kommt es zudem zu einem Beschäftigungszuwachs im Bereich der Mobilitätsdienstleistungen. Auch im Bereich neuer Mobilitätskonzepte wie Carsharing oder Bikesharing wird ein Beschäftigungszuwachs prognostiziert.

Auch die Arbeitsgruppe 4 „Sicherung des Mobilitäts- und Produktionsstandortes, Batteriezellproduktion, Rohstoffe und Recycling, Bildung und Qualifizierung“ der NPM beschäftigt sich mit diesem Thema. Bisher wurden jedoch noch keine Ergebnisse veröffentlicht.

Zwar gibt es bereits Prognosen zur Umsatzentwicklung von Shared Mobility-Konzepten, diese beleuchten jedoch oft nur einzelne Arten von Shared Mobility wie etwa Level 4/5-Taxis oder Ridepooling. Kasten 10 gibt einen Überblick der Umsatzprognosen im Bereich Shared Mobility.

[156] Quelle: Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008)).
[157] Quelle: Statistisches Bundesamt (Jahresbericht für Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe, Tabelle: 42271-0002).

Kasten 10: Exkurs: Überblick zu Umsatzprognosen für Shared Mobility-Konzepte in Europa und weltweit

Exkurs: Umsatzprognosen Shared Mobility-Konzepte

BNP Paribas und CAM prognostizieren, dass der neu entstehende digitale Mobilitätsmarkt im Jahr 2030 weltweit bereits zwischen 1,5 und 2,2 Bill. US-Dollar betragen wird (BNP Paribas und CAM, 2018). Darunter fallen etwa MaaS-Plattformen, Carsharing oder App-basierte Dienste wie Privattaxis oder Ridesharing.

Der Markt durch Shared Mobility-Konzepte betrug in China, den USA und Europa 2016 rund 54 Mrd. Euro.[158] Auch zukünftig wird mit beachtlichen jährlichen Wachstumsraten des Marktes gerechnet. Zwischen 2015 und 2030 könnte das jährliche Wachstum im optimistischsten Szenario sogar 28% betragen. Dieses beinhaltet unter anderem eine hohe Nachfrage nach vollautomatisierten und fahrerlosen Taxis in schwach besiedelten Regionen sowie in Städten, die neue Mobilitätskonzepte fördern. Selbst im pessimistischsten Szenario kommt es noch zu einem jährlichen Wachstum von 15%, sogar obwohl die Bevölkerung die Angebote nur teilweise annimmt und Städte diese auch nicht weiter fördern.

Die Boston Consulting Group schätzt, dass der Mobilitätssektor 2035 weltweit einen Umsatz von 5,8 Bill. US-Dollar sowie Gewinne von 380 Mrd. US-Dollar generieren wird.[159] Auf Mobility-on-demand Lösungen sollen davon etwa 76 Mrd. Euro des weltweiten Gewinns entfallen.

Neue Mobilitätsangebote können laut der Unternehmensberatung McKinsey zufolge mit 1,3 Bill. US-Dollar Umsatzpotenzial 2030 bereits fast ein Viertel des Gesamtumsatzes der Branche ausmachen.

Mithilfe des Profit Pool Modells von Roland Berger können **Umsatzpotenziale** für Shared Mobility bis 2030 abgeschätzt werden. Erfasst werden Mobilitätsplattformen (MaaS), Carsharing- und Mietangebote, Ridesharing- und Ridehailing-Plattformen („Mobility-on-demand“), Taxis und Mobilitätsdienstleistungen mit Level 4/5-Fahrzeugen.[160]

Zur Erfassung des Status Quo nutzen wir die neuesten Daten der Strukturerhebung im Dienstleistungsbereich des Statistischen Bundesamtes. Diese weisen für den Betrieb von Taxis 2016 einen realen Umsatz von etwa 4 Mrd. Euro aus und für die Vermietung von Kraftwagen mit Gesamtgewicht bis 3,5 Tonnen einen Umsatz von 10 Mrd. Euro. Beide Sektoren erwirtschafteten somit einen Umsatz von 14 Mrd. Euro und beschäftigten etwa 180.000 Personen.[161] Umsätze aus Mobilitätsplattformen, welche lediglich für die Vermittlung der Dienste sorgen, sind aus öffentlichen Daten (Stand 2019) nicht ablesbar. Es ist schwierig, Anbieter von Mobilitätsplattformen einem Wirtschaftszweig zu zuordnen. Bietet ein OEM oder auch ein Zulieferer digitale Mobilitätsservices an, kann es sein, dass diese

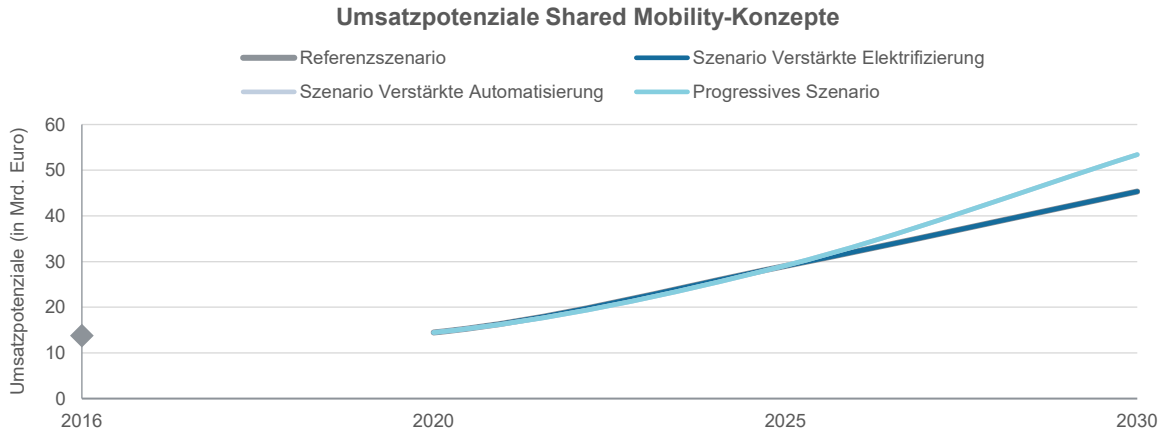
[158] Siehe https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/how-shared-mobility-will-change-the-automotive-industry.
[159] Siehe https://www.bcg.com/de-at/d/press/11january2018-automotive-profit-pools-180934.
[160] Eine detaillierte Beschreibung des Profit Pool Modells von Roland Berger befindet sich im Anhang.
[161] Dieser Wert bezieht sich auf „Tätige Personen“, die in der Strukturerhebung im Dienstleistungsbereich des Statistischen Bundesamtes erfasst werden. Daten der Bundesagentur für Arbeit zu sozialversicherungspflichtigen Beschäftigungsverhältnissen sind auf dieser Gliederungsebene nicht verfügbar.

bereits in der WZ29 erfasst sind. Entsprechend werden diese Umsätze aus dem Modell prognostiziert.

Wie in Abb. 64 dargestellt, könnten 2030 mit Shared Mobility-Konzepten – inkl. des „traditionellen“ Taxigewerbes – je nach Szenario Umsätze von bis zu 53 Mrd. Euro in Deutschland generiert werden. Damit wären im Szenario Verstärkte Automatisierung und im Progressiven Szenario mit der höchsten Marktdurchdringung von neuen Mobilitätskonzepten Wachstumsraten des Umsatzes von bis zu 10% pro Jahr zwischen 2016 und 2030 möglich.

Inwieweit sich diese Umsatzpotenziale auf Beschäftigung in Deutschland auswirken könnten, ist aktueller Forschungsgegenstand und nicht Teil diese Studie. Jedoch lässt sich bereits am Anstieg des Umsatzpotenzials erkennen, dass neue Mobilitätskonzepte den Arbeitsplatzrückgang in der Automobilindustrie zumindest teilweise abschwächen werden können.

Abb. 64: Umsatzpotenziale Shared Mobility, 2016* und Prognose von 2017 bis 2030



Quelle: *2016: Eigene Berechnung basierend auf Daten des Statistischen Bundesamtes (Strukturerhebung im Dienstleistungsbereich, Tabelle: 47415-0009) und Abschätzung der Umsatzpotenziale von Mobilitätsplattformen. 2017-2030: Eigene Berechnungen.

5. Sensitivitätsanalyse

In einer Sensitivitätsanalyse soll abgeschätzt werden (1) welche Auswirkungen eine mögliche Zunahme protektionistischer handelspolitischer Tendenzen und (2) eine höhere Importquote von Pkw für die deutsche Automobilindustrie und für die automobilen Wertschöpfungsketten haben könnten.

„Das Wichtigste in Kürze“: Handelsstreit

Derzeit ziehen sich die Auswirkungen des schwelenden Handelsstreites wie ein roter Faden durch die internationale Politik. Vermehrt protektionistische Tendenzen der Nationalstaaten könnten sich in „Strafzöllen“ auf Pkw-Importe in die USA oder auch steigenden Local-Content Anforderungen widerspiegeln. Seitens der EU wird bereits über den Abbau von Industriezöllen gegenüber der USA diskutiert, um mögliche

Strafzölle abzuwehren. Alle drei handelspolitischen Instrumente können mittel- bis langfristig zu nicht vernachlässigbaren Arbeitsplatzverlusten in Deutschland führen.

Die Erhöhung der US-Importzölle um 25% könnte bis 2030 bis zu 32.000 Arbeitsplätze in Deutschland bedrohen. Im Vergleich wären die Arbeitsplatzeffekte steigender Local-Content Anforderungen in China für Deutschland vergleichsweise gering. Durch stagnierende Exporte von Teilen und Zubehör sowie Karosserien und Fahrgestellen nach China auf dem Level von 2020 könnten etwa 4.000 Arbeitsplätze bis 2030 wegfallen. Die Effekte könnten allenfalls größer sein, falls drastische Verschärfungen der Local-Content Anforderungen implementiert würden. Dies ist aktuell aber nicht zu erwarten.

Die Beseitigung von Zöllen auf Pkw-Importe in die EU könnte ebenfalls zu spürbaren Arbeitsplatzverlusten führen. Jedoch treten die Arbeitsplatzverluste nur unter der Annahme ein, dass die Konsumenten sehr preissensitiv reagieren (elastische Nachfrage). Bis 2030 könnten etwa 18.000 Arbeitsplätze gefährdet sein. Auch ist nicht mit einberechnet, ob als Reaktion auf die Aufhebung des EU-Importzolls andere Länder ihre Zölle ebenfalls reduzieren werden.

5.1 Handelsrestriktionen

Derzeit ziehen sich die Auswirkungen des schwelenden Handelsstreites wie ein roter Faden durch die internationale Politik. Vermehrt protektionistische Tendenzen der Nationalstaaten gehen beispielsweise einher mit Vorwürfen eines zu großen Exportüberschusses Deutschlands und erhöhten Importzöllen auf deutsche Produkte. Insbesondere die Drohung aus den USA, auf Pkw-Importe aus Europa „Strafzölle“ zu erheben, vergrößern die Unsicherheit der deutschen OEMs in Bezug auf die künftige Absatzentwicklung ihrer Produkte. Darüber hinaus erhöhen die zunehmenden Local-Content Anforderungen in China den Druck auf deutsche Zulieferer. 2017 gingen 15% aller Exporte von Teilen und Zubehör nach China sowie 9% in die USA.[162] Bei Neuwagen gingen rund 11% in die USA, was in etwa 500.000 Pkw entspricht. Nach China wurden knapp 6% der Neuwagen ausgeführt.[163] Diese Zahlen verdeutlichen die Bedrohung durch die protektionistischen Tendenzen in den beiden Ländern für die deutsche Wirtschaft.

Zur Abschätzung der Folgen von Handelsrestriktionen modelliert eine Simulation die Hypothese, dass die derzeitig beobachtbare Abschottungspolitik in einzelnen wichtigen Automobilmärkten zunimmt. Erstens wird für den US-Markt eine Erhöhung der Importsteuer auf Pkw sowie Teile und Zubehör um 25% angenommen. Zweitens wird modelliert, dass die in China geltenden lokalen Wertschöpfungsvorgaben signifikant erhöht werden.

5.1.1 US-Importzölle führen zu substanziellen Arbeitsplatzverlusten in Deutschland

Die Einführung einer *Importsteuer* führt mittel- bis langfristig zu einer Reduktion der Neuwagenexporte in die USA. Die aktuelle Importsteuer auf Fahrzeuge sowie Teile in die USA liegt bei 2,5% des Preises der importierten Ware.[164] Nach aktuellen Meldungen könnte ein ad valorem Importzoll von etwa 25% eingeführt werden sofern eine wirtschaftliche

[162] Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten des Statistischen Bundesamtes (Aus- und Einfuhr (Außenhandel). Tabelle: 51000-0010).
[163] Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten des VDA (Jahreszahlen Exporte).
[164] Siehe https://madb.europa.eu/madb/atDutyOverviewPubli.htm?countries=US&hscode=8703.

Bedrohung für die USA durch den Import von Pkw, Teilen und Zubehör begründet werden kann.[165]

Felbermayr und Steininger schätzen, dass bei einer drastischen Erhöhung der Importsteuer der *Wert der Exporte von Pkw, Teilen und Zubehör* aus Deutschland in die USA langfristig um 50% fallen würde (Felbermayr und Steiniger, 2019). Langfristig heißt, nachdem alle Anpassungen an die neue Marktsituation abgeschlossen worden sind. Nach Felbermayr und Steininger würde die Importsteuer dazu führen, dass die deutschen OEMs ihre Produktion in den USA zu Lasten der Produktion in Deutschland erhöhen. Die Autoren unterstellen damit, dass die deutschen Hersteller versuchen, eine Preiserhöhung zu vermeiden, um ihre Marktanteile in den USA zu halten. Auch die höheren Local-Content Anforderungen des USMCA-Abkommens stützen eine solche Annahme. Dies impliziert, dass die deutschen OEMs annehmen, dass die US-Konsumenten eine Umwälzung der Importzölle auf die Preise nicht oder nur begrenzt akzeptieren würden. Bei einer Übertragung des höheren Zolls auf den Konsumentenendpreis würde die Importnachfrage stark fallen. Felbermayer und Steininger unterstellen damit eine relativ elastische Importnachfrage.

Wir folgen Felbermayer und Steininger und verwenden deren zu Grunde gelegte Preiselastizität der Nachfrage. Diese impliziert, dass die *Anzahl* der in die USA *exportierten Pkw* im neuen Steady State um 60% niedriger ist als in einer Situation ohne erhöhte Importzölle (Status Quo). Wir nehmen an, dass die USA die Zölle ab sofort einführen und der neue Steady State 2025 erreicht ist.[166] Nach 2025 gehen wir davon aus, dass sich die Pkw-Exporte in die USA genauso entwickeln wie in den Rest der Welt. Um den Effekt der US-Importzölle quantifizieren zu können, treffen wir die Annahme, dass die deutschen OEMs den negativen Effekt auf die Produktion in Deutschland nicht kompensieren. Das heißt, sie verringern die Produktion im gleichen Maße wie die Importnachfrage der USA zurückgeht.

Wie bereits erwähnt wurden 2017 etwa 500.000 Neuwagen (Pkw) aus Deutschland in die USA exportiert. Dies entspricht einem Anteil von etwa 11% aller Pkw-Exporte. Durch die Einführung von erhöhten Importzöllen kann erwartet werden, dass 2025 nur noch etwa 300.000 Pkw in die USA exportiert werden. Dies entspricht einem Anteil von 7% an allen Pkw-Exporten. Die gesamten deutschen Pkw-Exporte liegen somit 2025 bei etwa 4,7 Mio. Im Vergleich zum Referenzszenario – indem keine erhöhten Importzölle angenommen werden – gehen die gesamten Pkw-Exporte damit um 5% zurück.

Den Effekt der US-Importzölle auf die Exporte von Teilen und Zubehör sowie Karosserien und Fahrgestellen (im Folgenden „Teile-Exporte“) aus Deutschland modellieren wir ebenfalls mit der geschätzten Preiselastizität der Nachfrage von Felbermayr und Steininger. Die US-Importzölle führen zu einem Rückgang des *Wertes der Teile-Exporte* um 50% bis 2025. Analog zu der Strategie der OEMs passen auch die Zulieferer ihre Produktion der Nachfrage an. Entsprechend fällt der Exportwert der Teile im Vergleich zum Referenzszenario. 2017 gingen Teile-Exporte im Wert von 5 Mrd. Euro in die USA.[167] Dies entspricht einem Anteil an allen Teile-Exporten von etwa 9%. Nach Einführung der erhöhten

[165] Die Regelung fällt unter den *Trade Expansion Act* von 1962 (Sektion 232). Siehe https://fas.org/sgp/crs/misc/IF10667.pdf.

[166] Felbermayer und Steininger verweisen darauf, dass 90% der Anpassung nach fünf Jahren und 99% der Anpassung nach zehn Jahren erreicht werden.

[167] Inflationsbereinigt. Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten des Statistischen Bundesamtes (Aus- und Einfuhr (Außenhandel). Tabelle: 51000-0010).

US-Importzölle gehen 2025 nur noch Exporte im Wert von 2,5 Mrd. Euro in die USA: Dies entspricht nur einem Anteil an allen Teile-Exporten von 4%. Wie auch bei den Pkw, fallen die gesamten deutschen Teile-Exporte im Vergleich zum Referenzszenario um etwa 5%.

Die US-amerikanische Abschottungspolitik kann mittel- bis langfristig zu nicht vernachlässigbaren Arbeitsplatzverlusten in Deutschland führen. Im Vergleich zu einem Szenario ohne eine Erhöhung der Importzölle (Referenzszenario) fällt die Anzahl der Arbeitsplätze zusätzlich um etwa 4%, also etwa 32.000 Arbeitsplätze bis zum Jahr 2030. Bis 2050 könnten es etwa 33.000 Arbeitsplätze sein (siehe Abb. 66).

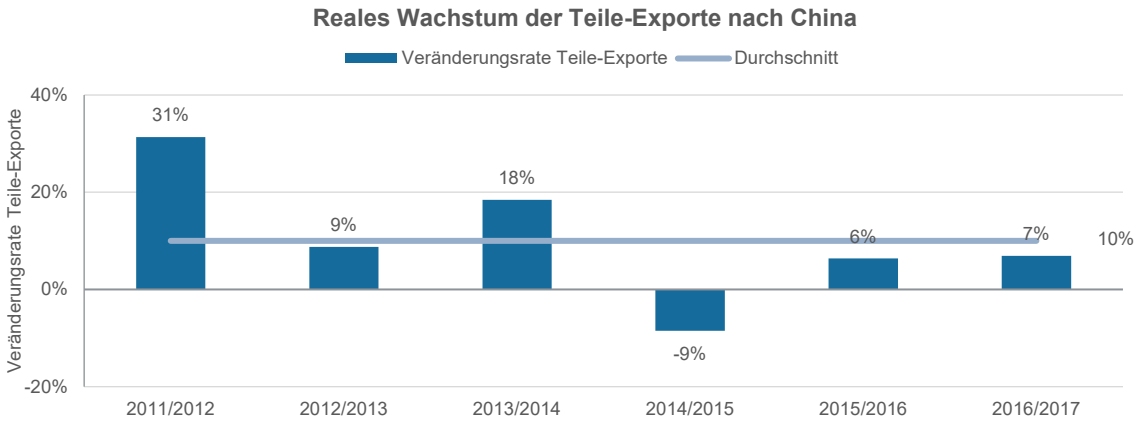
Felbermayr und Steininger untersuchen auch die relative Betroffenheit der Export-Länder. Deutschland wäre von allen EU-Ländern mit großem Abstand am stärksten betroffen. Deutschland exportierte 2014 Pkw im Wert von rund 34 Mrd. Euro in die USA.[168] Der zweitstärkste Pkw-Exporteur der EU ist Großbritannien mit einem Exportvolumen von ca. 5 Mrd. Euro.[169] Insgesamt zählt Deutschland nach Mexiko, Japan und Kanada zu den vier Ländern mit den größten direkten Pkw-Exporten in die USA.

5.1.2 Local-Content Anforderungen in China führen zu gemäßigten Arbeitsplatzverlusten in Deutschland

Laut OECD gab es in den letzten Jahren weltweit einen starken Anstieg von Local-Content Anforderungen. So haben etwa Kanada, die USA und Mexiko durch das Freihandelsabkommen USMCA die Local-Content Anforderungen für in Nordamerika produzierte Pkw von 62,5% auf 75% angehoben (Europäisches Parlament, 2018). Russland hat ebenfalls die Local-Content Anforderungen schrittweise von 15% auf 45% bis zum Jahr 2020 erhöht[170] und auch Südafrika plant, die Quote auf 60% anzuheben (Deloitte, 2019a). Dies ist bemerkenswert, da negative Effekte von Local-Content Anforderungen auf Wachstum und Handel empirisch gut belegt sind (OECD, 2016). Local-Content Anforderungen sind jedoch schon lange ein beliebtes Instrument der Außenpolitik von Ländern, die versuchen ihre Industrie von der reinen Endmontage auf die Herstellung von Zwischenprodukten umzustellen (Krugman und Obstfeld, 2009).[171] Im Unterschied zu Importquoten, die sich nur auf den Preis auswirken, werden Unternehmen bei Local-Content Anforderungen dazu gezwungen, einen Teil der Vorleistungen von einheimischen Teileherstellern zu beziehen. Als Konsequenz führen Local-Content Anforderungen in der Regel zu einem Preisanstieg der Güter des jeweiligen Sektors. Dies führt wiederum zu steigenden Produktionskosten entlang der gesamten Wertschöpfungskette, was die Wettbewerbsfähigkeit der gesamten Wirtschaft reduziert und sich durch Spillover-Effekte auch auf andere Sektoren auswirkt. Als Konsequenz fallen damit die Exporte aus dem Land, welches die Local-Content Anforderungen erhöht hat.

[168] Siehe Tabelle 1 in Felbermayr und Steiniger, 2019. Daten stammen aus der World Input-Output Database.
[169] Im Verhältnis zum Gesamtexport sind Ungarn und die Slowakei ebenfalls stark betroffen. In beiden Ländern befinden sich Audi-Werke, die in die USA exportieren. Insgesamt sind die meisten EU-Mitgliedstaaten kaum von neuen Zöllen für Kraftfahrzeuge betroffen.
[170] Quelle: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/WP29-155-39e.pdf
[171] Siehe S. 271ff.

Abb. 65: Reales Wachstum der Teile-Exporte nach China, 2011 bis 2017



Quelle: IPE. Eigene Berechnungen basierend auf Daten des Statistischen Bundesamtes (Aus- und Einfuhr (Außenhandel), Tabelle: 51000-0010).

Die Auswirkung von einer Verschärfung der Local-Content Anforderungen in China auf Teile-Exporte aus Deutschland wurde bisher nicht empirisch evaluiert. Empirische Daten zeigen, dass der Export nach China in den letzten Jahren deutlich gewachsen ist. Zwischen 2011 und 2017 ist ein durchschnittliches reales Exportwachstum von etwa 10% pro Jahr zu verzeichnen (siehe Abb. 65). Allerdings ist zwischen 2011 und 2012 ein sprunghafter Anstieg erkennbar. Das danach gedämpfte Wachstum dürfte damit zusammenhängen, dass deutsche Hersteller ihre Pkw-Produktion in China deutlich ausgedehnt haben (Deutsche Bundesbank, 2018).

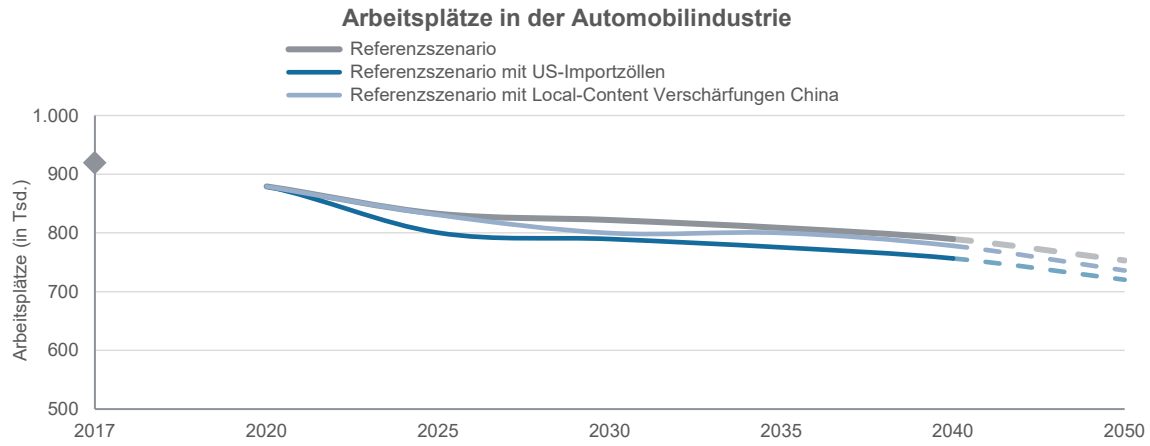
Um die Folgen einer Verschärfung der Local-Content Anforderungen in China zu quantifizieren, unterstellen wir ab 2020 einen gleichbleibenden realen Exportwert nach China. Die Wertschöpfung, welche durch den Export von Teilen nach China entsteht, wird somit ab 2020 eingefroren, anstatt mit einem positiven Trend weiter zu wachsen.

2017 gingen Teile-Exporte im Wert von 7,3 Mrd. Euro aus Deutschland nach China.[172] Bis 2020 wächst der reale Wert der Teile-Exporte auf etwa 7,8 Mrd. Nach 2030 bleibt er aufgrund steigender Local-Content Anforderungen konstant, während die Teile-Exporte insgesamt wachsen.[173] Insgesamt werden 2030 Teile im Wert von knapp 60 Mrd. Euro exportiert. Im Vergleich zum Referenzszenario – ohne Steigerung der Local-Content Anforderungen – fällt der Exportwert der Teile 2030 damit um etwa 2%.

[172] Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten des Statistischen Bundesamtes (Aus- und Einfuhr (Außenhandel). Tabelle: 51000-0010). Anmerkung: Betrachtet wurde der Export von Teilen und Zubehör sowie Karossieren und Fahrgestellen.

[173] Die Exporte nach China machen 2030 damit nur noch 13% aller Exporte aus, 2040 sind es sogar nur noch 11%.

Abb. 66: Potenzielle Arbeitsplatzeffekte bei Erhöhung der US-Importzölle oder einer Verschärfung der Local-Content Anforderungen, 2017 und Prognose 2020 bis 2050



Quelle: 2017: Eigene Berechnungen basierend auf Daten der Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008), Stichtag: 31.3.2017). WZ29: Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen. 2020-2050: Eigene Berechnungen.

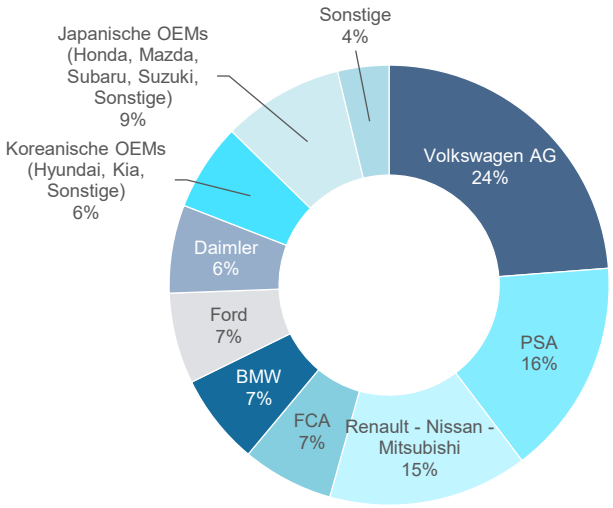
Die potenziellen Arbeitsplatzeffekte eines „Einfrierens“ der Teile-Exporte sind in Abb. 66 dargestellt (zum Vergleich auch die potenziellen Arbeitsplatzeffekte der Abschottungspolitik der USA). Der Arbeitsplatzeffekt aufgrund von steigenden Local-Content Anforderungen ist für Deutschland vergleichsweise gering. Bis 2030 könnten etwa 4.000 Arbeitsplätze durch eine Verschärfung der Local-Content Anforderungen wegfallen, bis 2040 etwa 12.000. Die Effekte könnten allenfalls größer sein, falls drastische Verschärfungen der Local-Content Anforderungen implementiert werden. Dies ist aktuell aber nicht zu erwarten. Jedoch könnte der kumulierte Effekt eines Anstiegs von Local-Content Anforderungen in vielen Ländern einen entsprechend starken Effekt auf den Automobilstandort Deutschland haben.

5.2 Verstärkte Importe

Vor dem Hintergrund des schwelenden Handelskonflikts wird seitens der EU bereits über den Abbau von Industriezöllen und anderen Handelshemmnissen gegenüber den USA diskutiert, um mögliche „Strafzölle“ abzuwehren.

Abb. 67 zeigt die Marktanteile der Konzernmarken im europäischen Pkw-Markt. 2017 hatten die deutschen Konzernmarken (VW, Daimler und BMW) einen Marktanteil von etwa 37%. Ford mit ebenfalls zwei Produktionswerken in Deutschland hatte einen Marktanteil von 7%. Eine Aufhebung des EU-Importzolls könnte diese starke Marktposition gefährden und entsprechend einen Rückgang der Produktion von Pkw in Deutschland auslösen.

Abb. 67: Marktanteile im europäischen Pkw-Markt (Europäische Union (EU) + Europäische Freihandelsassoziation (EFTA)), 2017



Quelle: IPE. Eigene Berechnungen basierend auf Daten von ACEA (New registrations in European Union and EFTA (Passenger Cars)).

Um den Effekt einer Aufhebung von Importzöllen in die EU abzuschätzen, unterstellen wir, dass die Zölle auf Pkw-Importe in die EU ab 2020 vollständig beseitigt werden. Der Einfuhrzoll in die EU auf Pkw beträgt aktuell 10%.[174] Ein Wegfall der Einfuhrzölle wird zur Vereinfachung mit einer Preissenkung ausländischer Pkw um 10% gleichgesetzt. Es wird also unterstellt, dass die ausländischen OEMs den Wegfall des Zolls direkt an die Konsumenten weiterreichen.

Um die Preiselastizität der Nachfrage auf dem europäischen Neuwagenmarkt abzuschätzen, verwenden wir Daten für die USA (veröffentlicht von Anderson et al).[175] Deren Schätzung für die kurzfristige Preiselastizität der Nachfrage für Pkw liegt im Aggregat zwischen 1,2 und 1,5. Da der Kauf eines Pkw meist verzögert werden kann, ist die Preiselastizität relativ elastisch. Für die meisten Konsumgüter liegt die Preiselastizität zwischen 0,5 und 1,5. Um eine möglichst große Verschiebung auf dem europäischen Pkw-Markt zu simulieren, nutzen wir die obere Grenze von 1,5.

Diese Preiselastizität impliziert, dass die Abschaffung des EU-Importzolls zu einer Verschiebung der Marktanteile zu Gunsten von ausländischen OEMs bzw. im Ausland produzierten Pkw führt. Dies erfolgt unter der Annahme, dass inländische/europäische OEMs ihre Preise nicht anpassen. Deutsche OEMs würden somit Verluste am Heimatmarkt und im europäischen Markt verzeichnen. Dies kann auch nicht dadurch kompensiert werden, dass ein Teil der zusätzlichen Importe aus der Produktion deutscher OEMs im Ausland besteht. Unter der Annahme, dass sie nicht versuchen, die Verluste auf dem europäischen Markt durch eine Steigerung der Exporte in andere Länder auszugleichen, käme es letztlich zu einem Fall der Produktionsvolumen in Deutschland und im EU-Ausland.

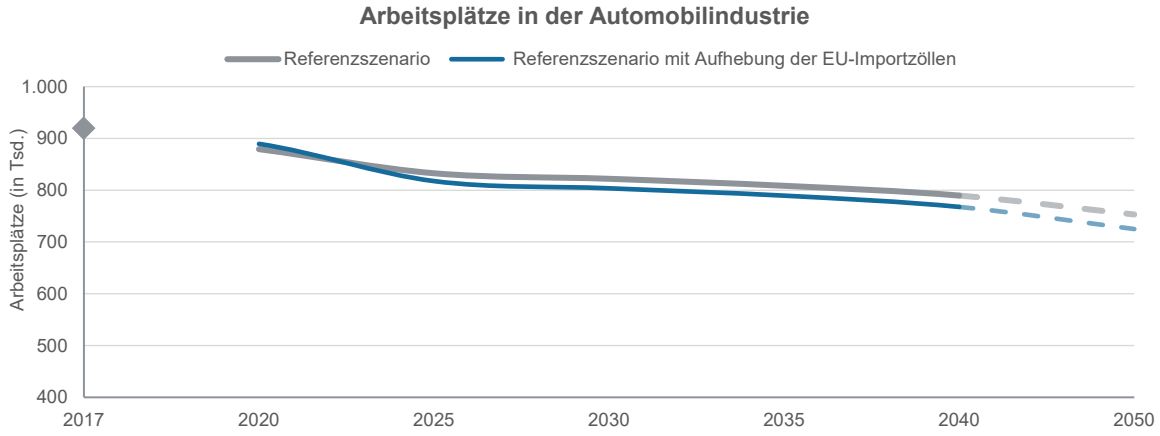
---

[174] Siehe https://www.zoll.de/DE/Privatpersonen/Reisen/Rueckkehr-aus-einem-Nicht-EU-Staat/Zoll-und-Steuern/Ueberschreiten-Reisefreimengen/beispiele_zollsaetze.html?nn=287838&faqCalledDoc=287838. Anmerkung: Ein Wegfall der Importzölle auf Pkw-Teile wird nicht betrachtet. 2019 liegen die EU-Importzölle auf Fahrzeugteile zwischen 3,5 und 4,5%.

[175] Siehe S. 2010.

Wie oben beschrieben, setzt sich die Pkw-Produktion in Deutschland aus der Nachfrage des inländischen und des ausländischen Marktes zusammen. Der Anteil, der für den Heimatmarkt bestimmt ist, liegt bei etwa einem Viertel. 2017 verblieben etwa 23% der in Deutschland produzierten Pkw auf dem deutschen Markt (siehe Tab. 3). Im Umkehrschluss wurden etwa 77% der Pkw aus deutscher Produktion exportiert. Davon verblieb etwa die Hälfte in der EU. Der Verlust der Marktanteile ist entsprechend nur auf etwa die Hälfte der Produktion anzuwenden. Auch ergeben sich die Verluste nur unter der Annahme, dass die deutschen OEMs ihre Preise nach der Aufhebung der Importzölle nicht anpassen und die Konsumenten preissensitiv reagieren.

Abb. 68: Potenzielle Arbeitsplatzeffekte bei einer Aufhebung der EU-Importzölle, 2017 und Prognose 2020 bis 2050



Quelle: 2017: Eigene Berechnungen basierend auf Daten der Bundesagentur für Arbeit (Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008), Stichtag: 31.3.2017). WZ29: Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen. 2020-2050: Eigene Berechnungen.

Unter der oben zu Grunde gelegten Preiselastizität von 1,5 sinkt die Anzahl der in Deutschland hergestellt Pkw bis 2030 um etwa 4% (im Vergleich zum Referenzszenario). Die Beseitigung von Zöllen auf Pkw-Importe in die EU könnte entsprechend zu nicht vernachlässigbaren Arbeitsplatzverlusten führen (siehe Abb. 68). Jedoch treten die Arbeitsplatzverluste nur unter der Annahme einer relativ elastischen Nachfrage ein. Bis 2030 könnten etwa 18.000 und bis 2050 etwa 28.000 Arbeitsplätze im Vergleich zu einer Situation ohne die Aufhebung der Importzölle in der EU (Referenzszenario) gefährdet sein. Nicht mit einberechnet ist jedoch, ob als Reaktion auf die Aufhebung des EU-Importzolls andere Länder ihre Zölle ebenfalls reduzieren oder sogar aufheben. Dies könnte einen Teil der Arbeitsplatzverluste kompensieren.

6. Exkurs: Verschiebung der Qualifikationsniveaus und Kompetenzanforderungen durch Elektromobilität

Zur Einschätzung der Transformation des Arbeitsmarktes durch die Umstellung der Pkw-Produktion auf Elektromobilität sollte neben der quantitativen Analyse auch eine qualitative Betrachtung erfolgen. Denn es stellt sich die Frage, ob einzelne Qualifikationen von Beschäftigten, Kompetenzanforderungen (nachfolgend auch „Anforderungsniveaus“) in Berufen oder gar ganze Berufsbilder durch die Umstellung auf Elektromobilität besonders

betroffen sind.[176] Das heißt, gibt es Qualifikationen, die von dem Wegfall besonders betroffen sind und welche Qualifikationen werden zukünftig zur Sicherung der verbleibenden Produktion im Inland benötigt.

In einer idealtypischen Herangehensweise müssten die Berufsbilder und deren Anforderungsniveaus identifiziert werden, die zur Produktion der im Modell definierten Referenzfahrzeuge notwendig sind (siehe Abschnitt 3.1). So müsste im Detail bestimmt werden, welche Kompetenzen dazu aktuell und welche in der Zukunft notwendig sind. So wünschenswert dieser Zugang ist, es existiert hierfür aktuell keine Datenbasis. Auf Basis unseres quantitativen Makromodells lassen sich aufgrund des Aggregationsgrades keine Aussagen zu den Beschäftigungseffekten unter Berücksichtigung der Kompetenzanforderungen der neu entstehenden und wegfallenden Arbeitsplätze treffen.

Dennoch möchten wir im Rahmen dieser Studie zwei Aspekte darstellen. Erstens beleuchten wir qualitativ, ob die aktuellen Qualifikationen im Rahmen der akademischen und beruflichen Erstaus- und Weiterbildung in Deutschland auf die Kompetenzanforderungen der Elektromobilität ausgelegt sind. Zweitens widmen wir uns den geänderten Kompetenzanforderungen an Arbeitsplätze im Zuge der Elektromobilität. Wir greifen zu diesem Zweck auf eine Prognose des IAB und des BIBB zurück, die eigens für die Analyse von geänderten Kompetenzanforderungen an Arbeitsplätze im Zuge der Elektromobilität konzipiert wurde. Um auch Aussagen über betroffene Berufsbilder treffen zu können, analysieren wir die Prognose des IAB und BIBB für typische Berufe im Bereich der Herstellung und des Vertriebs von „mobilen Einheiten“. Mobile Einheiten sind als Fahrzeuge (Pkw, Busse, Fahrräder etc.), Flugzeuge sowie Schiffe definiert.

6.1 Qualifikation der akademischen und beruflichen Erstausbildung sowie Weiterbildung

Beschäftigungseffekte der Elektromobilität im Hinblick auf Qualifikations- und Kompetenzanforderungen lassen sich empirisch nur schwer abschätzen. Qualitativ decken akademische und berufliche Erstausbildungen den Bedarf der Unternehmen, während Weiterbildungsangebote immer wichtiger werden.

Das „Netzwerk Qualifizierung Elektromobilität (NQuE)“ hat die Passgenauigkeit zwischen Studien- bzw. Ausbildungsprogrammen und den Anforderungen der Elektromobilität betrachtet. Für die *akademische Erstausbildung* wird eine grundsätzlich positive Bilanz gezogen (ika und Technische Hochschule Ingolstadt, 2017). Über 20 Studiengänge sind bereits spezifisch auf Elektromobilität ausgerichtet und decken dort ein breites Spektrum an Themenfeldern ab. Hervorzuheben sei der Bereich Fahrzeugtechnik, welcher im Vergleich zu anderen europäischen Ländern sehr gut im deutschen Hochschulangebot verankert ist. Seitens des Arbeitsmarkts identifizieren die Autoren einen hohen Stellenwert an Grundlagenwissen in den jeweiligen Fachgebieten der Elektromobilität. Dieses Wissen wird zwar zunehmend in den Studienprogrammen etabliert, jedoch zumeist erst in fortgeschrittenen Semestern. Auch erhält die Elektromobilität verstärkt Einzug in die Forschung, wobei sich ein Fokus auf Energiespeichertechnik erkennen lässt. Aufgabe der Hochschulen wird es somit sein, Fachinhalte sukzessive weiter in die Studienprogramme zu

[176] Qualifikationen von Beschäftigten werden zu diesem Zweck zwischen beruflicher und akademischer Ausbildung unterschieden. Entsprechend der KldB2010 beschreibt das Berufsbild die Tätigkeit eines Beschäftigten (z.B. Berufsbilder in der Farb- und Lacktechnik) und das Anforderungsniveau die Qualifikation, welche formal zur Ausübung einer Tätigkeit erforderlich ist (z.B. eine zweijährige Berufsausbildung bei fachlich ausgerichteten Tätigkeiten).

integrieren und diese auch bei einem progressiven Markthochlauf der Elektromobilität anbieten zu können. In diesem Fall stehen Ankerpunkte in den „Schaufenstern Elektromobilität“[177] zur Verfügung, welche von Hochschulen und Weiterbildungsanbietern adaptiert werden können. Nachholbedarf sehen die Autoren hinsichtlich der internationalen Vernetzung der Studienangebote. Zwar existiert eine Vielzahl an Austauschprogrammen, jedoch sind diese nicht spezifisch auf Fachinhalte der Elektromobilität ausgerichtet.

Im Bereich der *akademischen Weiterbildung* wird eine hohe Transparenz der Qualifizierungsmöglichkeiten als Erfolgsfaktor herausgestellt. Eine wesentliche Rolle kommt hierbei den Unternehmen zu, welche ihren Bildungsbedarf ermitteln und entsprechend an die Hochschulen weitergeben müssen. Zwar könne hierbei auf bestehende Netzwerke und Kooperationen zwischen der Automobilindustrie und akademischen Einrichtungen zurückgegriffen werden, jedoch muss dieser Prozess durch die Unternehmen angestoßen werden.[178]

Ähnlich der akademischen ist auch die *berufliche Erstausbildung* in Industrie und Handwerk im Allgemeinen gut für die Herausforderungen der Elektromobilität aufgestellt (Schild et al., 2017). Positiv bewertet wird die Flexibilität des dualen Ausbildungssystems in Deutschland, durch dessen Neuordnung konkrete Ausbildungsinhalte und Mindeststandards zur Elektromobilität in Betrieb und Berufsschule etabliert werden konnten. So verfügen Beschäftigte mit einem Berufsabschluss im Bereich Kraftfahrzeugtechnik nun bereits über Grundkenntnisse in der Hochvolttechnik, was eine Kernkompetenz im Umgang mit Elektrofahrzeugen darstellt. Auch das Berufsbild des Elektronikers für Informations- und Systemtechnik wurde an die Anforderungen der Elektromobilität angepasst, was besonders bei Tätigkeiten der Fahrzeugintegration und -vernetzung wichtige Qualifikationen vermittelt. Durch die „Schaufenster Elektromobilität“ konnten auch zusätzliche Qualifizierungsangebote für technische und kaufmännische Ausbildungsprogramme geschaffen werden. Hierunter fallen neben der Schulung von Beratungskompetenzen auch „Train-the-Trainer“-Angebote, welche sich spezifisch an Ausbilder richten. Basierend auf Experteninterviews kritisieren die Autoren jedoch die betriebliche Rolle in den Ausbildungsprogrammen. Während Berufsschulen ihr Lehrangebot bereits anpassen, hat Elektromobilität in vielen Betrieben noch keinen Einzug erhalten. Daher fehle laut Experteninterviews in diesen Betrieben der Bezugspunkt für Auszubildende.

Die *berufliche Weiterbildung* nimmt neben der Erstausbildung eine fundamentale Rolle ein (Schild et al., 2017). Hierbei wird auf bereits in den Betrieben vorhandenem Humankapital aufgebaut, um erforderliche Qualifikationen der Elektromobilität zu vermitteln. Insbesondere wurden Schulungskonzepte zu Hochvolttechnologien entwickelt, um Mitarbeitern einen sicheren Umgang mit dieser Technik zu ermöglichen. Innerhalb der Elektro- und Informationstechnik wurden sowohl zielgruppen- als auch themenspezifische Angebote zur Ladeinfrastruktur entwickelt. Diese umfassen auch verbundene Bereiche, wie beispielsweise erneuerbare Energien, Energiemanagement und Stromspeicher.[179] Die Teilnahme von Beschäftigten in der Elektro- und Informationstechnik wird jedoch ambivalent

[177] Hierbei handelt es sich um vier regionale Demonstrations- und Pilotvorhaben in Baden-Württemberg, Berlin/Brandenburg, Niedersachsen und Bayern/Sachsen. Ziel der vom Bund mit 180 Mio. Euro geförderten Schaufenster ist es, Elektromobilität für die Bevölkerung sichtbar zu machen und der Industrie, der Wissenschaft sowie der öffentlichen Hand einen Erprobungsraum zur zukunftsfähigen Gestaltung von Elektromobilität bereitzustellen. Siehe https://www.bmu.de/themen/luft-laerm-verkehr/verkehr/elektromobilitaet/bmu-foerderprogramm/schaufenster-elektromobilitaet/.

[178] Inwieweit sich Unternehmen mit ihrem internen Bildungsbedarf auseinander setzen wird nachfolgend näher erörtert.

[179] Siehe dazu auch Teil IV.

bewertet. Laut den Autoren nehmen Führungskräfte solche Weiterbildungsangebote vorrangig wahr. Somit erfolge zuerst eine Qualifizierung von Entscheidern, ehe Fachkräfte (z.B. Monteure) an solchen Weiterbildungsmaßnahmen teilnehmen können.

Damit Bildungsangebote entlang aller Qualifikationsniveaus und Erwerbsverläufe verfügbar sind, muss in einem ersten Schritt deren Bedarf ermittelt werden. Gewerkschaften sehen hier Nachholbedarf, wie Umfragen im Rahmen des „Transformationsatlas“ der IG Metall zeigen (IG Metall, 2019). Laut IG Metall geben 43% der knapp 2.000 befragten Betriebe an, dass sie keine Strategie zur Bewältigung der Umstellung auf Elektromobilität haben. Zwar sehen 95% der Betriebe einen zukünftig steigenden Qualifizierungsbedarf ihrer Beschäftigten, jedoch gibt die Hälfte an, diesen nicht systematisch zu ermitteln. Auch ist die tatsächliche Teilnahme an betrieblicher Weiterbildung entscheidend, welche laut dem Institut der deutschen Wirtschaft über die Betriebsgrößenklasse schwankt (IW Köln, 2017b). Während nahezu jedes größere Unternehmen (mindestens 250 Mitarbeiter) Weiterbildungsangebote nutzt, beträgt die Teilnahme von Unternehmen mit weniger als 50 Mitarbeitern hingegen nur 84%.

Die Analyse der Qualifikation der akademischen und beruflichen Erstausbildung sowie Weiterbildung legt Handlungsbedarf offen. Dieser wird in Kapitel V.6 mit konkreten Maßnahmenvorschlägen adressiert.

Um eine bessere Orientierung über Berufe mit dem stärksten Stellenabbau zu geben, betrachten wir Arbeitsplatzverluste nachfolgend auf Berufsebene gemäß der KldB2010.

6.2 Kompetenzanforderungen und Berufe: Prognose des IAB und des BIBB

Die Prognose des IAB und des BIBB zeigt, dass kein Anforderungsniveau vom Stellenabbau verschont bleibt. Allerdings trifft es anspruchsvollere Tätigkeiten (also Spezialisten und Experten mit höheren Kompetenzanforderungen) in einem späteren Zeitraum als einfachere Tätigkeiten (Helfer und Fachkräfte).

Die Datenbasis der Studie des IAB und BIBB (IAB, 2018b) wurde speziell für arbeitsmarktspezifische Fragestellungen konzipiert und erlaubt es Arbeitsplatzveränderungen im Zuge der Elektromobilität auf Basis der KldB2010 entweder nach Anforderungsniveau oder dem Berufsbild zu unterscheiden.[180] Hierbei werden Beschäftigungsveränderungen als Differenz aus dem Bedarf an Arbeitskräften in einer Basisprojektion und einem spezifischen Elektromobilitätsszenario berechnet. Während in der IAB/BIBB-Basisprojektion aktuelle Entwicklungen lediglich fortgeschrieben werden, unterstellen die Autoren im IAB/BIBB-Elektromobilitätsszenario einen Markthochlauf von Elektrofahrzeugen (BEV und FCEV) von 23% bis 2035.[181]

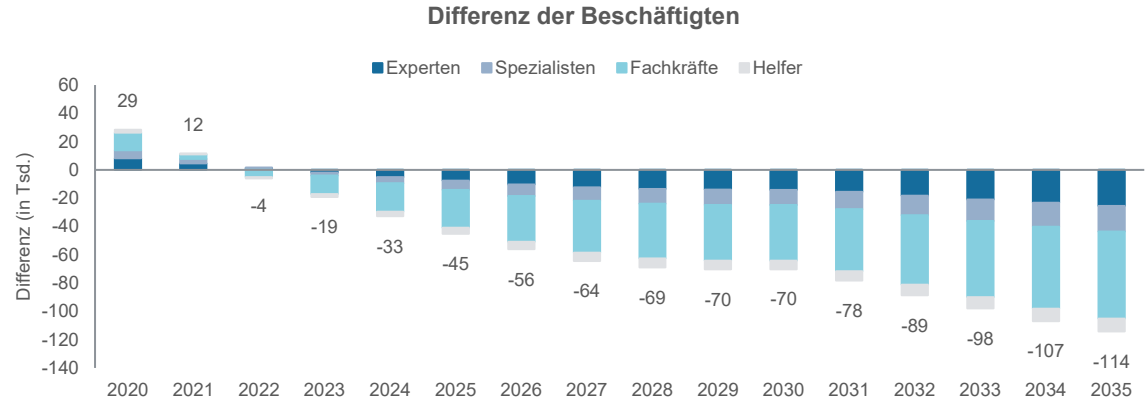
Zudem unterstellen die Autoren, dass sich Vorleistungsverflechtungen zwischen beteiligten Wirtschaftszweigen verändern. So wird ein höherer Vorleistungsinput bei der Fahrzeugproduktion für chemische Erzeugnisse (WZ20) zur Steigerung der Stromeffizienz, für Kunststoffe (WZ22) im Zuge des Leichtbaus und für Elektronik (WZ26) bzw. elektrische Ausrüstungen (WZ27) durch eine stärkere Nachfrage nach Batterien und Akkumulatoren unterstellt. Auch der Input von Bildungsleistungen (WZ85) wird im

[180] Eine simultane Betrachtung von betroffenen Berufen und Anforderungsniveaus innerhalb dieser Berufe ist mit den vorliegenden Daten jedoch nicht möglich.
[181] Dies liegt deutlich unter unserem Referenzszenario und verfehlt damit die Klimaziele. Wir unterstellen im Referenzszenario 2035 einen Markthochlauf von 43%.

IAB/BIBB-Elektromobilitätsszenario stärker gewichtet, da Mitarbeiter für neue Produktionsprozesse entsprechend weitergebildet werden müssen. Die Autoren bilden diese Veränderung der Vorleistungsverflechtungen über Anpassungen der Input-Koeffizienten in einer Input-Output-Analyse ab.

Abb. 69 stellt die Differenz des Arbeitskräftebedarfs in Deutschland zwischen der IAB/BIBB-Basisprojektion und dem IAB/BIBB-Elektromobilitätsszenario getrennt nach dem Anforderungsniveau einer Tätigkeit dar. Gesamtwirtschaftlich ist bis zum Jahr 2021 eine verstärkte Nachfrage nach allen Anforderungsniveaus und somit Beschäftigten aller Bildungsniveaus ersichtlich. Absolut betrachtet ergibt sich der größte Bedarf bei Fachkräften. Eine relative Betrachtung zeigt hingegen, dass besonders Spezialisten- und Expertentätigkeiten in dieser Phase am stärksten gefragt sind. Während der Arbeitskräftebedarf durch die verstärkte Elektrifizierung des Antriebsstrangs 2020 noch positiv ist, ist er anschließend jedoch rückläufig und unterschreitet nach 2021 sogar den Bedarf in der IAB/BIBB-Basisprojektion. Hierdurch kommt es ab 2022 zu einem Nachfragerückgang von 4.000 Beschäftigten, welcher sich jedoch bis 2035 auf 114.000 ausweiten wird. Dieser Rückgang trifft zuerst Beschäftigte, die Tätigkeiten mit vergleichsweise niedrigen Anforderungsniveaus nachgehen, d.h. Helfer und Fachkräfte. Erst im Folgejahr 2023 sinkt auch der Bedarf an Spezialisten- und Expertentätigkeiten, welcher ab 2025 sogar dynamischer als bei Helfern und Fachkräften verläuft.

Abb. 69: Differenz des Bedarfs an Beschäftigten (Erwerbstätige) zwischen IAB/BIBB-Basis- und Elektromobilitätsszenario nach Anforderungsniveau, Prognose 2020 bis 2035

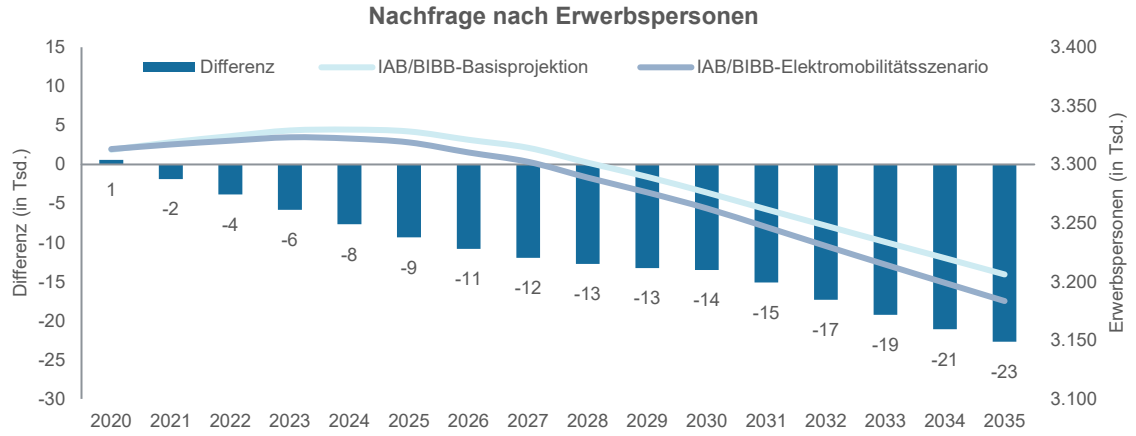


Quelle: Modifiziert entnommen aus IAB (2018b).

Die Autoren führen den zwischenzeitlich steigenden Arbeitskräftebedarf über alle Anforderungsniveaus auf den erhöhten Investitionsbedarf zur Markteinführung der Elektromobilität zurück. Hiervon seien beispielsweise der Maschinenbau, die Instandhaltung von Maschinen sowie das Baugewerbe positiv tangiert. Da der elektrifizierte Antriebsstrang jedoch weniger komplex als ein Verbrennungsmotor ist, wird bereits mittelfristig ein Beschäftigungsrückgang prognostiziert. Relativ betrachtet verzeichnen somit Spezialisten- und Expertentätigkeiten kurzfristig den größten Bedarfszuwachs, welcher zudem länger anhält als der nach niedrigeren Anforderungsniveaus. Auf längere Sicht verläuft der Nachfragerückgang unter den höheren Anforderungsniveaus jedoch dynamischer als dies bei Helfern und Fachkräften der Fall ist. Da die Autoren die Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen für 2035 äußerst konservativ auf 23% ansetzen, ist mittel- und langfristig entsprechend mit stärkeren Beschäftigungsverlusten zu rechnen. Diese können jedoch nicht näher nach Anforderungsniveaus unterteilt werden.

Zur Identifizierung von Berufen, die am stärksten von einem Stellenabbau betroffen sind, fasst das BIBB 17 Berufe als typisch zusammen (BIBB, 2018b). In erster Linie tragen Berufe der Fahrzeug-, Luft-, Raumfahrt- und Schiffbautechnik zur Produktion von Fahrzeugen bei. Somit erfolgt die Betrachtung nicht mehr auf gesamtwirtschaftlicher Ebene nach Anforderungsniveaus, sondern branchenspezifisch nach Berufsbildern. Um diese branchenspezifische Darstellung zu ermöglichen, werden nur Beschäftigte in diesen typischen Berufen betrachtet, welche auch in mobilitätsbezogenen Wirtschaftszweigen arbeiten.[182]

Abb. 70: Bedarf an Erwerbspersonen in typischen Berufen der Herstellung und des Vertriebs von Fahrzeugen, IAB/BIBB-Prognose 2020 bis 2035



Quelle: IPE. Eigene Berechnungen basierend auf Prognosen des BIBB und IAB. Siehe https://www.bibb.de/de/qube_datenportal_ergebnisse.php (Szenarien: Basisprojektion und Elektromobilitätsszenario).

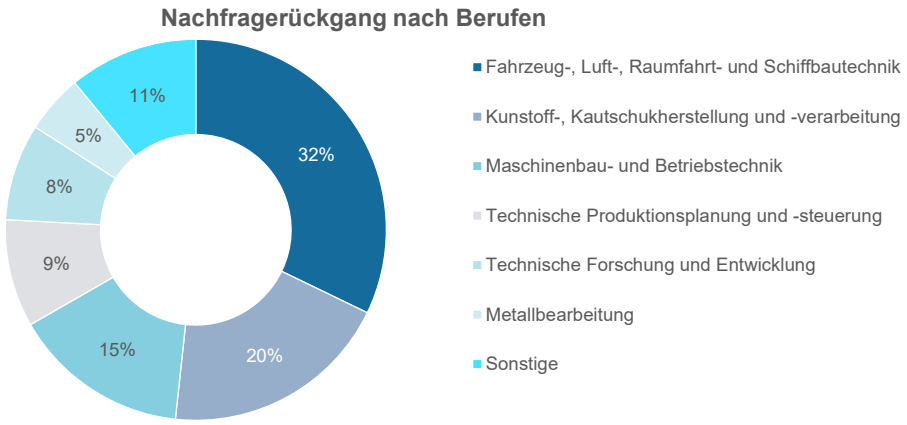
Abb. 70 stellt den Arbeitskräftebedarf in diesen Berufen absolut und als Differenz zwischen der IAB/BIBB-Basisprojektion und dem IAB/BIBB-Elektromobilitätsszenario dar. Analog zum gesamtwirtschaftlichen Arbeitskräftebedarf nach Anforderungsniveaus (siehe Abb. 69) steigt der Bedarf 2020 für die ausgewählten Berufe. Bereits ab 2021 fällt dieser Bedarf im Elektromobilitätsszenario jedoch unter den der Basisprojektion. 2035 beläuft sich der Nachfragerückgang für die typischen Berufe in der Herstellung und Vertrieb von Fahrzeugen auf 23.000 Beschäftigte.

Abb. 71 stellt den Nachfragerückgang 2035 anteilig nach betroffenen Berufsbildern dar. Die größten Stellenverluste entfallen auf die Berufe der Fahrzeug-, Luft-, Raumfahrt- und Schiffbautechnik sowie Kunststoff-, Kautschukherstellung und -verarbeitung. Von den prognostizierten 23.000 Arbeitsplatzverlusten entfällt knapp über die Hälfte auf die vorgenannten Berufe. Ein weiteres Viertel trifft der Prognose nach Professionen in der Maschinenbau- und Betriebstechnik (15%) sowie der Technischen Produktionsplanung und -steuerung (9%). Unter die verbleibenden Stellenverluste fallen Berufe der Technischen Forschung und Entwicklung (8%) sowie der Metallbearbeitung (5%) und sonstige Berufsbilder (11%). Innerhalb der sonstigen Berufe entfallen lediglich etwa 3% des

[182] Als „WZ der Mobilität“ gelten nach Abgrenzung der Autoren all jene, die im engeren Sinne mit Fortbewegung und Fahrzeugen in Verbindung stehen. Das sind in diesem Fall (WZ 2008 Code in Klammern): Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen (29), Sonstiger Fahrzeugbau (30), Handel mit Kraftfahrzeugen; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen (45), Landverkehr und Transport in Rohrfernleitungen (49), Schifffahrt (50), Luftfahrt (51), Lagerei sowie Erbringung von sonstigen Dienstleistungen für den Verkehr (52), Post-, Kurier- und Expressdienste (53), Vermietung von beweglichen Sachen (77), Dienstleistungen von Reisebüros, -veranstaltern (79).

Stellenabbaus auf Berufe, die der Fahrzeugproduktion nachgelagert sind, das heißt auf Vertrieb und Handel.

Abb. 71: Nachfragerückgang im IAB/BIBB-Elektromobilitätsszenario nach Berufen, Prognose 2035



Quelle: IPE. Eigene Berechnungen basierend auf Prognosen des BIBB und IAB. Siehe https://www.bibb.de/de/qube_datenportal_ergebnisse.php (Szenarien: Basisprojektion und Elektromobilitätsszenario).

Wie in Kapitel 2 dargestellt, sind zur Prognose von Arbeitsplatzeffekten durch die Elektromobilität eine Vielzahl an Annahmen zu treffen. Eine der zentralen Annahmen ist die Entwicklung von Elektrofahrzeugen im Markt. In dieser Hinsicht sind unsere Annahmen deutlich progressiver als die des IAB und des BIBB. Dies schlägt sich jedoch allein in reinen Skaleneffekten nieder. Beide Modelle unterscheiden sich vielmehr in der Modellierung. Während IAB und BIBB ein reines Makromodell nutzen, verknüpfen wir volkswirtschaftliche Kennzahlen mit Mikrodaten (z.B. Herstellungskosten auf Fahrzeugebene und Mobilitätsnachfrage). Entsprechend lassen sich beide Modelle nur eingeschränkt miteinander vergleichen und sind ausschließlich im jeweiligen Kontext zu interpretieren. Die von uns modellierten Arbeitsplatzeffekte ergeben sich – in einer vereinfachten Darstellung – aus der Kombination von unterstellten Produktionszahlen und der Wertschöpfung pro Fahrzeug. Die Arbeitsplatzeffekte des IAB/BIBB-Modells ergeben sich – vereinfacht ausgedrückt – aus der Kombination von unterstellten Produktionszahlen nach Antrieb und der Veränderung der Input-Koeffizienten. Die oben dargestellten Arbeitsplatzeffekte nach Kompetenzanforderung und Berufsbild ergeben sich über die Annahme, dass sich die Input-Koeffizienten über die Zeit verändern. Aus unserer Sicht ist es jedoch methodisch nicht möglich die Veränderung der Input-Koeffizienten verlässlich zu prognostizieren (siehe Abschnitt 4.4). Zusammengefasst ist die Prognose des IAB/BIBB jedoch bisher die einzige Studie, die sich in dieser Detailtiefe mit dem Thema befasst und somit einen immensen Forschungsbeitrag leistet.

IV. Welche Perspektiven bietet die Elektromobilität für die Stromwirtschaft?

Das vorliegende Kapitel beleuchtet die Wechselwirkungen des automobilen Strukturwandels mit der Stromwirtschaft. Da auch diese Branche vor grundlegenden Veränderungen steht, werden in dieser Studie die Zusammenhänge zwischen „Verkehrswende“ und „Energiewende“ untersucht. Die Elektromobilität ist eine Technologie, welche die Grenzen von bislang voneinander getrennten Branchen, sukzessive verschwimmen lässt. Die Branchenkonvergenz wird sich im Zuge der zunehmenden Marktdurchdringung mit Elektrofahrzeugen weiter verstärken. Die Elektromobilität führt zu neuen Wertschöpfungsallianzen und einer sukzessiv entstehenden Sektorkopplung von Automobil- und der Stromwirtschaft. Ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Elektromobilität ist, dass das bedarfsgerechte Laden von Elektrofahrzeugen einfach sowie bezahlbar ist und die Ladeinfrastruktur (LIS) effizient in das Stromnetz integriert wird (BMWI, 2016d).

Die Zielstellung dieses Kapitels ist es, mögliche wirtschaftliche Potenziale durch die Elektromobilität in der Stromwirtschaft (auch Strommarkt genannt) für die Jahre 2025 bzw. 2030 zu ermitteln. Der Fokus wird hierbei auf Beiträge der Elektromobilität im Umfeld von intelligentem Laden und der Netzsteuerung gelegt. Mögliche Geschäftsmodelle werden im Hinblick darauf untersucht, ob diese Geschäftsmodelle zur Stabilisierung der Stromnetze und zur Speicherung von Strom aus erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen einen Beitrag leisten können. Mit der gebotenen Vorsicht wird auch – quantitativ fundiert – dargelegt, in welchen Wirtschaftszweigen durch geeignete Geschäftsmodelle sowohl Wertschöpfung als auch Arbeitsplätze entstehen können.

Teil IV ist in insgesamt drei Kapitel gegliedert. Als Einstieg in die Thematik werden im folgenden Kapitel der Aufbau und die Struktur des Strommarkts sowie des Stromnetzes in Deutschland skizziert. Des Weiteren wird die Rolle des Stromnetzes im Kontext der "Verkehrs-/Energiewende" diskutiert.

Mithilfe einer Metaanalyse werden sodann in Kapitel 2 zunächst mögliche wirtschaftliche Potenziale, die durch die Elektromobilität im Strommarkt entstehen können, vorgestellt. Die Ermittlung von wirtschaftlichen Potenzialen wird anhand der Wertschöpfungsstufen für Ladeinfrastruktur hergleitet. Mit den Erkenntnissen aus der Metaanalyse werden Geschäftsmodelle identifiziert und im Hinblick auf ihre Erfolgsaussichten vorselektiert.

Im Kapitel 3 wird entlang der vier Szenarien versucht, das Potenzial von aussichtsreichen Geschäftsmodellen zu modellieren. Zudem wird dargelegt, in welchen Wirtschaftsbranchen diese Geschäftsmodelle verortet werden könnten und welche Wertschöpfung sowie Arbeitsplätze hierdurch entstehen können.

Handlungsempfehlungen zum Strommarkt folgen in Kapitel V.5.

1. Das Stromnetz in der Verkehrs- und Energiewende

Der Strommarkt und das darin enthaltene Stromnetz sind Teil der Wirtschaftsbranche Energiewirtschaft. In der Energiewirtschaft sind alle Anteile der Wertschöpfung von jeweiligen Branchen beziehungsweise Unterbranchen einzubeziehen, deren Produkte und Dienstleistungen sowohl mittelbar als auch unmittelbar der Versorgung von Endverbrauchern mit Strom, Fernwärme, Brenn-/Kraftstoffe, Trinkwasser sowie Energiedienstleitungen dienen (BMWi, 2015).

Im folgenden Abschnitt 1.1 wird zunächst die Struktur des Strommarktes in Deutschland beschrieben. Danach wird in Abschnitt 1.2 die Funktionsweise des Stromnetzes erläutert. Anschließend folgt in Abschnitt 1.3 eine Beschreibung der lokalen Herausforderungen im Stromnetz bevor in Abschnitt 1.4 Lösungsansätze zur Bewerkstelligung dieser Herausforderungen diskutiert werden.

„Das Wichtigste in Kürze“: Das Stromnetz

Aufgrund der europäischen und nationalen Klimaziele bedarf es nicht nur im Verkehrssektor, sondern insbesondere auch im Energiesektor, emissionsreduzierender Maßnahmen. So ist etwa im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vorgesehen, dass im Jahr 2030 ein Anteil von ca. 55% des Stromverbrauchs in Deutschland durch erneuerbare Energieerzeugungsanlagen bereitgestellt werden soll. Der daraus resultierende Ausbau von vorwiegend zentral einspeisenden, konventionellen Erzeugungsanlagen, wie z.B. Kohle- oder Atomkraftwerken, hin zu erneuerbaren Erzeugungsanlagen stellt das Stromnetz vor enorme Herausforderungen. Während die Bereitstellung konventionell erzeugter Elektrizität gut plan- und steuerbar ist, ist die Verfügbarkeit von Elektrizität aus erneuerbaren Erzeugungsanlagen der Volatilität des Wetters unterworfen. Auch geografisch fallen Nachfrage nach Elektrizität und Angebot nicht mehr unbedingt zusammen. Die Netzbetreiber müssen deshalb immer öfter kurzfristige Maßnahmen zur Netzstabilisierung ergreifen.

Durch die Verkehrswende wird die Anzahl an dezentralen Last- und Einspeiseanlagen wie Ladesäulen oder Elektrofahrzeugen signifikant ansteigen. Folglich kann es durch gleichzeitiges Laden von mehreren Elektrofahrzeugen zu hohen Lastspitzen und entsprechenden Netzbelastungen kommen. Da diese auf der Niederspannungsebene an das Verteilnetz angeschlossen werden, wird insbesondere das Niederspannungsnetz in manchen Regionen an seine Grenzen stoßen. Historisch ist dieses allerdings nicht für eine vergleichsweise hohe Ladeleistung ausgelegt. Hinzu kommt, dass die Netzbetreiber nicht genau wissen, wie viele Elektrofahrzeuge mit welcher Leistung an welchem Ort laden werden und an welchen Stellen hierdurch mit Netzengpässen zu rechnen ist.

Die zunehmende Marktdurchdringung von Elektromobilität bietet aber auch die Möglichkeit, zusätzliche wirtschaftliche Potenziale zu generieren. Im Rahmen einer Metaanalyse wurden in dieser Studie mögliche wirtschaftliche Potenziale neuer Geschäftsmodelle ermittelt. Die vier herausgearbeiteten Geschäftsmodelle zielen direkt oder indirekt auf intelligentes Laden und Netzsteuerung ab.

1.1 Struktur des Strommarktes in Deutschland

Die Struktur des Strommarktes in Deutschland lässt sich im Wesentlichen anhand seiner sechs Wertschöpfungsstufen klassifizieren:

1. Elektrizitätserzeugung und Speicherung.
2. Beschaffung und Handel von Elektrizität.
3. Übertragung und Verteilung von Elektrizität.
4. Vertrieb von Elektrizität.
5. Messung und Abrechnung von Elektrizität.
6. Dienstleistungen und sonstige Geschäftsfelder.

Innerhalb der ersten Wertschöpfungsstufe findet die Erzeugung und Speicherung von Elektrizität statt. Elektrizität wird in Deutschland durch konventionelle und durch erneuerbare Energieerzeugungsanlagen produziert. Unter konventionellen Erzeugungsanlagen werden Kraftwerke verstanden, welche mit fossilen (Erdöl, Gas und Kohle) oder atomaren (Uran) Brennstoffen Elektrizität erzeugen. Erneuerbare Energieerzeugungsanlagen sind Erzeugungsanlagen, die mithilfe von nachhaltigen Quellen wie Wasser, Wind, Sonne und Erdwärme Elektrizität erzeugen. Aufgrund der steigendenden Erzeugungsleistung aus erneuerbaren Energien ist die Elektrizitätserzeugung zunehmend der Volatilität des Wetters ausgesetzt. Bei Windflaute kann z.B. eine Windenergieanlage keine Elektrizität produzieren. Damit die Versorgungssicherheit mit Elektrizität jederzeit gewährleistet ist, werden sukzessive auch Speichertechnologien (z.B. Batteriespeicher) in Deutschland installiert (Agora, 2014).

In der zweiten Stufe der Wertschöpfung ist die Beschaffung von Elektrizität und der Handel von Strom angesiedelt. Elektrizität kann nicht nur durch eigene Erzeugungsanlagen erzeugt werden, sondern auch beispielsweise an der Strombörse in Leipzig[183] eingekauft und bei Überkapazität verkauft werden.

In der dritten Stufe wird die Elektrizität mithilfe von Stromnetzen übertragen und verteilt. Das Stromnetz in Deutschland hat vier Netzebenen. Die erste Ebene ist die Höchstspannungsebene. Das Höchstspannungsnetz ist das Übertragungsnetz in Deutschland *(Stromautobahn)*. Dort wird Elektrizität über weite Strecken transportiert und Großkraftwerke speisen auf dieser Netzebene ihre Erzeugungsleistung ein. Die zweite Netzebene ist das sogenannte Hochspannungsnetz. Dieses fungiert als überregionale Verteilnetzebene *(Bundestraße)*. In dieser Ebene des Netzes speisen beispielsweise größere Solar-/Windpark Elektrizität in das Stromnetz ein. Industrielle Abnehmer (z.B. Produktionsanlage) beziehen Strom von dieser Ebene des Netzes. Die dritte Netzebene ist das Mittelspannungsnetz. Dieses fungiert als regionales Verteilnetz *(Landstraße).* Kleinere Wind-/Solarparks speisen Elektrizität ins Stromnetz ein und der Großteil der industriellen Abnehmer bezieht Strom von dieser Ebene des Netzes. Die vierte Netzebene ist das Niederspannungsnetz. Das Niederspannungsnetz fungiert als lokales Verteilnetz *(Ortsstraße)*. Auf dieser Netzebene speisen insbesondere einzelnstehende Windenergie- und Solaranlagen Elektrizität in das Stromnetz ein. Haushalte beziehen Strom von dieser Ebene. Ein Großteil der Ladeeinrichtungen wird im Niederspannungsnetz an das Stromnetz angeschlossen.

Die vierte Wertschöpfungsstufe ist der Vertrieb von Elektrizität. Der Strommarkt in Deutschland ist seit 1998 liberalisiert. [184] Verbraucher können seitdem ihren Stromanbieter frei auswählen.

[183] Die European Energy Exchange (EEX) ist unter anderem ein Marktplatz für den Handel von Elektrizität.
[184] Mit dem Gesetz zur Neuregelung der Energiewirtschaft wurde 1998 der Strommarkt in Deutschland liberalisiert.

Die fünfte Stufe beinhaltet die Messung von Elektrizität und deren Abrechnung. Anhand eines Stromzählers misst der Netzbetreiber den Verbrauch (in kWh) an Elektrizität. Diese Verbrauchswerte sind für die Abrechnung relevant. Die Abrechnungsdaten werden an den Stromanbieter des jeweiligen Kunden (in der Regel einmal jährlich) weitergeleitet und dieser erstellt eine Rechnung für den Verbraucher.

Die sechste Stufe beinhaltet Dienstleistungen und sonstige Geschäftsfelder. Hierzu gehören z.B. die Installation von Solaranlagen und Ladeladeeinrichtungen sowie deren Wartung und Betrieb.

1.2 Funktion des Stromnetzes

Das heutige Stromnetz in Deutschland ist weitestgehend für seine ursprüngliche Aufgabe ausgelegt: Den Transport und die Verteilung von Elektrizität aus zentral einspeisenden, konventionellen Erzeugungsanlagen. Insbesondere in den letzten zehn Jahren ist die Dynamik im Stromnetz in Deutschland aufgrund der starken Zunahme an erneuerbaren Erzeugungsanlagen deutlich gestiegen.[185] Dieser Trend wird sich in Zukunft – auch aufgrund der Elektromobilität – weiter fortsetzen. Hauptgrund dafür ist die bisherige und weiterhin starke Zunahme von volatiler Elektrizitätseinspeisung aus vielen dezentralen, erneuerbaren Energieanlagen. Dies führt zu einer Häufung von Last- und Frequenzschwankungen im Netz. Zuviel Energiezufuhr ist für die Stabilität des Stromnetzes genauso gefährlich wie zu wenig.

Deswegen haben die Netzbetreiber die Aufgabe, das Elektrizitätsangebot und die Elektrizitätsnachfrage ständig miteinander in Einklang zu bringen. Vor der Energiewende war das ein einfaches Unterfangen: Die Bereitstellung konventionell erzeugter Elektrizität ist gut planbar und lässt sich über die Auslastung der entsprechenden konventionellen Kraftwerke zuverlässig steuern. Für Elektrizität aus erneuerbaren Erzeugungsanlagen gilt das nicht. Sie stammt zum allergrößten Teil aus Windenergie- und Solaranlagen. Ihre Verfügbarkeit ist der Volatilität des Wetters (Wind und Sonne) unterworfen. Geografisch gesehen, ist die Nachfrage nach Elektrizität nicht mehr unbedingt dort, wo das Angebot ist. Das bringt das Leitstellenpersonal von Netzbetreibern immer häufiger in Situationen, in denen innerhalb von Minuten Maßnahmen zur Netzstabilisierung zu ergreifen sind.

Hierzu bestehen unterschiedliche Optionen. Zum einen kann der Einsatzplan von Einspeisung aus konventionellen Kraftwerken durch deren Herauf- oder Herunterfahren in einem "Redispatch"[186] kurzfristig justiert werden. Zum anderen können zusätzlich erneuerbare Erzeugungsanlagen ab- oder zugeschaltet werden. Fast täglich finden Eingriffe, sogenannte Zwangsmaßnahmen zur Systemstabilisierung statt (BuW, 2015a). Die Netz- und Sicherheitsmaßnahmen tragen zur sehr hohen Zuverlässigkeit der Stromnetze in

[185] Der Anteil an erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch ist von rund 15% im Jahre 2008 auf 38% im Jahre 2018 angestiegen (siehe https://www.erneuerbareenergien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Entwicklung/entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland.html).

[186] Unter Redispatch versteht man Eingriffe in die Erzeugungsleistung von Kraftwerken, um Netz-Leitungsabschnitte vor einer Überlastung zu schützen. Droht an einer bestimmten Stelle im Netz ein Engpass, werden Kraftwerke diesseits des Engpasses angewiesen, ihre Einspeisung zu drosseln, während Anlagen jenseits des Engpasses ihre Einspeiseleistung erhöhen müssen. Auf diese Weise wird ein Lastfluss erzeugt, der dem Engpass entgegenwirkt (Bundesnetzagentur, 2019).

Deutschland bei.[187] Die Gesamtkosten für Netz- und Systemsicherheitsmaßnahmen beliefen sich im Kalenderjahr 2018 auf rund 1,4 Mrd. Euro (Bundesnetzagentur, 2019). Es kommt bereits heute gelegentlich und mancherorts dazu, dass das Stromnetz ausgelastet ist.

1.3 Lokale Herausforderungen im Stromnetz

Durch das weitere Voranschreiten der Energiewende werden zukünftig zusätzliche dezentrale Einspeiseanlagen (insbesondere Wind- und Solaranlagen) an das Stromnetz angeschlossen (Fraunhofer ISE, 2012). Mit dem aktuell im Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) festgelegten Ausbaukorridor ist vorgesehen, dass im Jahr 2030 ein Anteil von ca. 55% des Stromverbrauchs in Deutschland durch erneuerbare Energieerzeugungsanlagen erzeugt wird. Der gegenwärtige Koalitionsvertrag sieht sogar eine Anhebung des Ausbauziels für erneuerbare Energien vor, sodass rund 65% des Stromverbrauchs bis 2030 aus erneuerbaren Erzeugungsanlagen erzeugt werden sollen.

Hierzu sind bis zu 200 Gigawatt[188] an installierter Leistung aus erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen (insbesondere Solarenergie, Windenergie und Biomasse) bis 2030 notwendig (Deutsches Institut für Wirtschaftsförderung, 2019). Bis Ende 2018 waren insgesamt rund 118 Gigawatt installierte Leistung zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen in Deutschland vorhanden.[189] Der Nettozubau von erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen lag in den letzten fünf Jahren (2014-2018) bei durchschnittlich rund 7 Gigawatt pro Jahr (BMWi, 2019).

Auch die Verkehrswende wird beispielsweise dafür sorgen, dass die Anzahl an dezentralen Lastanlagen (insbesondere Ladeinfrastruktur) signifikant ansteigen wird. Die weitere Integration von neuen Einspeise- und Lastanlagen kann zunehmend dazu führen, dass das Stromnetz in manchen Regionen an seine Grenzen kommt.[190] Dies gilt insbesondere für das Niederspannungsnetz, welches aktuell in der Regel nicht steuer- oder überwachbar ist. Damit ist das Netz auf dieser Ebene in der Regel noch kein Smart Grid[191] (intelligentes Netz) und somit nicht „intelligent“.[192] Denn ein Großteil der zukünftig hinzukommenden, mit hoher

---

[187] Die Stromnetzstabilität in Deutschland ist weiterhin auf einem sehr hohen Niveau. Das belegt die durchschnittliche Strom-Unterbrechungsdauer, die laut Störungs- und Verfügungsstatistik vom Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik bei durchschnittlich rund 12 Minuten pro Kunde im Jahr 2017 lag. Die Häufigkeit der Versorgungsunterbrechung pro Stromkunde betrug 2017 (inkl. höherer Gewalt wie beispielsweise Stürme und Orkane) im Durchschnitt 0,28 Ausfälle. Das bedeutet, dass ein Kunde durchschnittlich nur alle 3 bis 4 Jahre mit einem Stromausfall in Deutschland zu rechnen hat. Damit ist Deutschland im Ländervergleich (insbesondere mit Mitgliedstaaten der Europäische Union) Spitzenreiter. Die durchschnittliche Strom-Unterbrechungsdauer lag z. B. in den Niederlanden bei rund 20 Minuten pro Kunde (2016) und in Österreich bei rund 32 Minuten pro Kunde (2017). Siehe: https://www.vde.com/de/fnn/themen/versorgungsqualitaet/versorgungszuverlaessigkeit/stoerungsstatistik-2017.

[188] 1 Gigawatt entspricht 1 Mio. Kilowatt.

[189] Die 118 Gigawatt an installierter Leistung aus erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen basiert auf Wasserkraft (4,7%-Anteil), Biomasse (7,1%-Anteil), Windenergie and Land (44,4%-Anteil) und auf See (5,4%-Anteil), Photovoltaik (38,3%-Anteil) und tiefe Geothermie (0,1%-Anteil) (BMWi, 2019).

[190] Das Stromnetz in Deutschland ist in der Regel zu 30-40% ausgelastet. Gerade im Bereich des Verteilnetzes (insbesondere Mittel- und Niederspannung) verfügen die Stromnetze somit über eine 2- bis 3-fache Redundanz.

[191] Das Smart Grid ist ein intelligentes Stromnetz. Ein Stromnetz wird dann intelligent, wenn innerhalb des Netzes ein Informationsaustausch erfolgt, mit dessen Hilfe die Stromerzeugung, der Verbrauch und die Speicherung dynamisch gesteuert und überwacht werden können.

[192] Die meisten Verteilnetze verfügen lediglich bis zur 10 kV-Ebene über eine Regeltechnik, d.h. im Höchst- und Hoch- sowie Mittelspannungsnetz.

Volatilität behafteten Last- sowie Einspeiseanlagen wird auf der Niederspannungsebene an das Verteilnetz angeschlossen werden – auch der Großteil der Elektrofahrzeuge. Das Niederspannungsnetz ist historisch nicht für vergleichsweise hohe Ladeleistungen ausgelegt (TU Dresden, 2019). Somit werden sowohl die Intensität als auch die Gleichzeitigkeit von eingespeister Elektrizität (aus erneuerbaren Energien) und Lastentnahme (beispielsweise aus LIS) variieren. Dadurch ist es beispielsweise möglich, dass nicht an jeder Stelle im Netz und zu jeder Uhrzeit eine hinreichende Menge an Strom für das Laden von Elektrofahrzeugen zur Verfügung stehen kann.

Mit einer steigenden Durchdringung der Elektromobilität auf der Ebene der privaten Haushalte sind Situationen (insbesondere im sogenannten Ortsnetz) denkbar, in denen das gleichzeitige Laden von mehreren Elektrofahrzeugen im Netzstrang zu sehr hohen Lastspitzen und entsprechenden Netzbelastungen führen kann (TU München, 2018). Diese erste Herausforderung kann insbesondere in schwach ausgebauten Niederspannungsnetzen entstehen (Forschungsstelle für Energiewirtschaft, 2015). Die zweite Herausforderung resultiert für die Netzbetreiber aus der Unklarheit darüber, wie viele Elektrofahrzeuge mit welcher Leistung und an welchem Ort laden werden und an welchen Stellen hierdurch mit Netzengpässen zu rechnen ist (NPM, 2019a).

Eine erneute "50,2-Hertz-Problematik“[193] wird nach aktuellen Experteneinschätzungen jedoch nicht aufkommen, da im Zuge der Entwicklung der Smart-Meter-Infrastruktur das Niederspannungsnetz intelligent wird und netzdienliche Eingriffe möglich sind (BMWi, 2018a).

Die Studie "Forschungsüberblick Netzintegration Elektromobilität" der Forschungsgemeinschaft für Elektrische Anlagen und Stromwirtschaft (FGH) hat 284 nationale und 36 internationale Studien zu den Auswirkungen der Elektromobilität auf das Stromnetz ausgewertet. Die wichtigsten Erkenntnisse aus insgesamt 43 Szenarien sind:

1. Das netzdienliche Laden kann die Netzbelastung reduzieren.
2. Bis zu einem Marktanteil von 30% gibt es grundsätzlich keine signifikanten Probleme bei der Netzintegration der Elektromobilität, insbesondere wenn das netzdienliche Steuern von Ladeeinrichtungen möglich ist. Ein 30%-Anteil entspricht einer Anzahl von rund 14 Mio. Pkw, gemessen am Pkw-Bestand am 1.Januar 2019.[194]

Weitere Schlüsselerkenntnisse der Studie sind:

3. Die Anzahl an Elektrofahrzeugen ist nicht kritisch für das Stromnetz, sondern die Menge an gleichzeitigen Ladevorgängen.
4. Netzdienliche Steuerbarkeit ist entscheidend für eine kurzfristig realisierbare Netzintegration der Elektromobilität.
5. Die Elektromobilität wird zu steigender Netzbelastung führen und dahingehend auch Netzausbau erfordern.

---

[193] Die Standard Stromfrequenz in Deutschland liegt in Europa bei 50 Hertz. Ein Messwert über 50 Hertz ist auf eine Überspeisung zurückzuführen. Ein Messwert unter 50 Hertz deutet auf eine Unterspeisung hin. Die eingespeiste Erzeugung an Elektrizität muss somit zu jederzeit eine gleich große Lastentnahme gegenüberstehen. Die 50,2-Hertz-Problematik ist ein Synonym dafür, dass die Frequenz im Netz nicht passt und hierdurch z.B. Solaranlagen – aus Sicherheitsgründen – gegebenenfalls abgeschaltet werden müssen (Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik, 2011).

[194] Am 1. Januar 2019 waren in Deutschland rund 48 Mio. Pkw angemeldet (Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt, siehe https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/b_jahresbilanz.html?nn=644526).

6. Aktuell gibt es keine belastbare Prognose darüber, wann und wie viele Elektrofahrzeuge in einem Ortsnetz gleichzeitig laden werden. Das ist insbesondere für die Verteilnetzbetreiber eine Herausforderung bei der Planung des zukünftigen Netzes.

Die dargelegten lokalen Herausforderungen (Netzbelastung und Netzengpass) sind nach aktuellem Kenntnistand von den Netzbetreibern erkannt worden. Sie gelten in der Branche jedoch als aktuell handhabbar, sodass die Netzbetreiber für den "Boom" der Elektromobilität gerüstet zu sein scheinen. Insbesondere von den Verteilnetzbetreibern wird gegenüber der Politik gefordert, dass die Voraussetzungen für ein intelligentes Lastmanagement zügig geschaffen werden. Denn wenn es möglich ist, dass Ladevorgänge entsprechend der Netzbelastung gesteuert werden können, dann verringert dies den Bedarf an Netzverstärkung beziehungsweise Netzausbau (BDEW, 2019).

1.4 Lösungsansätze zur Bewerkstelligung von lokalen Herausforderungen

Die vorgestellten lokalen Herausforderungen (Netzbelastung und Netzengpass) könnten durch intelligente Überwachung und Steuerung im Kontext von Netzbelastung/-dynamik gelöst werden. Dies setzt aber eine adäquate Monitoring- und Regeltechnik sowie Sensorik im Niederspannungsnetz voraus. Es bleibt festzuhalten, dass die Situation lokal, d.h. in einigen Verteilnetzbereichen, herausfordernd werden kann. Sie kann jedoch durch nachfolgende Maßnahmen bewältigt werden, welche jeweils zur Netzstabilität beitragen:

1. Mit der steigenden Anzahl an Elektrofahrzeugen ist die Einführung eines intelligenten Last-, Einspeise- und Lademanagements notwendig. Die Installation von Sensorik/Messtechnik verbessert für die Netzbetreiber die Überwachungsmöglichkeiten über den Netzzustand und bietet dadurch die Möglichkeit Netzbelastungen entgegen zu wirken.
2. Ein frühzeitiger und vollumfänglicher Netzausbau sowie die hinreichende Netzverstärkung im Verteilnetz (in Abhängigkeit vom lokalen Netzzustand) sollte erwogen werden, insbesondere um Netzengpässe zu vermeiden.
3. Wird dem Netzbetreiber die Steuerung von Ladevorgängen und die Integration von netzdienlichen Produkten ermöglicht, bestehen vielerorts Ansätze, um den notwendigen Netzausbau und damit die anfallenden Kosten signifikant zu reduzieren. Dafür ist zwingend notwendig, dass auch für Wallboxen[195], welche für das Laden am Wohnort vorgesehen sind, die Möglichkeit zur Steuerung besteht (Forschungsgemeinschaft für Elektrische Anlagen und Stromwirtschaft, 2018) (Verband kommunaler Unternehmen, 2018) (NPE 2019a und 2018) (Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik, 2019a) (VDA, 2018) (Deloitte, 2019b) (VKU, 2018).

Vor diesem Hintergrund bieten die zunehmende Marktdurchdringung von Elektromobilität und die vorgestellten Maßnahmen zur Netzstabilität möglicherweise eine Basis, um zusätzliche wirtschaftliche Potenziale zu generieren. Im nachfolgenden Kapitel werden die Ergebnisse einer Metanalyse zu diesem Thema vorgestellt.

[195] Eine Wallbox ist eine Wandladestation, d.h. eine Ladeeinrichtung, die an der Wand befestigt wird

2. Wirtschaftliche Potenziale durch die Elektromobilität im Strommarkt

Strengere Regulierung für die durchschnittlichen CO_2-Flottengrenzwerte setzten Automobilhersteller zunehmend unter Druck. Mit jeder weiteren Verschärfung der CO_2-Flottengrenzwerte ist daher davon auszugehen, dass die OEMs ihren Fokus vermehrt auf elektrifizierte Fahrzeuge legen werden, da die lokalen Emissionsreduktionsziele mittels rein verbrennungsmotorischer Fahrzeuge faktisch nicht mehr erreicht werden können (siehe Teil III). Eine zentrale Voraussetzung für einen rasche Marktdurchdringung mit Elektrofahrzeugen ist eine ausreichende Anzahl an Lademöglichkeiten. Der Strommarkt und das Stromnetz werden dahingehend eine Schlüsselfunktion übernehmen. Der Strommarkt wird den benötigten Strom zur Verfügung stellen. Das Stromnetz wird durch den Anschluss von Lademöglichkeiten dafür sorgen, dass das Laden von Elektrofahrzeugen möglich ist.

Die vorgenommene Auswertung von einschlägiger Primär-, Sekundär- und Online-Literatur hat in insgesamt sechs Wertschöpfungsstufen ein breites Spektrum an möglichen wirtschaftlichen Potenzialen sowie darauf basierende Aussichten für Geschäftsmodelle ermittelt. Diese Wertschöpfungsstufen umfassen:

1. Herstellung von Hard- und Software
2. Vertrieb und Transport
3. Installation
4. Ladevorgänge
5. Wartung & Reparatur
6. Mehrwertdienstleistungen.

Im Folgenden werden die sechs Wertschöpfungsstufen beleuchtet und es wird eine Einschätzung zu erfolgversprechenden Geschäftsmodellen gegeben.[196] Abschließend werden aussichtsreiche Geschäftsmodelle insbesondere im Umfeld von intelligentem Laden und Netzsteuerung abgeleitet.

„Das Wichtigste in Kürze“: Aussichtsreiche Geschäftsmodelle

Die identifizierten Geschäftsmodelle konzentrieren sich zum einen auf solche, für die in der Metaanalyse ein Nutzen bzw. eine Notwendigkeit ermittelt wurde. Ein weiterer Fokus liegt auf Geschäftsmodellen, die sich zunehmend im Markt etablieren. Es wurden vier aussichtsreiche Geschäftsmodelle ermittelt. Die Geschäftsmodelle zielen direkt oder indirekt auf intelligentes Laden und Netzsteuerung ab, wobei sich der Begriff "intelligent" hier nicht nur auf die Hardware von LIS, sondern auch auf die örtliche Bereitstellung von LIS und deren Verfügbarkeit bezieht.

Das erste Geschäftsmodell ist der **Aufbau und die Instandhaltung der Ladeinfrastruktur** für Elektromobilität. Die Basis für jegliche wirtschaftlichen Potenziale ist der flächendeckende Ausbau und Betrieb von Lademöglichkeiten.

Das zweite Geschäftsmodell ist der Betrieb von **eRoaming-Plattformen**. LIS-Betreiber können ihre Kundenzahl damit substanziell erhöhen. Außerdem bieten die Plattformen

[196] Die vorgenommene Metaanalyse erhebt jedoch keinen Anspruch auf eine vollständige Abdeckung von allen möglichen wirtschaftlichen Potenzialen und Geschäftsmodellen.

ein Potenzial für die Generierung von zusätzlichen Umsatzerlösen über Rückvergütungen an teilnehmende Netzwerkunternehmen.

Das dritte Geschäftsmodell ist der **intelligente und flächendenkende Betrieb von LIS im Einzelhandel**. Die aktuelle Marktentwicklung und Studien haben gezeigt, dass insbesondere Supermärkte in Deutschland an diesem Geschäftsmodell interessiert sind. Eine Vielzahl an Supermärkten verfügt über Solaranlagen auf dem Dach. Dieser Solarstrom kann für das Laden der Elektrofahrzeuge genutzt werden. Auch könnte ein lokaler Batteriespeicher mit angeschlossen wird. Hierdurch kann der Solarstrom zwischengespeichert werden, was für die Netzsteuerung/-stabilität dienlich wäre.

Das vierte Geschäftsmodell ist der Vertrieb von **Vehicle-to-Home Lösungen** als LIS-Lösung für private Haushalte. Die Metaanalyse ergab, dass der größte Anteil an voraussichtlichen Ladevorgängen im privaten Haushaltbereich stattfinden wird. Das Geschäftsmodell bietet aufgrund der Eigennutzung von selbst produziertem Solarstrom sowie der Möglichkeit zu seiner Speicherung einen Beitrag zur Entlastung von lokalen Stromnetzen. Ein hoher Eigenstromverbrauch kann mögliche Lastspitzen im lokalen Verteilnetz reduzieren.

2.1 Herstellung von Hard- und Software für Ladeeinrichtungen

Die Basis für jegliche wirtschaftlichen Potenziale und Geschäftsmodelle im Umfeld von intelligentem Laden und Netzsteuerung ist die Herstellung von Hard- und Software für Ladeeinrichtungen. Denn ohne eine hinreichende Anzahl von Lademöglichkeiten besteht keine Möglichkeit, dass alle Elektrofahrzeuge bei steigender Marktdurchdringung, durch den Anschluss an das Stromnetz (intelligent) mit Strom beladen werden können.

Diese vorgelagerte Wertschöpfungsstufe bietet die Möglichkeit von wirtschaftlichen Potenzialen durch bestehende und neue Geschäftsmodelle. Im Bereich der Hardware sind wesentliche Geschäftsmodelle die Produktion von Wallboxen und Ladesäulen. Darin oftmals enthaltene Komponenten sind sogenannte integrierte Softwarelösungen für intelligentes Lademanagement sowie Komponenten für Lastmanagement und Kopplungssysteme für das Einspeisemanagement. Letzteres ist für die Kopplung von Ladesäulen/Wallboxen mit beispielsweiser einer Solaranlage notwendig. Die Softwarebasierenden Lösungen werden (nach aktuellen Markteinschätzungen) insbesondere beim Lademanagement von mehreren Ladesäulen – sowie beim Management von mehreren Ladepunkten an einem Netzanschlusspunkt – zum Einsatz kommen. Forschungsprojekte und erste im Markt erhältliche Lösungen zielen auf interoperable Lösungsansätze ab. Das ist insbesondere notwendig, um barrierefreie Zugänge zu ermöglichen und um ein flexibles (lokales) Lastmanagement zu erreichen. Letzteres kann nur funktionieren, wenn die gezielte Ladesteuerung bei allen angeschlossenen Fahrzeugen beziehungsweise miteinander verbundenen Ladesäulen/Wallboxen auf einer interoperablen Systemlösung fußt. Je mehr Ladeeinrichtungen an einem Standort gleichzeitig Elektrofahrzeuge laden, desto eher wird die zur Verfügung stehende Ladeleistung zum Engpassfaktor.[197] Ein intelligentes Lademanagement sollte daher der statischen Drosselung, bei gleichzeitigem Laden

[197] Siehe https://www.elektroauto-news.net/2018/smartlab-entwickelt-cleveres-lademanagement-fuers-laden-mehrerer-elektroautos.

mehrerer Elektrofahrzeuge an einem Anschluss, vorgezogen werden.[198] Eine weitere Komponente ist die Verbindung von einem intelligenten Ladesystem mit einem Energiemanagement am Arbeitsplatz oder am Wohnort. Bei einer installierten Solaranlage kann beispielsweise der selbstproduzierte Strom für das Laden des Elektrofahrzeugs verwendet werden. Diese Softwarekomponente legt außerdem die Basis für sogenannte variable Stromtarife zur Ladung von Elektrofahrzeugen. Schwankungen bei Strompreisen können dahingehend bestmöglich genutzt werden.[199]

Im Bereich der Hardware eignen sich Wallboxen insbesondere für nicht öffentliche Ladepunkte, wie z.B. am Wohnort oder Arbeitsplatz. Sie können jedoch auch für die Installation in Parkhäusern oder für Kundenparkplätze im Gewerbebereich verwendet werden. Für öffentliche Ladeplätze eignen sich insbesondere Ladesäulen. In den kommenden Jahren ist zudem mit einer ansteigenden Produktion von induktiven Ladeinfrastrukturlösungen zu rechnen.

Seit Mitte 2018 bietet bereits ein deutscher Automobilhersteller ein Fahrzeugmodell mit einer induktiven Ladeinfrastrukturlösung an.[200] Diese Art der Lademöglichkeit bietet großes Potenzial, da die Fahrzeugbesitzer das Elektrofahrzeug nicht an einen Ladesäule, mithilfe eines Ladekabels, anschließen müssen. Diverse Forschungsprojekte haben ergeben, dass induktives Laden zu einem gesteigerten Interesse für die Nutzung und den Kauf von Elektrofahrzeugen führen kann. Gerade bei kurzen Ladevorgängen, beispielsweise während des Einkaufs im Supermarkt, wird ein hohes Nutzenpotenzial prognostiziert (IAF, 2011). Verbraucher sind dazu bereit, bis zu 1.000 Euro zusätzlich für die Installation von induktiver LIS auszugeben (DLR, 2015).

2.2 Vertrieb und Transport von Ladeinfrastrukturkomponenten

Die zweite Wertschöpfungsstufe beinhaltet den Vertrieb von Ladeinfrastrukturkomponenten sowie deren Transport an den Bestimmungsort. Wirtschaftlichen Potenziale wurden für diese Wertschöpfungsstufe in der ausgewerteten Literatur nicht diskutiert. Es ist dennoch anzunehmen, dass für den Vertrieb von LIS zusätzliche wirtschaftliche Potenziale entstehen können. Der Vertrieb ist notwendig, um beispielsweise auf Ladesäule-Produkte aufmerksam zu machen und diese an den Endabnehmer verkaufen zu können. Sogenannte Marketingmaßnahmen und insbesondere ein Kundenbetreuungsmanagement wurde bei LIS-Produzenten und LIS-Vertrieben (Online-Shop) auf deren Internetpräsenzen entdeckt.[201] Zudem kann davon ausgegangen werden, dass für Transportunternehmen und für Paketzustellungsdienste zusätzliche Umsatzerlöse durch den Transport von LIS entstehen können.

2.3 Installation

Nach der Zustellung der Komponenten finden die Installation, der Anschluss und die Konfiguration der Ladesäule/Wallbox als dritte Stufe der Wertschöpfung statt. Diese Wertschöpfungsstufe bietet wirtschaftliche Potenziale. Für den privaten Bereich werden für

[198] Siehe https://www.digital-energysolutions.de/lastmanagement-monitoring/.
[199] Siehe https://www.das-intelligente-haus.de/news-und-produkte/audi-vernetzt-elektroauto-mit-smarthome.
[200] Siehe https://www.springerprofessional.de/plug-in-hybrid/ladeinfrastruktur/bmw-bietet-induktives-laden-fuer-hybridfahrzeuge-an/15798982.
[201] Siehe beispielsweise https://www.keba.com/de/emobility/service-support/servicefall oder https://www.mobilityhouse.com/de_de/online-kaufberater.

die Installation, den Anschluss und die Konfiguration Montagedienstleistungen als Geschäftsmodelle angeboten. Um den Kunden die Angst vor der Montage zu nehmen, wird teilweise ein sogenannter Installationscheck angeboten. Die örtlichen Gegebenheiten sind bei jeder Installation unterschiedlich und hängen außerdem von verschiedenen Faktoren, wie beispielsweise der zu installierenden Ladeleistungen, dem aktuellen Strom-Hausanschluss, der gültigen DIN-Norm, der gegebenenfalls notwendigen Einholung einer Netzanschlussgenehmigung beim Verteilnetzbetreiber sowie den Installationsvorschriften ab.[202]

Dienstleistungsangebote rund um die Installation von Ladeeinrichtungen im öffentlichen sowie zweitweise öffentlichen Bereich bieten ebenfalls wirtschaftliche Potenziale. Energieversorgungsunternehmen bieten Installationsdienstleistungen hierzu an, teilweise sogar im Verbund mit Contracting-Lösungen.[203] Auch überregionale Servicedienstleister bieten Installationsdienstleistungen an. Im Hinblick auf die Zielstellung dieser Studie ist festzuhalten, dass gerade die Installation durch Energieversorgungsunternehmen zur Netzsteuerung und mithilfe von intelligenten Ladeansätzen zur reibungslosen Stromversorgung von Elektrofahrzeugen beitragen können. Die Energieversorger sind oftmals in engem Austausch mit regional verantwortlichen Verteilnetzbetreibern. Sie kennen die Netzgegebenheiten vor Ort und können so frühzeitig notwendige Maßnahmen einleiten, damit keinerlei Herausforderungen für das lokale Stromnetz durch Laden von Elektrofahrzeugen entstehen.

Die reinen Investitionskosten schwanken aufgrund der zu installierenden Ladeleistungen und den Gegebenheiten vor Ort stark. Schätzungsweise sind durchschnittlich 7.500 Euro an Investitionskosten notwendig, um eine öffentliche AC-Normalladesäule (11 oder 22 kW) zu installieren und in Betrieb zu nehmen (Deloitte, 2018a).

2.4 Betrieb der Ladesäule

Die vierte Stufe der Wertschöpfung beinhaltet den Betrieb der Ladesäule. Im Betrieb von Ladesäulen ist unter anderem die Belieferung mit Strom, die etwaige Steuerung des Ladevorgangs (Lastmanagement) und die Ermittlung der getankten Strommenge inbegriffen. Wobei sich bei dem Betrieb neue Marktrollen ergeben, die von einem oder mehreren Anbietern abgedeckt werden können. E-Mobility Provider (EMP) führen die Endkunden(vertrags)beziehung und bieten unter anderem den Zugang zu unterschiedlichen Ladestationsnetzwerken an. Ein EMP kann, aber muss nicht identisch sein mit einem Stromlieferanten. Daneben gibt es den Betreiber der Ladeinfrastruktur (CPO - Charge Point Operator;). Ein weiterer Marktpartner ist der Netzbetreiber (Verteilnetz- und ggf. Übertragungsnetzbetreiber). Der Netzbetreiber stellt den Anschluss der Ladeinfrastruktur and das Stromnetz sicher. Die ggf. notwendige Steuerung des Ladevorgangs ist insbesondere dem Verteilnetzbetreiber vorbehalten. Im Rahmen dieser Wertschöpfung gibt

[202] Voraussetzungen für eine sichere Installation von Ladestationen regelt die Norm "Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Stromversorgung von Elektrofahrzeugen" (DIN VDE 0100-722). Die Norm DIN VDE 0100-722 beschreibt die speziellen Anforderungen an eine Ladeeinrichtung für die Energieversorgung von Elektrofahrzeugen.

[203] In diesem Geschäftsmodell übernimmt beispielsweise der Energieversorger Installation, die Finanzierung, die Betriebsführung, die Wartung und die Abrechnung für den Auftraggeber. Der Auftraggeber der LIS entrichtet für dieses Voll-Service-Angebot ein Entgelt (sogenannten Contracting-Rate). Diese auf einem Vertrag basierende Kooperationsform wird Contracting genannt. Siehe beispielsweise https://www.eswe-versorgung.de/dienstleistung-und-beratung/geschaeftskunden/eswe-stromtank-service.html und https://iam.innogy.com/fuer-unternehmen/produkte/netzservice/netzanschluss-ladestation-econnect?gclid=EAIaIQobChMI5IXqjfqa4wIVCaQYCh0MxgomEAAYASAAEgINYfD_BwE.

es eine Vielzahl von wirtschaftlichen Potenzialen sowie neuen, zukunftsträchtigen Geschäftsmodellen.

Die Metaanalyse identifizierte den Betrieb von Ladesäulen als ein aussichtsreiches Geschäftsmodell wird. Eine Studie von Aurora Energy Research hat die Perspektiven von gewerblichen und industriellen Ladeeinrichtungen bis 2040 untersucht (Aurora, 2018). Im Zentrum der Untersuchung standen insbesondere die Geschäftsmodelle für den Betrieb von Ladesäulen auf Gewerbeflächen und in Industriegebieten, am Arbeitsplatz, auf öffentlichen Parkplätzen (insbesondere im Einzelhandel) sowie an Autobahnraststätten. Laut Analyse sind in allen Fällen positive Renditen ab 2030 und bis spätestens 2040 möglich, wenn die Nutzer für den von ihnen verbrauchten Strom bezahlen und die Betreiber je nach Konzept eine Marge von fünf bis elf Cent pro kWh erreichen. Die Studie geht von einer hohen Nachfrage für Lademöglichkeiten auf Gewerbeflächen und Industriegebieten aus. Ein wesentlicher Grund hierfür ist die Prämisse der Studie, dass nur etwa 60% der privaten Haushalte in Deutschland über Parkmöglichkeiten verfügen, welche mit einer Ladeeinrichtung ausstattbar ist. Insgesamt könne die Ladenachfrage in Gewerbe- und Industriegebieten im Jahr 2040 rund 13 bis 17 Terawattstunden erreichen. Diese Nachfrage kann von zwei bis vier Mio. Ladestationen mit einem Investitionsvolumen von drei bis acht Mrd. Euro abgedeckt werden (Aurora, 2018).

Die Technische Universität Berlin hat Geschäftsmodelle für den öffentlichen Betrieb von Ladesäulen analysiert. Es wurden unter anderem der Betrieb für Schnellladesäulen (DC mit 50 kW) betrachtet. Bei einer Nutzungsdauer von 10 Jahren und zwei Ladevorgängen am Tag (in etwa 7.300 Ladevorgänge in 10 Jahren) ist dieses Geschäftsmodell bereits heute rentabel. Das Geschäftsmodell, Elektrofahrzeuge an der Tankstelle zu laden, ist aus Sicht der Studie aktuell noch nicht rentabel. Hierfür fehlt eine kritische Masse an Elektrofahrzeugen. Es können weniger Fahrzeuge mit Strom als mit Benzin oder Diesel an einer Tankstelle versorgt werden. Aktuell benötigt das Tanken von Benzin ca. 5 Minuten. Pro Zapfsäule werden bundesweit durchschnittlich bis zu 12 Fahrzeuge in der Stunde mit Benzin oder Diesel betankt. Im besten Falle können in 60 Minuten bis zu zwei Fahrzeuge mit Strom versorgt werden. Dadurch ist eine höhere Anzahl an Ladepunkten notwendig als derzeit an Zapfsäulen in einer konventionellen Tankstelle vorhanden sind (TU Berlin, 2018).

Die in den Studien belegten Potenziale korrelieren mit aktuellen Marktentwicklungen. Die Metaanalyse hat bereits erste Betreiber von Ladesäulen identifiziert. Insbesondere der Einzelhandel, OEMs, Start-ups und Mineralölkonzerne haben das Geschäftsmodell frühzeitig für sich entdeckt. Häufig kooperieren Unternehmen anderer Branchen mit Energieversorgern, um sich die Investitionen zu teilen.

Die Baumarktkette Hornbach baut beispielsweise mit dem Energieversorger Pfalzwerke bundesweit Ladesäulen an seinen Baumärkten aus. Der direkte Wettberber Hagebau kooperiert gemeinsam mit der Energie Baden-Württemberg AG (EnBW), um Ladesäulen an seinen Baumärkten zu installieren. Während in der Regel Ladepunkte mit maximal 22 kW auf Parkmöglichkeiten angeboten werden, errichtet der Supermarkt-Discounter Aldi Süd insgesamt 28 Schnellladesäulen mit unmittelbarer Anbindung an das deutsche Autobahnnetz. Ziel von Aldi Süd ist es, zusätzliche Verkaufsumsätze in den Filialen, durch Elektrofahrzeugbesitzer zu generieren.[204] Der Supermarkt-Discounter Lidl hat Anfang 2019 angekündigt, dass er ebenfalls Ladesäulen auf seinen Filialparkplätzen errichten wird. Bis

[204] Siehe https://www.handelsblatt.com/unternehmen/handel-konsumgueter/elektromobilitaet-aldi-lidl-und-rewe-wollen-zu-elektronischen-nahversorgern-werden/24467914.html?ticket=ST-2102921-VWAr5V9pdgcTj5ReHPOj-ap5.

Ende 2020 sollen rund 400 Lidl-Filialen mit Ladesäulen ausgestattet werden.[205] Der Handel verfügt bundesweit über rund 1,9 Mio. Stellplätze auf Parkflächen und könnte für den schnellen Zubau von zusätzlicher und dadurch flächendeckend verfügbaren Lademöglichkeiten eine Schlüsselfunktion einnehmen.[206]

Das Mannheimer Energieversorgungsunternehmen MVV Energie AG ist eine Partnerschaft mit dem größten Anbieter von Ladesäulen, dem Start-up ChargePoint, eingegangen.[207] Shell hat ebenfalls damit begonnen, Schnellladesäulen an seinen Tankstellen zu installieren. Gemeinsam mit der EnBW werden 50 Hochleistungssäulen mit insgesamt 100 Ladepunkten errichtet. Hierfür werden sogenannte Hochgeschwindigkeitsladesäulen ("High Power Charger") mit Ladeleistungen von 150 kW und mehr installiert.[208] Das österreichische Öl- und Gastunternehmen OMV wird ebenfalls mit der EnBW bis Ende 2019 rund 100 OMV-Tankstellen im Süddeutschland mit Hochgeschwindigkeitsladesäulen mit identischen Ladeleistungen ausstatten.[209]

Eine wesentliche Komponente im Geschäftsmodell Betrieb von Ladesäulen ist die Bereitstellung von Ladestrom an der Ladesäule. Die Metaanalyse ergab, dass bei der Bereitstellung von Strom in der Regel zwischen zwei Optionen unterschieden wird. Zum einen kann die Abrechnung über die tatsächlich geladene Strommenge erfolgen und zum anderen wird die Abrechnung auf Basis der Standzeit vorgenommen. Bei der Abrechnung der geladenen Strommenge wir dem Kunden die tatsächlich abgegebene Strommenge (kWh) in Rechnung gestellt. Diese Abrechnungsart wird bislang nur von wenigen Anbietern angeboten, da sie eine eichrechtskonforme Zählereinrichtung erfordert. Bei der Abrechnung auf Zeit bezahlt der Kunde nicht für die geladene Strommenge, sondern für die Zeit, in der sein Elektrofahrzeug an der Ladesäule und dem hinzugehörenden Parkplatz abgestellt ist (BuW, 2017a).

Eine weitere Komponente im Geschäftsmodel Betrieb von Ladesäulen ist das Lastmanagement. Die Metaanalyse hat potenzielle Geschäftsmodelle hierzu entdeckt. Das Start-up Jolt Energy verfolgt den Ansatz, dass Ladesäulen zentral beladen und flexibel ohne Anschluss an das Stromnetz dezentral aufgestellt werden. Die Ladesäule fungiert aufgrund des fehlenden Netzanschlusses am Ladeort wie eine Art "Powerbank".[210] Die Ladesäulen werden innerhalb von Gewerbegebieten in sogenannten "Energy-Center" mit einem direkten Netzzugang zum 20kV-Mittelspannungsnetz aufgeladen, wenn ausreichend Strom zur Verfügung steht (z.B. zwischen 0 und 6 Uhr). Ein solches Energy-Center kann auch Stromspitzen im Netz abfangen und als Pufferspeicher fungieren. Das bedeutet, dass das Energy-Center den gespeicherten Strom nicht nur an Elektrofahrzeuge, sondern auch an das Stromnetz zurückgeben kann. Dadurch ist der Ansatz für die Netzsteuerung/-stabilität dienlich und kann Maßnahmen zur Netzverstärkung/-ausbau reduzieren.

Das Start-up ChargeX hat eine Lösung entwickelt, um Ladesäulen effizienter zu nutzen. Mithilfe der Lösung ist es möglich, dass an einer Ladesäule mehrere Elektrofahrzeuge

---

[205] Siehe https://unternehmen.lidl.de/pressreleases/190311_e-ladesaeulen.
[206] Siehe https://www.handelsblatt.com/unternehmen/handel-konsumgueter/elektromobilitaet-aldi-lidl-und-rewe-wollen-zu-elektronischen-nahversorgern-werden/24467914.html?ticket=ST-2102921-VWAr5V9pdgcTj5ReHPOj-ap5.
[207] Siehe https://www.energate-messenger.de/news/192775/chargepoint-und-mvv-werden-partner.
[208] Siehe https://www.shell.de/medien/shell-presseinformationen/2019/shell-starts-building-fast-charging-stations-at-its-filling-stations.html.
[209] Siehe https://www.enbw.com/unternehmen/presse/pressemitteilungen/presse-detailseite_185920.html.
[210] Siehe https://www.elektroauto-news.net/2018/muenchner-start-up-jolt-energy-schnellladesaeulen-milkrun-konzept) und http://www.jolt.energy/mobility-services/.

gleichzeitig und intelligent laden. Dadurch kann die Auslastung pro Ladesäule deutlich erhöht werden. Die Innovation funktioniert wie eine Mehrfachsteckdose. Eine 22 kW-Wallbox kann hierdurch z.B. auf sechs Ladepunkte erweitert werden. Mithilfe des Lastmanagements wird dabei die Anschlussleistung von 22 kW stets eingehalten. Ein intelligenter Ladealgorithmus berechnet für alle ladenden Elektrofahrzeuge auf Basis des vorher angegebenen Mobilitätsverhaltens sowie weiterer optionaler Angaben per Smartphone-App die optimale Ladestrategie.[211]

Die dargelegten Marktentwicklungen zeigen, dass sich das Geschäftsmodell Betrieb von Ladesäulen zunehmend im Markt etabliert. Bisher fehle es laut einer Studie von Statista und Lichtblick SE oftmals noch an direktem Wettbewerb und es besteht in manchen Regionen eine Monopolstellung für Ladesäulenbetreiber (Lichtblick, 2018). Doch der für die kommenden Jahre prognostizierte Bedarf an zusätzlicher Lademöglichkeit bietet große wirtschaftliche Potenziale, sodass der Betrieb von Ladesäulen zu einem umkämpften Geschäftsmodell werden könnte.

2.5 Wartung und Reparatur der Ladeinfrastruktur

Die fünfte Wertschöpfungsstufe beinhaltet Dienstleistungen im Rahmen von Wartung und Reparatur der Ladeinfrastruktur sowie die Installation von Updates bei Software-Komponenten. Aufgrund von notwendigen Wartungsintervallen und etwaigen Reparaturen ist anzunehmen, dass in dieser Wertschöpfungsstufe Geschäftsmodelle vorhanden sind. Die Metaanalyse ergab, dass die meisten LIS-Betreiber und Dienstleiter Wartung und Reparatur selbst übernehmen oder diese als Dienstleistung für Dritte anbieten. Es gibt hierfür auch spezialisierte Nischenanbieter, die sich frühzeitig im Markt auf Wartung und Reparatur spezialisiert haben.[212] Wartung sowie Reparatur werden auch gemeinsam mit der Installation, der Finanzierung, und der Abrechnung für Ladeeinrichtungen in Form von Contracting-Lösungen angeboten (vgl. hierzu dritte Wertschöpfungsstufe Installation). Software-Updates werden in der Regel vom Softwareanbieter selbst durchgeführt. Das bedeutet, dass sobald Updates zur Verfügung stehen, diese auch direkt auf die LIS aufgespielt werden.[213]

2.6 Mehrwertdienstleistungen

Die sechste Wertschöpfungsstufe beinhaltet sämtliche Mehrwertdienstleistungen. Dabei handelt es sich um Dienstleistungen, welche ein bestehendes Basisprodukt – in diesem Fall die LIS – anreichern bzw. auf diesem aufsetzen.

Im Rahmen dieser Studie wird ein Fokus auf zwei Themenspektren gelegt. Das erste Themenspektrum betrachtet Mehrwertdienstleistungen, die für die schnelle Marktdurchdringung mit Elektrofahrzeugen dienlich sein können. Dazu zählen vereinheitlichte Zahlungssysteme und sogenannte "eRoaming-Plattformen" (eRoaming). eRoaming bietet für Elektrofahrzeugbesitzer die Möglichkeit, an Ladesäulen Strom zu beziehen – unabhängig davon, mit welchem Ladesäulenbetreiber sie einen Vertrag geschlossen haben. Die Abrechnung erfolgt im Nachgang über den eigenen Vertragspartner. Das zweite Themenspektrum sind Mehrwertdienstleistungen, die für das

211 Siehe https://chargex.de/laden/.
212 Siehe https://emobitec.de/index.php?id=23.
213 Siehe https://www.chargeupyourday.de/nc/service/faq/lastmanagement/neue-funktionen-des-mennekes-lastmanagement/.

intelligente Laden und die Netzsteuerung (Stromglättung bzw. Speicherung) dienlich sind beziehungsweise eine Basis schaffen, um diese zu ermöglichen.

Generell bietet die Wertschöpfungsstufe der Mehrwertdienstleistungen viele neue Ansätze für mögliche Geschäftsmodelle.

2.6.1 Zahlungssysteme und -lösungen sowie eRoaming

Gemäß den Vorgaben der Europäischen Union ist beim Aufbau von Ladeieinrichtungen zu gewährleisten, dass jeder Elektrofahrzeugbesitzer diese ad-hoc nutzen kann, ohne vorab einen Vertrag mit dem Betreiber geschlossen haben zu müssen (MLR, 2018). Hierzu gibt es Geschäftsmodelle, die darauf abzielen, die Bezahlung für Ladestrom an der Ladesäule zu vereinheitlichen.

Ein Beispiel ist das Angebot des Online-Bezahldienstes Paypal, welches einen auf der LIS aufgebrachten (für jeden Ladepunkt einzigartigen) QR-Code als Ladezugang nutzt.[214] Das Geschäftsmodell nutzt die sogenannte Nahfeldkommunikation (NFC - Near Field Communication). Diese Technik ermöglicht es, die für die Zahlungstransaktion benötigten Daten per Smartphone zu übertragen. Häufig kann an der Ladesäule auch mit der Kreditkarte bezahlt werden. Neue Karten sind zunehmend mit NFC ausgestattet, wodurch an der Ladeeinrichtung kein extra Kreditkartenlesegerät verbaut werden muss.

Für Ladesäulen im zweitweise/semiöffentlichen Bereich – beispielsweise in Parkhäusern – ist der Zugang und die Abrechnung über das zur Ein-/Ausfahrt notwendige Parkticket eine mögliche Zahlungslösung. Eine weitere Option ist die Erweiterung des Ticket-Systems des ÖPNV. Hierbei werden ÖPNV-Ticketautomaten genutzt, um Ladetickets zu verkaufen, die zur Nutzung der Ladesäule berechtigen (BuW, 2017a).

Nicht nur Zahlungssysteme und -lösungen sondern auch eRoaming bieten wirtschaftliche Potenziale. Die Anmeldung an Ladesäulen sowie die Abrechnung des Ladevorgangs funktionieren hierbei automatisch. Der Zugang wird beispielsweise über eine Ladekarte realisiert und die Autorisierung und Abrechnung erfolgt über das eRoaming. Das Geschäftsmodell besteht darin, über eine Nutzungs- oder Transaktionsgebühr die Plattform zu betreiben und zu finanzieren. Um tragfähig zu sein, benötigt dieses Geschäftsmodell allerdings eine hohe Anzahl von Nutzern oder eine hohe Zahlungsbereitschaft. Betreiber von Ladesäulen haben die Chance, durch die Anbindung an eRoaming ihre Ladesäulen besser auszulasten. eRoaming wird in Deutschland insbesondere über zwei große eRoaming-Plattformen genutzt: intercharge (betrieben von Hubject) und ladenetz.de/e-clearing.net (betrieben von smartlab). Beide Plattformen bieten Zugang zu den bei ihnen angebundenen Ladesäulen (BuW, 2017a). Zudem sind dies die beiden größten Anbieter im Markt, jedoch gibt es weitere Anbieter, wie z.B. PlugSurfing oder Newmotion.

Hubject ist ein Joint Venture von BMW, Bosch, Daimler, EnBW, Innogy, Siemens und Volkswagen. Das Joint Venture betreibt mit seinem Produkt intercharge eine branchenübergreifende Business- und IT-Plattform zur Vernetzung von Ladesäulen.[215]

ladenetz.de ist eine Kooperation von rund 190 Stadtwerken. Gemeinsam stellen diese deutschlandweit rund 3.000 Ladepunkte zur Verfügung.[216] Über eine Ladekarte können die

[214] Sogenannte "Quick-response" Codes sind Codes die auf einem Sticker angebracht sind und die mithilfe von Smartphones oder Tablets gescannt werden können.
[215] Siehe https://www.hubject.com/ueber-uns/eroaming/.
[216] Siehe https://www.ladenetz.de/leistungen.

Kunden an allen teilnehmenden Ladestationen laden (MLR, 2018). Im Rahmen der Rückvergütung (Ausschüttungen) konnten 2018 rund 500.000 Euro an damals 160 Ladesäulen-Betreiber (Netzwerkunternehmen) ausgeschüttet werden. Hierunter fallen Erträge, die durch die Ad-hoc Bezahlung von Kunden aus dem Netzwerk der Ladeeinrichtungsbetreiber sowie durch Kunden von Dritten generiert wurden. Damit übertreffen die Rückvergütungen häufig die Mitgliedsbeiträge der Stadtwerke für ladenetz.de[217].

Ladeinfrastrukturbetreiber, an denen Elektrofahrzeugbesitzer laden, und der Vertragspartner eines Ladestromvertrags sind im Falle von beispielsweise eRoaming nicht identisch. Dennoch sollte der Ladevorgang ordnungsgemäß und diskriminierungsfrei abgerechnet werden können. Hierzu identifiziert sich der Elektrofahrzeugbesitzer an der Ladesäule mithilfe von beispielsweise einer App oder Ladekarte gegenüber dem CPO (Ladesäulenbetreiber). Der CPO übermittelt den Stromladevorgang über den Charge Data Record (CDR) an die Clearing-Stelle. Die Clearing-Stelle hat die Funktion, dass sie Daten (auch mithilfe von CDR) an den EMP transferiert. Auf dieser Basis kann der EMP den Ladevorgang mit dem Elektrofahrzeugbesitzer abrechnen.

2.6.2 Dienstleistungen für das intelligente Laden und die Netzsteuerung

Weitere Mehrwertdienstleistungen mit wirtschaftlichen Potenzialen gibt es im Bereich des intelligenten (gesteuerten) Last- und Lademanagements für Elektrofahrzeuge.

Das abgeschlossene Forschungsprojekt ePlanB der Lechwerke AG und der Forschungsstelle für Energiewirtschaft hat aufgezeigt, wie gesteuertes Laden für die zunehmende Marktdurchdringung von Elektromobilität dienlich sein kann. Im Rahmen des Projekts wurden 14 Elektrofahrzeuge verschiedener Hersteller an insgesamt 56 Teilnehmer verliehen.[218] Diese pendelten für jeweils sechs Monate damit zu einem Park-and-Ride-Parkplatz am Bahnhof in Buchloe (Ostallgäu). Im Forschungsprojekt ist es gelungen, regional erzeugten Strom bestmöglich und direkt vor Ort für das Laden von Elektrofahrzeugen zu nutzen. Durch das entwickelte intelligente Lademanagement konnte durch gesteuertes Laden der Anteil des regenerativ erzeugten Stroms um über 40% gegenüber der ungesteuerten Referenzphase erhöht werden. Hierzu wurden die Elektrofahrzeuge nicht direkt nach dem Verbinden mit der Ladesäule, sondern gezielt zu Zeiten mit hoher Erzeugung aus Solaranlagen geladen. Dadurch konnten auch Leistungsspitzen im Stromnetz, die durch das zeitgleiche Laden von Elektrofahrzeugen verursacht werden können, vermieden werden. Beim gesteuerten Laden gaben die Pendler über ein Online-Portal oder ein zentrales Eingabeterminal bei der Ankunft am Parkplatz Daten zum Ladezustand der Batterie und dem geplanten Abfahrtszeitpunkt ein. Die intelligente Ladesteuerung erstellte für jedes Fahrzeug einen Ladeplan, sobald das Fahrzeug an die Ladesäule angeschlossen wurde (Lechwerke und Forschungsstelle für Energiewirtschaft, 2017).

Zentrales backend-seitiges Lastmanagement zur Steuerung von Ladesystemen

Bosch hat im Mai 2019 einen Prototyp einer intelligenten Ladesäule für intelligentes Lademanagement vorgestellt. Gemeinsam mit dem Energieversorger EnBW soll der Ladeprozess damit deutlich vereinfacht werden. Auf Basis einer Software-Plattform sollen

[217] Siehe https://www.ladenetz.de/leistungen/ladenetz-de-business-verbund.
[218] Die Fahrleistung pro Fahrzeug und Teilnehmer lag im Durchschnitt bei rund 14.500 Kilometern. Somit beträgt die Gesamtfahrleistung der Fahrzeuge seit Beginn des Feldtests rund 400.000 Kilometern.

dem Nutzer dabei in Echtzeit verschiedene Preismodelle angeboten werden. Zudem lässt sich je nach Verfügbarkeit Strom aus erneuerbaren Energiequellen wählen. Der Bezahlvorgang soll vollautomatisch ablaufen. Das kostenpflichtige Parken soll künftig ebenfalls intelligent und automatisch mithilfe der intelligenten Ladelösung ablaufen. In einem Projekt erproben Bosch und Siemens ein Managementsystem, bei dem die Fahrzeuge direkt mit umliegenden Parkplätzen kommunizieren.[219]

Die Digital Energy Solution bietet spezielle intelligente Ladelösungen für Firmen- und Gewerbekunden an. Ein dynamisches Lademanagement kann implementiert werden, wenn die Ladeeinrichtungen beispielsweise an den Netzanschluss eines Firmengebäudes oder einer Produktionsanlage gekoppelt werden. Dadurch können potenziell höhere Ladeleistungen über den Netzanschlusspunkt auch für Ladepunkte genutzt werden. Das Lastmanagement ermittelt die maximale Ladeleistung dynamisch und stellt diese an den Ladepunkten zur Verfügung. Sinkt der Stromverbrauch im Gebäude oder der Produktion, wird die Maximalleistung für alle verknüpften Ladepunkte hochgesetzt. Das soll eine effiziente Nutzung von allen Energieressourcen sichern.

Vehicle-to-Grid und Vehicle-to-Home

Auch Stromspeicherlösungen und deren intelligente Vernetzung bieten ein breites Spektrum an Mehrwertdienstleistungen. Elektrofahrzeuge haben theoretisch ein hohes Potenzial, um als Stromspeicher im Stromnetz zu fungieren. Die Standzeit kann genutzt werden, indem das Elektrofahrzeug als temporärer Stromspeicher (Batteriespeicher) zur Verfügung steht. Der in der Fahrzeugbatterie gespeicherte Strom kann beispielsweise zu Zeiten mit erhöhtem Energiebedarf wieder ans Stromnetz zurückgegeben werden. Diese Lösung wird als „Vehicle-to-Grid“ Lösung bezeichnet. Ein weiterer Ansatz ist, dass der in Elektrofahrzeugen gespeicherter Strom für die Eigenverbrauchsoptimierung im privaten Haushaltsbereich genutzt wird. Das ist die sogenannte "Vehicle-to-Home" Lösung. Hierzu kann beispielsweise zusätzlicher Strom, welcher aus einer Solaranlagen (auf dem Dach des privaten Haushalts) im Elektrofahrzeug zwischengespeichert werden. Der eigens und zusätzlich erzeugte Solarstrom kann dann je nach Bedarf für die Nutzung von Haushaltsgeräten genutzt werden, indem er über das Energiesystem des Eigenheims zurückgespeist wird. Dadurch wird der Eigenverbrauch optimiert. Beide Lösungen bieten ein mögliches wirtschaftliches Potenzial, um Anschaffungs- und Haltungskosten für Elektrofahrzeuge zu senken. Zusätzlich ermöglichen beide Lösungen, die erzeugte Elektrizität aus erneuerbaren Energien kostengünstig und netzdienlich einzusetzen. Die Einspeisung kann auch genutzt werden, um Lastspitzen zu glätten.[220]

Beide Konzepte setzen voraus, dass die Ladeeinrichtung den Strom bidirektional steuern kann. Das bedeutet, dass Elektrofahrzeuge nicht nur Strom aus dem Netz oder von der eigenen Solaranlage aufnehmen, sondern diesen auch in das Stromnetz einspeisen können.[221]

Eine Beispielrechnung der Begleit- und Wirkungsforschung im Rahmen des *Schaufenster Elektromobilität* verdeutlicht das Potenzial von Vehicle-to-Grid. Es wurde unterstellt, dass

[219] Siehe https://www.heise.de/newsticker/meldung/Elektroautos-Bosch-zeigt-intelligente-Ladesaeule-4422593.html.
[220] Siehe https://www.mobilityhouse.com/de_de/magazin/pressemeldungen/kooperation-zur-stabilisierung-des-stromnetzes.html.
[221] Siehe https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/oekostrom/sektorkopplung/vehicle-to-home-vehicle-to-grid.html.

5% aller Fahrzeuge (500.000) in den neuen Bundesländern Elektrofahrzeuge sind, die jeweils mit einer 20 kW-Batterie ausgestattet sind. Die Hälfte der Elektrofahrzeuge ist gleichzeitig – während der Arbeitszeit oder über die Nacht – an das Stromnetz angeschlossen. Falls der Netzbetreiber Bedarf anmeldet, können die Elektrofahrzeuge mit Leistung von beispielsweise 20 kW geladen oder entladen werden. Dadurch stünde dem Netzbetreiber für die Dauer von 30-60 Minuten eine positive oder negative Regelleistung von insgesamt vier bis fünf Gigawatt als Puffer zu Verfügung. Damit könnten plötzlich auftretende Netzschwankungen ausgeglichen werden. Damit Elektrofahrzeuge als bidirektionale Pufferspeicher fungieren können, muss die Leitstelle des zuständigen Netzbetreibers mit den involvierten Elektrofahrzeugen in Verbindung stehen und die Voreinstellungen des Elektrofahrzeugs berücksichtigen (BuW, 2015a).

In einem Vehicle-to-Grid Pilotprojekt von The Mobility House, Nissan, dem Energieversorger ENERVIE sowie dem Übertragungsnetzbetreiber Amprion, ist es gelungen, erstmals ein Elektrofahrzeug gemäß allen regulatorischen Anforderungen eines Übertragungsnetzbetreibers für die Primärregelleistung zu qualifizieren. Dadurch kann das Elektrofahrzeug als Regelkraftwerk in das deutsche Stromnetz integriert werden. Bisher ist auf dem deutschen Markt der Nissan Leaf das einzige Modell auf dem Markt, dass bidirektional geladen werden kann.

Das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) kommt im Rahmen einer Studie zu dem Ergebnis, dass Vehicle-to-Grid jedoch nur dann ein tragfähiges Geschäftsmodell werden kann, wenn (1) sich für Elektrofahrzeuge die TCOs nennenswert senken und (2) der Energielieferant einen wirtschaftlichen Vorteil durch Vehicle-to-Grid generieren kann. Es sei außerdem wichtig, noch offene Fragen bezüglich der Haftung im Falle einer Batterieschädigung zu klären. So müssten aus Sicht der Automobilhersteller Energiehändler, welche die im Fahrzeug gespeicherte Energie verkaufen, in die Haftung für die Batterie eingebunden werden. Darüber hinaus kann es zu Problemen kommen, da unter Berücksichtigung von Verteilnetzrestriktionen bezüglich der gleichzeitigen Be- und Entladevorgänge die realisierbare gleichzeitige Rückspeiseleistung meistens deutlich geringer als die maximal mögliche Rückspeiseleistung ist. Wenn beispielsweise gerade sehr viele Elektrofahrzeuge am Niederspannungsnetz einspeisen, dann kann dies zu Überlastungen im Verteilnetz führen. Mit diesem Problem hängen auch die gegenläufigen Interessen der Akteure zusammen. Insbesondere Verteilnetzbetreiber und Energielieferanten sehen Vehicle-to-Grid unter anderen Gesichtspunkten und mit sich teilweise widersprechenden Zielen (Fraunhofer IWES, 2014).

Einzelwirtschaftlich, also ohne Berücksichtigung der Nebeneffekte, ist das Geschäftsmodell Vehicle-to-Grid jedoch ceteris paribus auf absehbare Zeit kaum interessant. Aufgrund der positiven gesamtgesellschaftlichen Implikationen (z.B. Senkung der Durchschnittsstrompreise) könnte es jedoch sinnvoll sein, dieses Geschäftsmodell weiterhin zu fördern (Fraunhofer IWES, 2014).

Die Einsparpotenziale für den privaten Haushalt und die Annahme, dass die meisten Ladevorgänge für Elektrofahrzeuge zukünftig im Heimbereich stattfinden sollen, bieten eine mögliche Basis für potenziell erfolgreiche Geschäftsmodelle im Umfeld von Vehicle-to-Home Lösungen (Universität Duisburg Essen, 2015; Fraunhofer IWES, 2014).

Im Rahmen der Studie des Fraunhofer IWES werden auch Vehicle-to-Home Lösung betrachtet. Hier liegt der Fokus auf privaten Haushalten und die mögliche Optimierung des Eigenstromverbrauchs mittels Elektrofahrzeugen. Mithilfe des erzeugten Stroms aus einer Solaranlage mit einer Leistung von 5 kW können bis zu 50% des jährlichen

Stromladebedarfs für das Elektrofahrzeug gedeckt werden. Für 2030 seien Einsparpotenziale bis zu einer Höhe von 242 Euro pro Jahr möglich. Die jährlichen Investitions- und Wartungskosten für die Steuereinheit (Smart Home Box) betragen ca. 30-40 Euro, was die Eigenverbrauchsoptimierung für Haushalte somit wirtschaftlich sinnvoll gestaltet. Bezüglich des Netzes ergeben sich durch die Eigenverbrauchsoptimierung mögliche Entlastungseffekte. Einerseits wird die zusätzliche Netzlast durch mögliche Ladevorgänge vermindert. Andererseits wird der Anteil des durch die Solaranlage erzeugten Stroms erhöht, der lokal genutzt und demnach nicht in das Netz eingespeist werden muss. Im Vergleich zu einem Szenario ohne Eigenverbrauchsoptimierung kann von einer geringeren Netzbelastung ausgegangen werden (Fraunhofer IWES, 2014).

Vehicle-to-Home Lösung bieten für OEMs zusätzliche Umsatzpotenziale. Beispielsweise hat Mitsubishi eine Vehicle-to-Home Lösung entwickelt. Diese besteht aus einer Solaranlage, einer bidirektionalen Wallbox, einer Steuereinheit (Energiemanagementsystem), Wechselstromwandlern und einem Batteriespeicher. Das Fahrzeug kann so mit eigenproduziertem, regenerativ erzeugtem Strom aufgeladen werden. Es soll darüber hinaus möglich sein, den gesamten Strombedarf eines Einfamilienhauses für einen Tag abzudecken.[222,223] Auch deutsche OEMs haben bereits eine Vehicle-to-Home Lösung entwickelt. Audi und SMA bieten ein System an, das eine Bedieneinheit, eine Wallbox und Heimenergie-Managementsystem umfasst. Das Fahrzeug kann mit der maximal verfügbaren Leistung laden und dabei den Bedarf der anderen Verbraucher im Haushalt berücksichtigen, um eine Überlastung des Anschlusses zu vermeiden. Zudem hat der Kunde die Möglichkeit, individuelle Prioritäten festzulegen, etwa das Laden zu kostengünstigen Zeiten. Verfügt sein Haus über eine Solaranlage, kann das Auto bevorzugt den eigenerzeugten Strom nutzen, wobei es auch prognostizierte Sonnenscheinphasen einbezieht (Audi, 2018).

3. Potenzialanalyse von Geschäftsmodellen durch Elektromobilität im Strommarkt

Das nachfolgende Kapitel gibt zunächst einen Überblick über den Ausbau der LIS bis 2030. Im Anschluss werden insgesamt vier unterschiedliche Geschäftsmodelle vorgestellt, die sich fördernd auf den Ausbau der LIS auswirken können.

Signifikante Beschäftigungspotenziale sind lediglich durch den Aufbau und die Instandhaltung der Ladeinfrastruktur für Elektromobilität zu erwarten. Die anderen drei Geschäftsmodelle (eRoaming, Parkflächennutzung und Vehicle-to-Home Lösungen) dagegen haben lediglich marginale Beschäftigungspotenziale. Deren Vorteil begründet sich hauptsächlich durch ihren Beitrag zu einer flächendeckenden und intelligenten LIS sowie zur Netzstabilität und der Speicherung von Strom.

[222] Siehe https://www.heise.de/newsticker/meldung/Bidirektionale-Ladesaeule-Wenn-das-E-Auto-Strom-fuer-die-Waschmaschine-liefert-4316555.html.
[223] Siehe https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/alternative-antriebe/dendo-drive-house-bidirektionales-laden-mitsubishi/.

„Das Wichtigste in Kürze“: Potenzialanalyse von Geschäftsmodellen durch Elektromobilität im Strommarkt

Das **erste Geschäftsmodell** ist der **flächendeckende Aufbau und die Instandhaltung der Ladeinfrastruktur** für Elektromobilität. Um den Konsumenten Reichweitenängste zu nehmen und Kaufanreize zu schaffen, müssen laut NPE deutschlandweit bis spätestens 2025 70.000 Normallade- und 7.100 Schnelladepunkte im öffentlichen Bereich bereitgestellt werden. Für die Jahre von 2026 bis 2030 wird unterstellt, dass die Ladeinfrastruktur der Normalladestationen gleichmäßig zur Marktentwicklung der Elektromobilität erfolgt. Für das private Laden ist laut Einschätzung der NPE ein Verhältnis von 1,125 Ladepunkte je Elektrofahrzeug sinnvoll.

Entlang der vier in dieser Studie betrachteten Szenarien ergeben sich durch den Bau und den Unterhalt von Ladesäulen im öffentlichen Bereich bis 2030 lediglich zwischen 3.500 und 4.000 neu geschaffene Arbeitsplätze. Im Vergleich dazu sind die Arbeitsplatzeffekte im privaten Ladebereich deutlich substanzieller, wo bis 2030 bis zu 140.000 neue Arbeitsplätze entstehen könnten.

Das **zweite Geschäftsmodell**, der **Betrieb von eRoaming-Plattformen** bietet für Besitzer von Elektrofahrzeugen die Möglichkeit, an Ladesäulen Strom zu beziehen – unabhängig davon, mit welchem Ladesäulenbetreiber sie einen Vertrag geschlossen haben. Aktuell gibt es bereits mehrere eRoaming-Plattformen im Markt. Der Vorteil des Geschäftsmodells liegt vor allem in seinem Nutzen für die Ladeinfrastruktur als Ganzes. Durch die Loslösung des vertragsgebundenen Zugangs zu Ladesäulen werden Hürden für die Nutzung der Elektromobilität abgebaut. Dies wiederum erhöht die Kundenakzeptanz und wirkt sich letztlich beschleunigend auf die Elektrifizierung des Verkehrs aus.

Das **dritte Geschäftsmodell** ist der **intelligente und flächendeckende Betrieb von Ladesäulen im Einzelhandel**. Mittel- bis langfristig ist davon auszugehen, dass der Einzelhandel einen wichtigen Beitrag zur flächendeckenden Ladeinfrastruktur sowie durch Integration von Speicherlösungen auch zur Netzstabilität und der Speicherung von Strom leisten wird. Betrachtet man die Gesamtzahl der Parkflächen des Einzelhandels, eröffnet sich insbesondere in Städten ein enormes Potenzial für die Schaffung einer Ladeinfrastruktur, die auch dem Problem der Nachrüstung in Mehrfamilienhäusern entgegenwirken könnte.

Das **vierte Geschäftsmodell** ist der **Vertrieb von „Vehicle-to-Home“-Lösungen**. Das Geschäftsmodell bietet einen Beitrag zur Entlastung von lokalen Stromnetzen. Aktuell sind zwei Anbieter mit derartigen Lösungen im Markt vertreten. Es besteht zwar ein hinreichendes Umsatzpotenzial für den Vertrieb von Vehicle-to-Home Lösungen. Jedoch sind für den Vertrieb von Vehicle-to-Home-Lösungen im Baugewerbe (WZ-F) nur geringe Beschäftigungseffekte zu erwarten.

3.1 Annahmen zum Ausbau der Ladeinfrastruktur und zu deren Integration ins Stromnetz

Um Reichweitenängste zu nehmen und Kaufanreize für den Konsumenten zu schaffen, müssen laut NPE deutschlandweit bis spätestens 2025 70.000 Normallade- und 7.100

Schnellladepunkte im öffentlichen Bereich errichtet werden (NPE, 2015). Der Aufbau des Schnellladenetzes soll die flächendeckende Versorgung an Autobahnen sicherstellen.

Der weit überwiegende Teil der Ladevorgänge wird künftig jedoch im privaten Bereich stattfinden. Für das private Laden ist laut Einschätzung der NPE[224] ein Verhältnis von 1,125 Ladepunkte je Elektrofahrzeug sinnvoll und wird dahingehend auch als Annahme angesetzt (NPE, 2018).[225]

Wir führen den Ausbau der LIS von heute bis 2025 mit konstanter Wachstumsrate fort. Für die Jahre von 2026 bis 2030 gehen wir davon aus, dass die LIS der Normalladestationen gleichmäßig zur Marktentwicklung der Elektromobilität erfolgt. Das Verhältnis an Elektroautos zu Ladepunkten bleibt somit ab 2025 bis zum Jahr 2030 konstant.

Für eine Normalladesäule betragen die Kosten zur Installation und Inbetriebnahme (CAPEX) aktuell etwa 7.500 Euro. Die Errichtung einer Schnellladesäule kostet etwa 25.000 Euro (Deloitte, 2018a). Wir unterstellen, dass die Kosten ab 2020 jährlich um jeweils 3% fallen und ab dem Jahr 2031 um jährlich 2%. Zusätzlich nehmen wir eine Stückkostendegression beim Bau der Ladesäulen an, die je nach Anzahl der neu gebauten Ladesäulen variiert.[226] Zusätzlich entstehen Kosten für die Wartung und den Unterhalt der Säulen (OPEX). Diese Kosten belaufen sich nach Angaben der NPE auf 1.500 Euro pro Jahr für eine Schnellladesäule und 750 Euro für eine Normalladesäule. Die Aufbaukosten für eine privat betriebene smarte Ladebox (Wallbox) betragen etwa 2.700 Euro, die Kosten für die Wartung und den Unterhalt liegen bei etwa 500 Euro pro Jahr.

Das Progressive Szenario weist im Vergleich zu den anderen Szenarien Besonderheiten auf. Der Aufbau der LIS kann effizienter und kostengünstiger gestaltet werden als etwa im Szenario Verstärkte Elektrifizierung, da die selbstfahrenden Pkw ohne Fahrer die nächstgelegene Ladesäule ansteuern können. Das heißt, es muss nicht zwangsweise überall eine hohe dichte an Ladesäulen vorliegen. An manchen Stellen kann es zu Problemen im Netz kommen, wenn zu viele Fahrzeuge gleichzeitig geladen werden müssen. Stattdessen kann durch das hochautomatisierte Fahren die LIS etwa in Gegenden errichtet werden, wo das Stromnetz bereits adäquat ausgebaut ist, um mehrere Fahrzeuge gleichzeitig zu laden.

Zur Umrechnung der Kosten in Wertschöpfung werden Wertschöpfungsdaten des Statistisches Bundesamt der Wirtschaftszweige Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen (WZ33) und des Baugewerbes (WZ-F) verwendet. Die Arbeitsplätze werden aus der Wertschöpfung abgeleitet. Dies erfolgt durch die durchschnittliche Wertschöpfung pro sozialversicherungspflichtig Beschäftigten. In beiden Fällen wird eine Produktivitätssteigerung von 2% pro Jahr angenommen.

Bezüglich der Umsetzung von Smart Grids unterstellen wir, dass der "Plattformgedanke" aus dem Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende vollständig zum Tragen kommt. Das

[224] Diese Annahmen wurden von der NPM, welche die Arbeit der NPE fortführt, übernommen.
[225] In der Betrachtung mit eingeschlossen sind unter anderem sowohl Ladepunkte zu Hause als auch beim Arbeitgeber.
[226] So gibt es beispielsweise eine Stückkostendegression beim Bau der Ladesäulen/Wallboxen von 25% ab 100 Säulen/Wallboxen, eine Degression von 30% ab 500 Säulen/Wallboxen und eine von 35% ab 1000 Säulen/Wallboxen.

heißt, es erfolgt die Integration von Smart Metern, Smart Mobility[227] und Smart Home in ein Smart Grid (BMWi, 2018a; BMWi, 2018b).

Auch die in der sogenannten "BSI-Roadmap" dargelegten Zeitpläne für die Ausgestaltung der Zielmodelle von Smart-Metering, Smart Grid und Smart Mobility werden eingehalten. Das bedeutet auch, dass die Ausgestaltung von allen relevanten und notwendigen Anwendungsfällen und der BSI-Standards[228] pünktlich erfolgt. Die hier anknüpfende Umsetzungs- und Zertifizierungsphase (insbesondere für Smart Mobility) werden zügig weiterentwickelt und bis spätestens Ende 2022 in einem sogenannten Zielmodell umgesetzt (BSI, 2019).

Zudem ist die gesamte LIS über das Smart-Meter-Gateway[229] mit dem Smart-Meter verbunden. Die Verteilnetzbetreiber können ihre Koordinierungsfunktion über die Steuerung der Last- und Einspeiseanlagen im Netz ausüben. Auch sind relevante Last- und Einspeiseanlagen netzdienlich steuerbar, d.h. die Einspeisung und Lastentnahme kann beispielsweise reduziert, verschoben, ausgesetzt oder nach einem Fahrplan optimiert gesteuert werden. Die Sensorik und Messtechnik zur Ermittlung von Netzzustandsdaten wird sukzessive im Niederspannungsnetz installiert. Ab 2020 wird bidirektionales Laden (Einspeisung und Lastentnahme) sukzessive möglich und eine Vielzahl an Ladepunkten und Elektrofahrzeugen wird mit der notwendigen Technik ausgestattet sein. Bidirektionales Laden ist die wichtigste Basis, damit Strom in Elektrofahrzeugen gespeichert werden kann.

Außerdem unterstellen wir, dass der Netzbetreiber über jegliche Installation von LIS in Kenntnis gesetzt wird und diese für die zukünftige Netzplanung sowie Ausbaumaßnahmen berücksichtigen kann. Darüber hinaus sind die notwendige Regulatorik, Gesetzgebung und Marktgestaltung so weit vorangeschritten, dass es sowohl netz- als auch marktdienliche Ladeangebote mit speziellen variablen Tarifen geben wird. Damit können Belastungsspitzen und Versorgungsengpässen im Stromnetz frühzeitig entgegengewirkt und Überkapazitäten in der Stromerzeugung sinnvoll genutzt werden. In Zeiten mit geringer Abnahme an Strom und hoher Einspeiseleistung durch erneuerbare Energien kann mit variablen Tarifen ein Anreiz geschaffen werden, der Fahrzeugbesitzer bewegt, ihr Elektrofahrzeug bevorzugt in diesen Zeiträumen zu laden. In Netzgebieten mit hoher Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen wird die Netzverstärkung sowie der Netzausbau frühzeitig und präventiv angegangen.

3.2 Zwischenergebnisse

Ein internationaler Vergleich zeigt, dass Deutschland bereits 2017 eine hohe Dichte an Ladepunkten aufwies.[230] Im Januar 2019 waren in Deutschland ca. 14.600 öffentliche

[227] "Smart-Mobility" ist ein Begriff, der auf dem System- und Plattformgedanken aus dem Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende beruht und im Wesentlichen Ladeinfrastruktur und Lademanagement in unterschiedlichen Einsatzbereichen zusammenfasst. Unter diesem Begriff werden insbesondere private Ladesäulen für Ein- und Mehrfamilienhäuser sowie öffentliche Ladesäulen zum Aufladen von Elektrofahrzeugen und das Lademanagement zusammengefasst (BMWi, 2018a).

[228] BSI-Standards legen beispielsweise die Schutzprofile (sogenannte Mindestanforderungen für entsprechende Sicherheitsmaßnahmen) und die technischen Mindestanforderungen (beispielsweise für Datenschutz und Datenübertragung) für sämtliche Hard- und Softwarekomponenten im Smart Grid fest (BSI, 2019).

[229] Das Smart-Meter-Gateway ist die zentrale Kommunikationseinheit eines intelligenten Messsystems, welches nach den Vorgaben des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) entwickelt wurde. Die Hauptaufgabe des Smart-Meter-Gateways ist die sichere Datenübertragung (BSI, 2019).

[230] Mehr Informationen zur LIS sind in Abschnitt I.1.2 und Kapitel II.2 enthalten.

Ladepunkte an rund 7.300 Ladesäulen bei der Bundesnetzagentur angemeldet.[231] Etwa 1.700 (ca. 12%) waren als Schnellladepunkte erfasst.[232] Mit einem Bestand von ca. 150.000 Pkw mit elektrifiziertem Antrieb im Januar 2019[233], ergibt sich ein Verhältnis von 9:1. Das heißt, etwa 9 Elektroautos kommen auf einen öffentlichen Ladepunkt.

Basierend auf den Zielgrößen der NPE ergibt sich bei den Normalladepunkten für den Zeitraum 2025 bis 2040 ein Verhältnis von ca. 40:1. Es kommen also ca. 40 Elektroautos auf einen Normalladepunkt. Das Verhältnis an Elektroautos zu Schnellladepunkten entspricht hingegen rund 400:1. Die LIS ist somit ab dem Jahr 2025 nicht mehr als Hemmnis der Elektromobilität anzusehen.

Da die Entwicklung der LIS ab 2025 von der Marktdurchdringung der Elektromobilität abhängt, unterscheidet sich die Geschwindigkeit des Ausbaus zwischen den Szenarien. Der Ausbau mit öffentlichen Ladestationen in den vier Szenarien ist in Abb. 72 dargestellt.

Für das **Referenzszenario** liegt der Bestand an elektrifizierten Pkw 2030 bei etwa 7,2 Mio. Es kann mit rund 194.000 öffentlichen Ladepunkten gerechnet werden. Diese teilen sich in 18.000 Schnellladepunkte und ungefähr 176.000 Normalladepunkte auf.[234] Zusätzlich werden rund 8 Mio. Ladepunkte für den privaten Bereich angenommen (siehe Abb. 73).

In den anderen Szenarien variiert der Bestand an Ladepunkten in Abhängigkeit vom Bestand der Elektrofahrzeuge. Im **Szenario Verstärkte Elektrifizierung** werden im Jahr 2030 ca. 20.000 Schnellladepunkte und knapp 200.000 Normalladepunkte im öffentlichen Raum benötigt, insgesamt also annähernd 220.000 öffentliche Ladepunkte. Für den privaten Bereich wird angenommen, dass bis zu 9,1 Mio. Ladepunkte zusätzlich zur Verfügung stehen werden. Diese Zahlen beruhen auf einem Bestand von 8,1 Mio. elektrifizierten Pkw.

In **Szenario Verstärkte Automatisierung** berechnen wir die Anzahl an Schnellladepunkten mit etwa 17.000 und die Anzahl der Normalladepunkte mit 170.000, insgesamt also 187.000 öffentlichen Ladepunkten. Im privaten Bereich wird von einem Bestand von rund 7,7 Mio. Ladepunkten ausgegangen. Der Bestand von elektrifizierten Pkw liegt bei 6,9 Mio. Pkw.

Das **progressive Szenario** geht von 19.000 Schnellladepunkten und ca. 185.000 Normalladepunkten aus, was einer Gesamtzahl von 204.000 öffentlich zugänglichen Ladepunkten entspricht. Im privaten Bereich wird von insgesamt rund 8,6 Mio. Ladepunkten ausgegangen. Der Bestand von elektrifizierten Pkw liegt bei 7,7 Mio. Pkw.

---

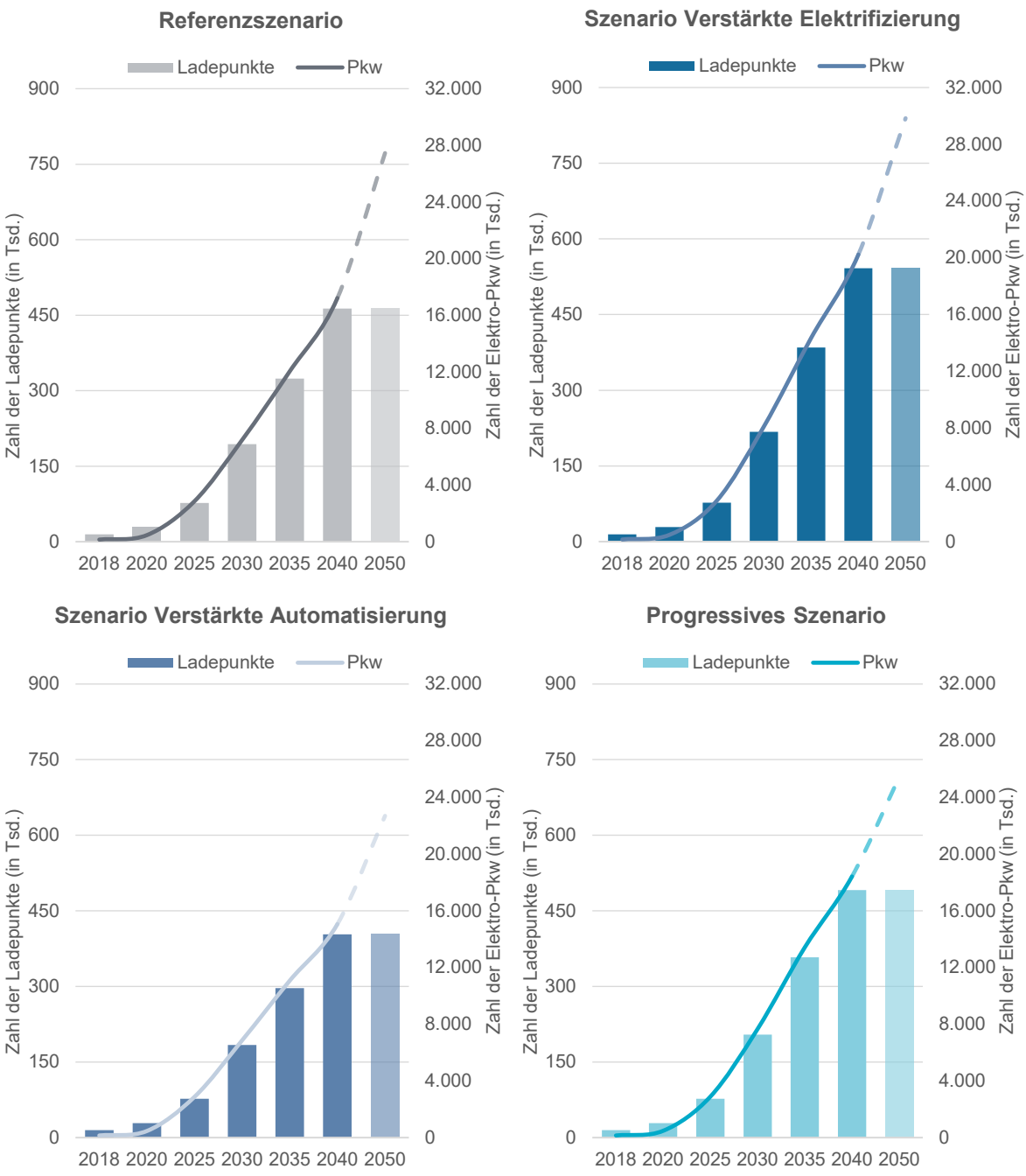
231 Siehe https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/HandelundVertrieb/Ladesaeulenkarte/Ladesaeulenkarte_node.html (Stand 9. Januar 2019).

232 Siehe https://www.bdew.de/presse/presseinformationen/rund-13500-oeffentliche-ladepunkte-deutschland/).

233 Eigene Berechnungen basierend auf Daten des Kraftfahrt-Bundesamts (siehe https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/b_jahresbilanz.html?nn=644526).

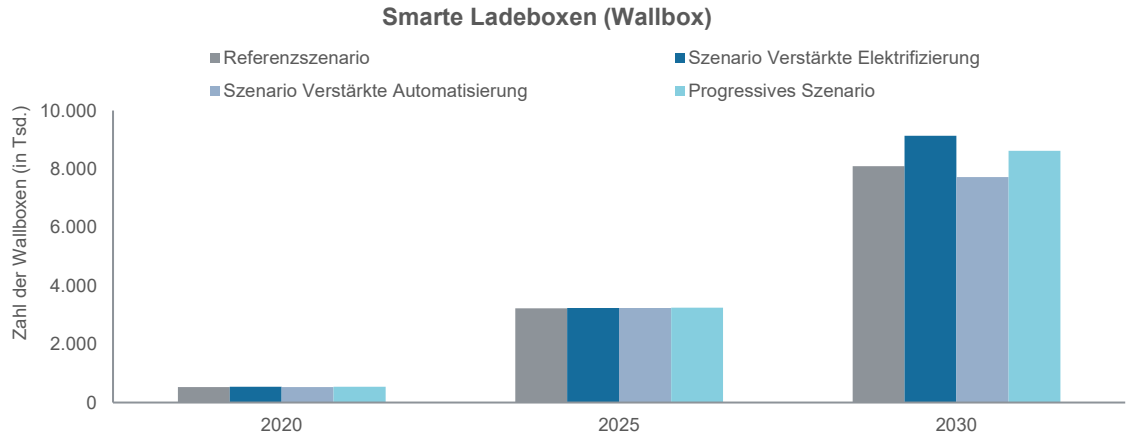
234 Das Klimaschutzprogramm 2030 formuliert das Ziel von 1 Mio. öffentlicher Ladepunkte bis 2030. Daraus würden sich deutlich höhere Umsatzpotenziale ergeben.

Abb. 72: Entwicklung der öffentlichen Ladeinfrastruktur, 2018 und Prognose 2020 bis 2030



Quelle: Eigene Berechnungen.

Abb. 73: Entwicklung der privatem Ladeinfrastruktur, Prognose 2020 bis 2030



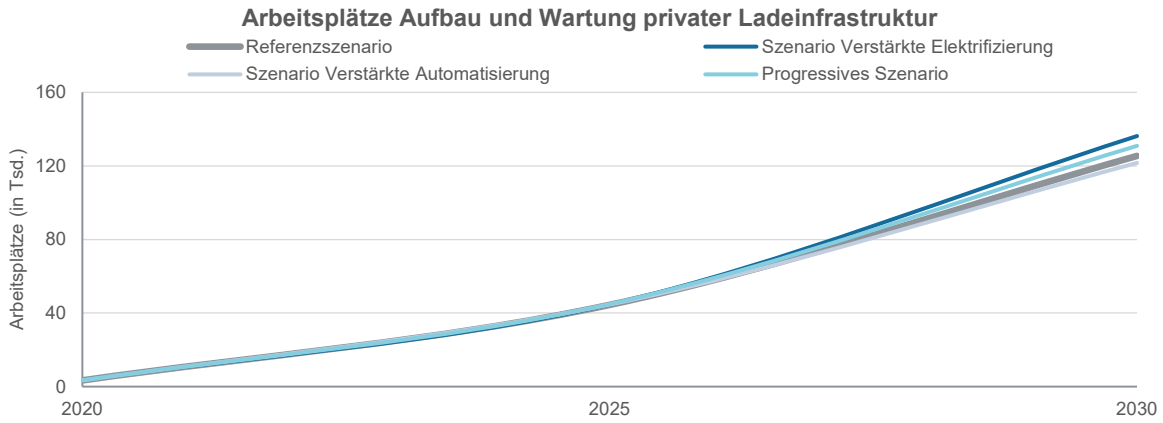
Quelle: Eigene Berechnungen.

3.3 Ergebnisse zu wirtschaftlichen Potenzialen je Geschäftsmodell

3.3.1 Geschäftsmodell – Aufbau und die Instandhaltung der Ladeinfrastruktur für Elektromobilität

Wir berechnen im Referenzszenario bis zum Jahr 2030 ca. 3.700 neu geschaffene Arbeitsplätze für den Bau und den Unterhalt von Ladesäulen im öffentlichen Bereich. Im Szenario Verstärkte Elektrifizierung ist mit dem größten Zuwachs an Arbeitsplätzen zu rechnen. Hier prognostizieren wir ca. 4.000 neu geschaffene Arbeitsplätze für den Bau und den Unterhalt von Ladesäulen bis zum Jahr 2030. Im Szenario Verstärkte Automatisierung rechnen wir bis zum Jahr 2030 mit ca. 3.500 neu geschaffenen Arbeitsplätzen, im Progressiven Szenario mit bis zu ca. 3.800 Arbeitsplätzen.

Abb. 74: Arbeitsplätze für den Bau und Unterhalt privater Ladeinfrastruktur, Prognose von 2020 bis 2030



Quelle: Eigene Berechnungen.

Im Vergleich dazu sind die Arbeitsplatzeffekte im privaten Ladebereich substanziell (siehe Abb. 74). In allen Szenarien berechnen wir für den Bau und den Unterhalt von Ladevorrichtungen im privaten Bereich bis 2025 etwa 45.000 neu geschaffene Arbeitsplätze im Baugewerbe (WZ-F) und in der Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen (WZ 33). Bis 2030 könnten es bis zu 140.000 neu geschaffene Arbeitsplätze sein.

Es wird davon ausgegangen, dass die Arbeitsplätze im Wesentlichen bei Elektroinstallateuren, im Handwerksdienstleistungssektor und bei Stadtwerken sowie überregionalen Energieversorgern entstehen werden. Ferner ist davon auszugehen, dass auch im Bereich der Netzbetreiber neue Planstellen im Montage- und Ingenieurbereich für die Planung, Konzeption und Errichtung von Netzanschlüssen beziehungsweise deren Verstärkung entstehen können.

3.3.2 Geschäftsmodell – Betrieb von eRoaming Plattformen

Zur Abschätzung von möglichen Umsatzpotenzialen durch eRoaming wird das Geschäftsmodell von ladenetz.de (betrieben von smartlab) herangezogen. Wie in Abschnitt 2.6 beschrieben, konnten 2018 rund 500.000 Euro an die LIS-Betreiber ausgeschüttet werden. Hierunter fallen Erträge, die durch die Bezahlung von Kunden aus dem Netzwerk der LIS-Betreiber sowie durch Kunden von Dritten generiert wurden. Bei einem Bestand im Netzwerk von 3.000 Ladepunkten würde dies im einfachen Durchschnitt bedeuten, dass rund 167 Euro pro Ladepunkt und Jahr an die Betreiber ausgeschüttet wurden.

Wir nehmen an, dass 2020 rund 5% der öffentlichen Schnell- und Normalladesäulen durch Netzwerkbetreiber von ladenetz.de betrieben werden Bis 2030 fällt der Anteil auf 2%, da die private LIS vermutlich stark wachsen wird. 2020 liegt die jährliche Ausschüttung bei real 167 Euro pro Ladepunkt, bis 2030 fällt sie auf durchschnittlich 80 Euro im Jahr.

Daraus ergeben sich bis 2030 je nach Szenario Ausschüttungspotenziale zwischen 3 und 3,2 Mio. Euro.

Diese einfache Hochrechnung zeigt, dass das Geschäftsmodell eRoaming durchaus Potenzial hat. Jedoch wird es für neue Wettbewerber schwierig, da es bereits mehrere eRoaming-Plattformen im Markt gibt. Das kann unter Umständen zu Verdrängungswettbewerb und sinkenden Umsatzerlösen führen. Es muss zusätzlich damit gerechnet werden, dass Ladesäulen von unterschiedlichen Anbietern direkt nebeneinander, insbesondere an lukrativen Standorten, installiert werden. Das hat zur Folge, dass die Nutzerzahlen pro Ladepunkt sinken und folglich degressive Rückgänge ausgelöst werden können. Aktuell wird das Geschäftsmodell sowohl von Stadtwerksverbünden, speziellen Mobilitätsinfrastrukturdienstleistern oder auch von OEMs betrieben.

Legt man die Prognose der Wertschöpfungsquote und die Wertschöpfung pro Erwerbstätigen der WZ33 (Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen) an die Entwicklung der eRoaming-Plattformen an, so zeigt sich, dass die erwartbaren Beschäftigungseffekte bis 2030 zu vernachlässigen sind. Der Vorteil des Geschäftsmodells ist daher vielmehr in seinem Nutzen für die LIS als Ganzes begründet. Durch die Aufhebung des vertragsgebundenen Zugangs zu Ladesäulen und Ladepunkten werden Hürden in der Nutzung der Elektromobilität herabgesetzt. Dies wiederum erhöht die Kundenakzeptanz und wirkt sich letztlich beschleunigend auf die Elektrifizierung des Verkehrs aus.

3.3.3 Geschäftsmodell – Intelligenter und flächendenkender Ladeinfrastruktur-Betrieb auf Parkflächen des Einzelhandels

Die während der Meta-Analyse ermittelten Pläne von Supermärkten, in das Geschäftsmodell für den Betrieb von LIS zu investieren, sind ein Anzeichen für vorhandene Umsatzpotenziale durch die Parkflächen des Einzelhandels. Das Umsatzpotenzial des Geschäftsmodells wird anhand eines Supermarktes dargelegt.

Wir unterstellen für eine Normalladesäule eine Nutzungs- bzw. Lebensdauer von 10 Jahren. Für die Installation und die zehnjährige Betriebsführung entstehen Kosten in Höhe von insgesamt 15.000 Euro.[235] Wir nehmen an, dass pro Tag etwa drei Kunden während der Öffnungszeiten für insgesamt rund 1,5 Stunden Strom laden. Dadurch entstehen durchschnittliche Stromkosten für den Verbrauch in Höhe von ca. 3,30 Euro pro Tag. Über die gesamte Nutzungsdauer hinweg entstehen dadurch geschätzte Kosten für den reinen Stromverbrauch in Höhe von rund 9.000 Euro. Somit betragen die Kosten für die Installation, die Betriebsführung und den Ladestromverbrauch bis 2030 rund 24.000 Euro. Der Supermarkt stellt seinen Kunden die Lademöglichkeit unentgeltlich zur Verfügung, insofern der Ladevorgang des Kunden mit einem Einkauf im Supermarkt verbunden ist. Der durchschnittliche Einkaufswert pro Kunde lag 2015 bei rund 15 Euro.[236] Wir unterstellen, dass der Umsatz der Stromladekunden bei nur durchschnittlich 4,50 Euro liegt (ca. ein Drittel). Über die die Nutzungsdauer von 10 Jahren entsteht ein Umsatzerlöspotenzial von rund 37.000 Euro pro Ladesäule bis 2030. Unterstellt man, dass der Stromladekunde ohne die Möglichkeit des kostenfreien Ladens während des Einkaufs nicht in diesem Supermarkt eingekauft hätte, bedeutet dies einen entgangenen Umsatzerlös in Höhe von 13.000 Euro.

Der Vorteil von Supermärkten besteht darin, dass diese aufgrund des erhöhten und konstanten Stromverbrauchs ihren Elektrizitätsbedarf preiswert decken können. Auch könnte eine möglicherweise vorhandene Solaranlage mit der LIS intelligent verbunden werden. Darüber hinaus ergäben sich zudem Potenziale für die Netzentlastung, da Lastspitzen aus der Einspeisung des Solarstroms in das Stromnetz reduziert werden können. Ein konservativ angesetzter Zubau von 1.000 neuen Ladesäulen im Referenzszenario bis 2030, kann zu Umsatzerlösen in Höhe von rund 3,7 Mio. Euro führen.

Wie auch beim Geschäftsmodell des eRoamings sind über die Nutzung der Parkflächen des Einzelhandels als Teil der flächendeckenden LIS in der konservativen Schätzung bis 2030 keine neuen Arbeitsplätze zu erwarten. Wirft man allerdings die Gesamtzahl der Parkflächen des Einzelhandels (Supermärkte, Möbelhäuser, Baumärkte, etc.) in die Waagschale, so eröffnen sich insbesondere in Städten enorme Freiräume für die Schaffung einer LIS, die auch dem Problem der Nachrüstung in Mehrfamilienhäusern entgegenwirken könnte. Für diesen Zweck könnten beispielsweise die Einzelhändler die mit LIS ausgestatteten Parkflächen außerhalb der Öffnungszeiten verfügbar machen und gegen ein Entgelt das Laden der Pkw ermöglichen.

3.3.4 Geschäftsmodell – Vertrieb von Vehicle-to-Home Lösungen.

Das Geschäftsmodell basiert auf dem Vertrieb von einer kompletten Vehicle-to-Home Lösung. Das in Abschnitt 2.6 beschriebene System wird als vereinfachte Referenz für die Potenzialanalyse herangezogen. Der Verkaufspreis ist Mitte 2019 noch nicht bekannt, er dürfte jedoch bei rund 5.000 Euro liegen.

Wir gehen davon aus, dass der Verkaufspreis 2020 real bei etwa 6.500 Euro pro Stück liegt und bis 2030 auf 4.500 Euro pro Stück fällt, da es im Bereich von bidirektionalen Ladelösungen in diesem Zeitraum zu einem stärkeren Wettbewerb kommen wird.

Zur Herleitung des Marktpotenzials werden die Ausbaupotenziale für Wallboxen im privaten Bereich herangezogen. Für den Zeitraum ab 2020 wird davon ausgegangen, dass zunächst

[235] Bei der Kostenschätzung ist nicht berücksichtigt, dass die Installation von Ladesäulen unter Umständen eine Anbindung an das Mittelspannungsnetz bedingen. Dies würde zusätzliche Kosten verursachen und damit entsprechend das Erlöspotenzial schmälern.
[236] Siehe https://www.handelsdaten.de/branchen/superm%C3%A4rkte.

0,01% aller neu installierten smarten Wallboxen innerhalb einer Vehicle-to-Home Lösung fungieren werden. Bis 2030 verringert sich der Anteil auf 0,002%.

Hieraus ergeben sich in den vier Szenarien bis 2030 Absatzprognosen von insgesamt gut 1.500 Vehicle-to-Home Lösungen. Daraus können je nach Szenario Umsätze zwischen 7,4 und 7,8 Mio. Euro generiert werden. Es besteht somit ein hinreichendes Umsatzpotenzial für den Vertrieb einer Vehicle-to-Home Lösung.

Wie bereits anhand der niedrigen Absatzprognosen für die Zeit bis 2030 erwartet werden konnte, sind für den Vertrieb von Vehicle-to-Home-Lösungen im Baugewerbe (WZ-F) nur geringe Beschäftigungseffekte zu erwarten. Da zum aktuellen Zeitpunkt ebenfalls die Kundenakzeptanz solcher Konzepte noch unklar ist, kann eine Einschätzung zu deren Beitrag für die gesamte LIS ebenfalls nicht vorgenommen werden.

V. Wie kann die Politik die Transformation der Automobilindustrie erfolgreich begleiten?

Es ist Aufgabe der Politik, den Transformationsprozess der Automobilwirtschaft zu moderieren, um unterschiedlichen – teilweise konträren – Zielen gerecht zu werden. Dazu werden im folgenden Kapitel konkrete wirtschaftspolitische Handlungsempfehlungen zur Stärkung des Industriestandortes Deutschland vorgestellt. Diese können einen entscheidenden Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit leisten und somit zur Erhaltung der Wertschöpfung und zur Sicherung zukunftsfähiger Arbeitsplätze beitragen. Die Politik kann die Rahmenbedingungen schaffen, damit die teilweise regional tief verankerte Automobilindustrie und der Standort Deutschland auch künftig wettbewerbsfähig bleiben. Als Basis dienen die Ergebnisse der Teile I bis IV.

In Teil I wurden Treiber der zwei fahrzeugtechnischen Technologiepfade Effizienzsteigerung/Emissionsvermeidung sowie Vernetzung und Automatisierung diskutiert. Darüber hinaus wurden deren Auswirkungen auf die Technologieverwendung in Fahrzeugen herausgearbeitet, um die implizierten Veränderungen in der Wertschöpfungskette realistisch abzubilden.

In Teil II wurden die Herausforderungen der deutschen Automobilwirtschaft basierend auf deren Stärken und Schwächen sowie den zukünftigen Chancen und Risiken herausgearbeitet. Dadurch ergaben sich zahlreiche qualitative Ansatzpunkte für Handlungsempfehlungen.

In Teil III wurden die ökonomischen Folgen des Strukturwandels unter den gesetzten CO_2-Flottengrenzwerten quantifiziert. Die Rückwirkungen der Emissionsgesetzgebung auf die Investitionsdynamik im Automobilsektor und auf das Nachfrageverhalten der Konsumenten sind bei der Ableitung wirtschaftspolitischer Handlungsempfehlungen von hoher Bedeutung. Dabei spielen auch die Trends zur Automatisierung und zu Shared Mobility-Konzepten eine zentrale Rolle, insbesondere für Wertschöpfung und Jobs in den Jahren nach 2030.

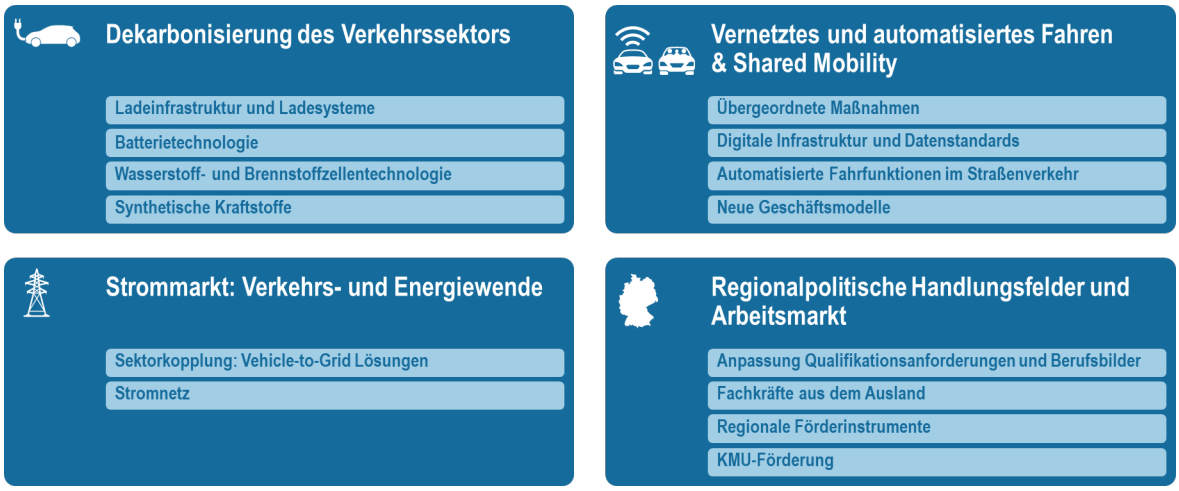
In Teil IV wurden die Wechselwirkungen des automobilen Strukturwandels mit der Stromwirtschaft beleuchtet. Insbesondere wurden neue Wertschöpfungsallianzen betrachtet. Daran knüpfen direkt Handlungsempfehlungen an, die am Stromnetz ansetzen und darüber hinaus das Entstehen neuer Geschäftsmodelle in der Stromwirtschaft flankieren.

Die **Leitfrage dieses Kapitels** lautet: Mit welchen wirtschaftspolitischen Maßnahmen lassen sich automobile Wertschöpfungsbeiträge in Deutschland nachhaltig fördern und erhalten?

Die vier identifizierten Handlungsfelder lassen sich thematisch wie folgt aufteilen:[237]

[237] In das Themengebiet Shared Mobility fallen neue Mobilitätskonzepte und -dienstleister inkl. Mobilitätsplattform und Digitalisierung im Öffentlichen Raum. Das Themengebiet Mobility-as-a-Service umfasst die Verknüpfung verschiedener Mobilitätsangebote, Daten- und Abrechnungsplattformen. Beide sind schwer isoliert zu betrachten, da die bestehenden Rahmenbedingungen beider Themengebiete oft identisch sind.

Abb. 75: Übersicht der Handlungsfelder



Quelle: IPE. Eigene Darstellung.

1. Ordnungspolitische Leitlinien

Eingriffe in die Marktwirtschaft, die über das Setzen eines Rechtsrahmens hinausgehen, erfordern eine ordnungspolitische Rechtfertigung. Steuermittel sollten nur dann aufgewendet werden, wenn dies besonders gute Gründe rechtfertigen. Es ist zu prüfen, ob staatliche Förderung ein sinnvoller, gangbarer Weg zur Zielerreichung ist.[238]

In einem **ersten Schritt** ist zu prüfen, ob die Fördermaßnahme ein besonders förderungswürdiges Ziel verfolgt.

> Wo und warum versagt der Markt?
> Welche rechtlich zulässigen Instrumente vermögen die Marktlösung zu verbessern?
> Welcher Mitteleinsatz ist dafür erforderlich und welche Wirkung entfaltet dieser?

Schließlich ist in einem **zweiten Schritt** zu prüfen, ob die Fördermaßnahme in ihrer Zielverfolgung **verhältnismäßig** ist.

> Ist die Maßnahme **effektiv**, d.h. leistet sie einen Beitrag zur Erreichung des angestrebten Ziels?
> Gibt es **andere wirksame Instrumente als Alternativen?** So können Klimaziele oder Emissionsziele auch durch andere Instrumente als durch CO_2-Flottengrenzwerte von Pkw erreicht werden.
> Ist die Maßnahme **effizient**, d. h. stehen **Kosten und Nutzen** in einem **angemessenen Verhältnis**? Auch eine Fördermaßnahme, die ihr Förderungsziel „alternativlos“ erreicht, kann unangemessen teuer sein, d.h. im Verhältnis zu ihrem Beitrag zur Zielerreichung inakzeptabel hohe Kosten verursachen.

Beide Prüfungsschritte erfordern empirische Analysen auf einer breiten Datengrundlage. Durch eine Evaluation von Politikmaßnahmen mit adäquat breiter Datengrundlage können Mitnahmeeffekte festgestellt werden. Schlimmstenfalls ist zu befürchten, dass die

238 Grundsätzlich wäre zunächst die „Vorfrage“ zu klären, ob eine geplante Maßnahme den Anforderungen des Unions- und Verfassungsrechts genügt. So sind beispielsweise beihilferechtliche Aspekte zu berücksichtigen.

konzipierten Politikmaßnahmen statt zu einer **Verbesserung** des Status Quo sogar den Zielerreichungsgrad **verschlechtern**.

Viele der von uns vorgeschlagenen Maßnahmen erfordern umfangreiche Investitionsausgaben. Die Investitionen des deutschen Staates sind durch die Schuldenbremse eingeschränkt. Die folgenden Maßnahmen sind so konzipiert, dass die Schuldenbremse nicht gefährdet wird, solange die Maßnahmen im kleinen Stil verwirklicht werden. Massive Investitionen wie etwa in den öffentlichen Personenverkehr (ÖPV) und umweltfreundliche Mobilitätskonzepte sind aufgrund der Schuldenbremse oft nicht umsetzbar.

2. Handlungsfelder und Methodik

Die für dieses Forschungsvorhaben relevanten Maßnahmen lassen sich in zwei breit definierte Bereiche der klassischen Wirtschaftspolitik, Technologie- und Industriepolitik sowie Arbeitsmarktpolitik, gliedern.

In den Bereich der **Technologie- und Industriepolitik** fallen Maßnahmen der allgemeinen Technologiepolitik, der branchenspezifischen und branchenübergreifenden Industriepolitik sowie der Innovationspolitik (z.B. F&E-Förderung). Dies können z.B. Maßnahmen zur Förderung des Infrastrukturausbaus und Maßnahmen zur Stabilisierung der Stromnetze, die der Elektromobilität zuzurechnen sind, sein.

Maßnahmen im Bereich **Arbeitsmarktpolitik** betreffen vor allem die Aus- und Weiterbildung zur Beschleunigung des Strukturwandels des Automobilsektors (z.B. die Integration von elektromobilitätsrelevanten Kompetenzen in bestehende Ausbildungsgänge). Dabei ist auf die neuere Arbeitsmarktforschung zum Thema Kapital-Bildung-Komplementarität sowie zum Thema Arbeitsplatzeffekte der Digitalisierung einzugehen.

Thematisch lassen sich die vorgeschlagenen Maßnahmen den oben genannten vier Handlungsfeldern zuordnen. Pro Handlungsfeld werden allgemeine Hintergrundüberlegungen adressiert, bevor konkrete Maßnahmen vorgestellt werden. Der typische Gliederungsaufbau **von Handlungsfeld zu Maßnahme** ist folgendermaßen:

> Handlungsfeld: z.B. Dekarbonisierung des Verkehrssektors
> Eingrenzung innerhalb des Handlungsfelds: z.B. Ladeinfrastruktur und Ladesysteme
> Maßnahme: Prägnante Beschreibung (z.B. Transparenz für Konsumenten beim Ladeinfrastrukturaufbau erhöhen)
  – Hintergrund
  – Zielsetzung
  – Erläuterung der Maßnahme

Im nächsten Schritt werden den Maßnahmen mögliche **Instrumente** zu deren Implementierung zugeordnet. Die Beschreibung der Instrumente gliedert sich wie folgt:

> Instrument: Beschreibung des konkreten Instruments zur Implementierung der Maßnahme
  – Ausgestaltung
  – Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen
  – Zeitlicher Horizont

3. Dekarbonisierung des Verkehrssektors

Um eine Senkung der Emissionen bis 2050 um 80% oder 95% gegenüber 1990 zu erreichen, bedarf es unterschiedlicher technologischer Lösungsansätze. Dies hat die Bundesregierung in dem im September 2019 vorgestellten Klimaschutzprogramm 2030 festgehalten und neben Elektromobilität auch die Bedeutung von Wasserstoff sowie von synthetischen Kraftstoffen herausgestellt.

Insbesondere eine Steigerung des Anteils von elektrifizierten Pkw (BEV, PHEV) an den Neuzulassungen gilt bei der Erreichung der Klimaziele als vielversprechend. Derzeit sind elektrifizierte Pkw aber noch immer keine gleichwertigen Substitute zu konventionellen Fahrzeugen. Zum einen sind die TCO von Elektrofahrzeugen derzeit im Schnitt noch deutlich höher als bei einem Verbrenner. Zum anderen ist noch keine ausreichende Ladeinfrastruktur vorhanden. Die von staatlicher Seite umgesetzte finanzielle Förderung wie etwa der Umweltbonus oder die Dienstwagenbesteuerung setzt bei den TCO an. Auch die Einführung der CO_2-Bepreisung im Verkehrssektor – wie im Klimaschutzprogramm festgehalten – begünstigt Elektrofahrzeuge in der TCO-Betrachtung gegenüber Verbrennern.

Damit BEVs so rasch wie möglich zu Substituten von Verbrennern werden, ist angeraten, die **Ladeinfrastruktur** zügig kosteneffizient aufzubauen. Die folgenden Maßnahmen zielen auf die Förderung des Ausbaus der Ladeinfrastruktur sowohl im privaten als auch im öffentlichen Bereich ab. Maßnahmen zu Standards oder zur Integration der Ladesäulen in das Stromnetz erfolgen in Kapitel 5.

Eng verbunden mit Marktentwicklung und Kosten von Elektromobilität ist die technologische Entwicklung der Batterie. Mithilfe der folgenden Maßnahmen soll Wertschöpfung in Deutschland durch Investitionen in die **Batterietechnologie** gesichert werden.

Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie kann im Verkehrssektor vor allem dann Verwendung finden, wenn Elektromobilität mittels rein batterieelektrischer Fahrzeuge an ihre Grenzen stößt. Darüber hinaus handelt es sich bei Wasserstoff um eine General-Purpose-Technologie, da sie nicht nur im Verkehrsbereich, sondern auch in der Industrie und zur Wärmeerzeugung genutzt werden kann. Eine Förderung sowohl der Angebots- als auch der Nachfrageseite dieser Technologie kann den Industriestandort Deutschland stärken.

Schließlich zielen die folgenden Maßnahmen auf eine Förderung **synthetischer Kraftstoffe** in Deutschland ab. Synthetische Kraftstoffe können vor allem in der Bestandsflotte von Pkw einen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten. Wir empfehlen lediglich eine Förderung im Bereich F&E sowie zum Aufbau von Pilotanlagen. Es handelt sich bei synthetischen Kraftstoffen nicht um ein Kernthema im Pkw-Sektor.

3.1 Ladeinfrastruktur und Ladesysteme

3.1.1 Maßnahme: Förderung des Ausbaus der privaten Ladeinfrastruktur verstärken

Hintergrund: Der überwiegende Teil der Ladevorgänge von Elektrofahrzeugen wird zukünftig im privaten Bereich stattfinden. Eine finanzielle Förderung des Ausbaus der privaten Ladeinfrastruktur ist deshalb ein zentraler Hebel, um Elektromobilität attraktiver für

Konsumenten zu gestalten.[239] Auch können private Lademöglichkeiten den Ausbau öffentlicher Ladeinfrastruktur reduzieren.

Ziel: Förderung des Ausbaus von privater Ladeinfrastruktur in Wohngebäuden und gewerblichen Immobilien.

Erläuterung der Maßnahme (in Anlehnung an die Handlungsempfehlung der Arbeitsgruppe 5 der NPM): Aufgrund abweichender Bedarfe sollte zwischen Förderungen in Wohngebäuden und gewerblichen Immobilien unterschieden werden. Für die Installation der Ladeinfrastruktur sind im Wesentlichen die vorhandene Haustechnik, der Raumbedarf der zu installierenden Geräte (inkl. Infrastruktur) sowie die Kapazität des Netzanschlusses entscheidend. Hier können Last-/ Energiemanagementsysteme der Notwendigkeit einer Verstärkung des Netzanschlusses entgegenwirken.[240] Die Ladeinfrastruktur muss dafür mit entsprechenden Steuerungs- und Kommunikationsfunktionalitäten ausgestattet sein.

Der Abbau bestehender Rechtshemmnisse ist im Klimaschutzprogramm 2030 aufgegriffen worden und sollte begleitend umgesetzt werden.

Als konkretes Instrument dient:

Instrument: Maßgeschneiderte Förderungsprogramme (Förderaufrufe) für den Ausbau von privater Ladeinfrastruktur in Wohngebäuden und gewerblichen Immobilien

Ausgestaltung

> Einrichtung eines Förderungsprogramms sowohl für *private Ladeeinrichtungen in Wohngebäuden* als auch für *private Ladeeinrichtungen am Arbeitsplatz* (*Gewerbeimmobilien).* Die Förderprogramme sollten die Hardware (insb. Wallboxen und Ladesäulen), die Ertüchtigung des Anschlusses an das Stromnetz (inkl. der Stromanlage hinter dem Netzanschlusspunkt) und die Ausstattung mit Steuerungs- und Kommunikationsfunktionalitäten beinhalten (NPM, 2019b).

> Der Förderaufruf und die Fördermenge sollten an Bedingungen geknüpft sein. Die Bedingungen können mit Experten modelliert und konkretisiert werden. So könnte z.B. geprüft werden, ob die Höhe der Fördermittel davon abhängen sollte, dass der Geförderte die private Ladeinfrastruktur mit Steuerungs- und Kommunikationsfunktionalitäten ausstattet.

Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen:

Seit Anfang 2017 fördert die Bundesregierung im Rahmen der Förderrichtlinie „Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland“ den Aufbau öffentlicher Ladeinfrastruktur. Eine Förderung privater Ladeinfrastruktur wird bisher erst auf regionaler Ebene, wie z.B. durch das Land Nordrhein-Westfalen, oder durch einzelne Stromanbieter umgesetzt.[241] Der Förderaufruf für private Ladeinfrastruktur sollte in die

[239] Siehe dazu Bericht der Arbeitsgruppe 5 der NPM (NPM, 2019b).
[240] Durch ein Lastmanagementsystem können verschiedene Parameter der Ladevorgänge, wie z. B. die Maximalleistung oder die Priorisierung von Ladevorgängen, festgelegt werden (siehe Teil IV).
[241] Siehe https://www.net4energy.com/blog/foerderung-wallbox-2019.

bestehende Förderrichtlinie für öffentliche Ladeinfrastruktur des Bundes integriert werden.
Zeitlicher Horizont: Kurzfristig.

3.1.2 Maßnahme: Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur weiter fördern

Hintergrund: Als Signal für Konsumenten und Unternehmen, die in Elektromobilität investieren oder investieren wollen, sollte der Aufbau einer bedarfsgerechten öffentlichen Ladeinfrastruktur weiterverfolgt werden. Eine bedarfsgerechte öffentliche Ladeinfrastruktur kann Reichweitenängste nehmen und Kaufanreize schaffen.

Ziel: Aufbau einer flächendeckenden, bedarfsgerechten öffentlichen Ladeinfrastruktur.

Erläuterung der Maßnahme: Seit 2017 wird im Rahmen des „Bundesprogramms Ladeinfrastruktur" des BMVI der Aufbau von öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur durch eine anteilige Finanzierung der Investitionskosten mit insgesamt 300 Mio. Euro gefördert. Die Arbeitsgruppe 5 der NPM empfiehlt eine Anpassung der Förderung (NPM, 2019b). Wir unterstützen diese Empfehlung. Darunter fallen die Berücksichtigung von zeitweise öffentlichen/semiöffentlichen Ladepunkten (beispielweise in Parkhäusern) sowie die Überprüfung bzw. Evaluierung des Standorttools zur Ermittlung des Bedarfs von Ladeinfrastruktur und der Förderlogik. Damit die öffentliche Ladeinfrastruktur von möglichst vielen Kunden genutzt werden kann, ist es wichtig, bereits bei der Genehmigung neuer Ladesäulen Ladestandards zu beachten und deren Einhaltung sicherzustellen. Auch das in Kapitel IV.3 als vielversprechendes Geschäftsmodell herausgearbeitete eRoaming sollte in diesem Zusammenhang berücksichtigt werden.

Als konkretes Instrument dient:

Instrument: Fortführung und Justierung des Bundesprogramms Ladeinfrastruktur des BMVI
Ausgestaltung > Fortführung des Bundesprogramms Ladeinfrastruktur des BMVI mit leichten (bereits von der NPM geforderten) Anpassungen. > Berücksichtigung von Ladestandards und der Möglichkeit des eRoamings bei der Auswahl geförderter Projekte. > Darüber hinaus sollte beim Standorttool zur Ermittlung des Bedarfs von Ladeinfrastruktur Kosteneffizienz in den Fokus gerückt werden. Aktuell fließen zur Bedarfsermittlung unter anderem Verkehrs- und Mobildaten, Nutzerdaten von Elektrofahrzeugen und sozio-ökonomische Daten ein. Es sollten moderne statistische Evaluationsmethoden herangezogen werden, um die Standortplanung zu optimieren.
Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen: Am 18.05.2016 hat das Bundeskabinett ein Marktanreizprogramm für Elektromobilität beschlossen. Teil des Programms ist auch die Förderung des Aufbaus von

Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge. Seit Anfang 2017 fördert die Bundesregierung im Rahmen der Förderrichtlinie „Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland“ den Aufbau öffentlicher Ladeinfrastruktur mit einem Fördervolumen von 300 Mio. Euro. Bisher (Stand August 2019) wurden bereits Anträge für insgesamt gut 17.000 Ladepunkte bewilligt.[242]

Zeitlicher Horizont: Kurzfristig.

3.1.3 Maßnahme: Transparenz für Konsumenten beim Ladeinfrastrukturaufbau erhöhen

Hintergrund: Damit Konsumenten beim nächsten Fahrzeugkauf Elektrofahrzeuge als eine attraktive Alternative zum Verbrenner sehen, muss die öffentliche Ladeinfrastruktur nicht nur aufgebaut sein, sondern Konsumenten müssen auch über den aktuellen Stand des Ausbaus sowie dessen Planung informiert sein. Trotz mehrerer Initiativen der Bundesregierung herrscht Unsicherheit über die Verbindlichkeit der Umsetzung der geplanten Zielgrößen beim Aufbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur.

Ziel: Vertrauen in Ausbauziele schaffen und Informationen darüber zeitnah zur Verfügung stellen.

Erläuterung der Maßnahme: Aktuell unterschätzen Konsumenten das Tempo der Industrietransformation. Das Kernproblem ist, dass die Unsicherheit der Konsumenten Kaufanreize für Elektromobilität erodiert. Eine großangelegte Offensive kann dem entgegenwirken. Kleinteilige Lösungen wie eine Übersicht über bereits bestehende Ladesäulen der Bundesnetzagentur oder des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) reichen nicht aus.

Als konkretes Instrument dient:

Instrument: Online-Informationsplattform inkl. App

Ausgestaltung

> Aufbau einer zentralen Informationsplattform, die Konsumenten eine digitale Karte mit aktuellen sowie geplanten Ladesäulen bietet. Auch in Apps (z.B. der Bundesnetzagentur) sollten die verbindlich geplanten Ladesäulen integriert werden. Neben der Anzahl sollen auch Informationen zum Ladesystem offengelegt werden.
> Die Lösung sollte mit etablierten Karten-Apps kompatibel sein. Diese Kompatibilität ist frühzeitig in der Entwicklung zu beachten.

[242] Siehe https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/foerderrichtlinie-ladeinfrastruktur-elektrofahrzeuge.html.

Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen:

Eine Übersicht über bereits bestehende Ladesäulen bieten unter anderem die Bundesnetzagentur[243] und der BDEW.[244] Auch verschiedene Apps wie z.B. ChargEV, Nextcharge oder Plugsurfing bieten eine Übersicht über die Ladeinfrastruktur. Jedoch ist bisher keine Übersicht über geplante Ladesäulen verfügbar, wie es etwa bereits beim Aufbau der Wasserstoffinfrastruktur der Fall ist.[245]

Zeitlicher Horizont: Ab sofort.

3.2 Batterietechnologie

3.2.1 Maßnahme: Förderung von F&E in Batterietechnologie, insbesondere der nächsten Batteriegeneration

Hintergrund: Die Batterie ist aktuell ein Kernstück in Elektrofahrzeugen. Aufgrund ihres hohen Anteils an der gesamten Wertschöpfung bei der Pkw-Produktion kann sie – auch wenn ihre Bedeutung zukünftig deutlich abnehmen wird – dazu beitragen, Wertschöpfung und Arbeitsplätze in Deutschland zu sichern. Darüber hinaus ist die Batterietechnologie eine General-Purpose-Technologie, die positive externe Effekte (Spillovers) auf andere Sektoren hat, da sie nicht nur in der Automobilindustrie Verwendung findet. Dies rechtfertigt in einer frühen Phase der Marktentwicklung eine umfassende F&E-Förderung.

Da mittel- bis langfristig auch recycelte Batteriematerialen aus Altprodukten eine Rohstoffquelle darstellen, sollte dieser Teil der Wertschöpfungskette ebenfalls gezielt gefördert werden.

Ziel: Förderung von F&E der Batterietechnologie zur Erlangung einer Spitzenposition bei der nächsten Generation der Batterietechnologie.

Erläuterung der Maßnahme: F&E von Batterietechnologien wird seitens der Bundesregierung bereits gefördert. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert die Batterieforschung unter anderem durch das Dachkonzept „Forschungsfabrik Batterie“ mit ca. 500 Mio. Euro bis 2022. Wir empfehlen, einen Schwerpunkt auf die Förderung der nächsten Batteriegeneration zu legen. So kann frühzeitig sichergestellt werden, dass der Standort Deutschland bei der Herstellung der neuen Batterietechnologie eine Führungsrolle einnehmen wird. Bei der aktuellen Batterietechnologie (LIB) gelang es deutschen Unternehmen nicht, sich als Leitanbieter zu positionieren. Skaleneffekte und Verbundvorteile wurden von verschiedenen Herstellern in Japan, Südkorea, China und den USA realisiert. Eine umfassende F&E-Förderung dieser Batteriegeneration käme zu spät und erscheint daher nicht kosteneffizient.

Als konkretes Instrument dient:

[243] Siehe https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/HandelundVertrieb/Ladesaeulenkarte/Ladesaeulenkarte_node.html.
[244] Siehe https://ladesaeulenregister.de/.
[245] Siehe https://h2.live/.

Instrument: Fortführung des Bundesprogramms Kompetenzcluster für Feststoffbatterien (FestBatt) des BMBF
Ausgestaltung > Fortführung des Dachkonzeptes „Forschungsfabrik Batterie“ des BMBF, insbesondere des Kompetenzclusters FestBatt. > Die bisherigen und zukünftig geplanten F&E-Förderungen sollen weiterlaufen, damit Lücken in der Batteriewertschöpfungskette – vom Material über die Batteriezelle bis hin zum Batteriesystem für die jeweilige Anwendung und das entsprechende Recycling – geschlossen werden.
Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen: Anfang 2019 wurde das Dachkonzept „Forschungsfabrik Batterie“ des BMBF vorgestellt. Die Förderung des Kompetenzclusters FestBatt ist Teil davon.
Zeitlicher Horizont: Mittelfristig.

3.2.2 Maßnahme: Selektive, finanziell zurückhaltende Finanzierung des Aufbaus der gesamten Batteriewertschöpfungskette in Deutschland

Hintergrund: Bei der aktuellen LIB werden nur einzelne Wertschöpfungsstufen von deutschen Unternehmen abgedeckt, deren Marktanteile noch dazu vergleichsweise klein sind (Fraunhofer ISI, 2017).

Ziel: Staatliche Mittel bei der Förderung der Batterieproduktion in Deutschland effizient verteilen, sodass Lücken in der Batteriewertschöpfungskette am Standort Deutschland geschlossen werden können.

Erläuterung der Maßnahme: Wie oben beschrieben ist die Batterietechnologie eine General-Purpose-Technologie. Energiespeicher werden zunehmend nicht nur in Fahrzeugen, sondern in zahlreichen weiteren mobilen Anwendungen wie Konsumgütern und medizinischen Produkten eingesetzt. Unternehmen in Deutschland sollten alle Teile der Wertschöpfungskette inkl. der Kontrolle der Integrationsstufen von den Rohstoffen über Materialien und Batteriezellen weiter über das Batteriesystem bis hin zum Recycling der zukünftigen Batterietechnologie mit einer Produktion am Standort Deutschland abdecken. Batteriewertschöpfung durch einen kurzfristigen, hochsubventionierten Aufbau einer wettbewerbsfähigen *Massenproduktion* von Batteriezellen zu sichern, wäre nicht zielgerichtet. Zum einen ist die wettbewerblich sinnvolle internationale Arbeitsteilung bei der nächsten Batteriezellgeneration noch völlig offen. Zum anderen schrumpft der Wertschöpfungsanteil der Batterie am Elektrofahrzeug durch Kostendegression bereits bis 2030 erheblich und bis 2040 noch einmal signifikant. Die Batteriezelle verliert daher in Zukunft als Arbeitsplatzgarant der Elektromobilität insgesamt deutlich an Bedeutung. Auch besteht keine Gefahr einer „Abhängigkeit“ von einzelnen Anbietern oder Standorten, denn

in keinem Wertschöpfungsbereich (außer dem des Rohstoffmarkts) droht ein Monopol.[246] Die zahlreichen Anbieter aus den USA, Japan, Südkorea und China formen allenfalls ein (stabiles) Oligopol, das wettbewerbspolitisch unbedenklich erscheint.

Sollte es einen „Business-Case" für eine Batteriezellfertigung in Deutschland geben, so kann dieser am Markt – unter wettbewerblichen Rahmenbedingungen – realisiert werden. Ein umfangreicher staatlicher Mitteleinsatz schafft auch kaum Arbeitsplätze, da die Batteriezellfertigung sehr kapitalintensiv ist. Allenfalls sind Mitnahmeeffekte einer staatlichen Förderung zu erwarten. Des Weiteren kann nicht garantiert werden, dass eine hypothetische zukünftige Batteriezellproduktion nicht doch langfristig ins Ausland verlagert wird, wie es beispielsweise bei der Solartechnologie der Fall war. Insofern empfehlen wir die Förderung von Pilotprojekten entlang der gesamten Wertschöpfungskette, aber keine Subventionierung von Massenproduktionen von Batterien oder Batteriezellen.

Instrument: Förderung von Pilotprojekten zur Herstellung von Batterie- und Batteriezellprodukten

Ausgestaltung

> Förderung von Pilotprojekten, um Wissen entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Batterieproduktion in Deutschland zu generieren.
> Von einer Subventionierung in großem Umfang sollte hingegen abgesehen werden.
> In den Pilotprojekten sollte ein Schwerpunkt auf die Nutzung von erneuerbaren Energien und Nachhaltigkeit gelegt werden.

Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen:

Das BMWi stellt für forschungsnahe Aktivitäten bis hin zu einer Pilotierung einer industriellen Fertigung von Batteriezellen für mobile und stationäre Energiespeicher als Schwerpunkt im sogenannten Energie- und Klimafonds (EKF) der Bundesregierung bis zu 1 Mrd. Euro bis 2022 bereit. Auch das Dachkonzept „Forschungsfabrik Batterie" des BMBF fördert die Forschung entlang der kompletten Wertschöpfungskette der Batterie in Deutschland.

Zeitlicher Horizont: Mittelfristig.

3.3 Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

3.3.1 Maßnahme: Förderung von F&E für die Brennstoffzellentechnologie und für die Entwicklung von Brennstoffzellenfahrzeugen

Hintergrund: Um die Emissionsziele zu erreichen, wird langfristig ein Mix verschiedener Antriebe notwendig sein. Die Brennstoffzellentechnologie kann im Verkehrssektor vor allem dann Verwendung finden, wenn Elektromobilität mittels rein batterieelektrischer Fahrzeuge

246 Den Rohstoffmarkt könnte China allerdings, falls gewollt, leicht monopolisieren. Generell kann durch das Fehlen der Rohstoffe eine Teilabhängigkeit Deutschlands von den anderen marktteilnehmenden Ländern nicht gänzlich verhindert werden. Dies ändert sich aber auch nicht durch eine subventionierte Massenproduktion von Batteriezellen in Deutschland.

an ihre Grenzen stößt. Das ist primär im Bereich der Nutzfahrzeuge sowie bei der Langstreckenmobilität der Fall. FCEVs sind bereits von einigen wenigen Herstellern auf dem deutschen Markt erhältlich. Jedoch liegen die Preise dafür noch deutlich über denen von ICEs.

Ziel: Senkung der Produktionskosten von Brennstoffzellen und Brennstoffzellensystemen sowie der Produktionskosten von FCEVs.

Erläuterung der Maßnahme: Damit FCEVs ein gleichwertiges Substitut für ICEs sind, müssen unter anderem deren Produktionskosten fallen. Eine Senkung der Kosten von Brennstoffzellenanwendungen kann durch eine Förderung von F&E beschleunigt werden. Erste Anwendungen sind etwa im Bereich der Nutzfahrzeuge zu erwarten, die dann ebenfalls in den Bereich der leichten Nutzfahrzeuge sowie den Pkw-Bereich diffundieren würden.

Als konkretes Instrument dient:

Instrument: Finanzielle Förderung von F&E für Brennstoffzellenfahrzeuge
Ausgestaltung > Finanzielle Förderung von F&E-Projekten für Brennstoffzellenfahrzeuge mit dem Mindestziel einer Kleinserienproduktion. > Das Förderprogramm muss flankiert werden von einer Arbeitsgruppe, die anwendungsnah und gemeinsam mit der Industrie diskutiert, welche offenen Themen es im Bereich Serienreife und Kommerzialisierung zu adressieren gilt. > Zielsetzung muss die Marktaktivierung von FCEVs sein. Der Fokus sollte primär auf F&E im Nutzfahrzeugbereich und im Schienenverkehr liegen.
Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen: Das BMVI fördert seit 2016 F&E für Brennstoffzellen. So werden insgesamt für verschiedene Maßnahmen zwischen 2016 und 2019 250 Mio. Euro bereitgestellt, z.B. für das Forschungsvorhaben „Autostack Industrie“, bei dem ein Konsortium aus OEMs und Zulieferern die technischen Voraussetzungen für die kommerzielle Einführung von FCEVs schaffen will.
Zeitlicher Horizont: Kurzfristig.

3.3.2 Maßnahme: Langfristig angelegter Aufbau eines dichten Wasserstofftankstellennetzes in Deutschland – Vorbild Japan

Hintergrund: Um eine Marktdurchdringung von FCEVs zu gewährleisten, bedarf es neben der Senkung der Kosten einer flächendeckenden Tankstelleninfrastruktur, insbesondere an Autobahnen. Im Vergleich zur Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge ist jedoch eine weitaus niedrigere Dichte an Tankstellen notwendig, da die Reichweite von FCEVs mit der Reichweite von ICEs verglichen werden kann.

Ziel: Aufbau eines bedarfsgerechten Wasserstofftankstellennetzes, um Pilotanwendungen sowie Langstreckenmobilität mittels FCEVs sowohl im Nutzfahrzeuge- als auch im Pkw-Bereich zu ermöglichen. So kann ein klares Signal an Unternehmen und Konsumenten gesetzt werden.

Erläuterung der Maßnahme: Vorreiter im Bereich Wassersstoff ist Japan, das eine umfassende, gesamtheitliche Wasserstoff-Strategie verfolgt. Aufgrund der hohen Abhängigkeit Japans von Importen fossiler Brennstoffe soll Wasserstoff langfristig sowohl im Bereich der Mobilität als auch bei der Stromerzeugung/-speicherung fossile Brennstoffe ersetzen. Ziel ist es dort, bis 2030 mehr als 900 Wasserstofftankstellen zu errichten. Damit soll die Mobilität von rund 800.000 FCEVs gewährleistet werden. Allein 2018 hat die japanische Regierung mehr als 28 Mrd. Yen (ungefähr 240 Mio. Euro) in Wasserstoff und die Brennstoffzellentechnologie investiert, davon mehr als die Hälfte in F&E und rund ein Fünftel in den Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur. Zum Vergleich, Deutschland hat 2016 bis 2019 kumuliert 250 Mio. Euro aufgewendet.[247] Aber auch andere Länder, z.B. China, setzen verstärkt auf diese Technologie als Ergänzung im Antriebsmix.

Als konkrete Instrumente dienen:

Instrument: Erstellung einer Roadmap zum Aufbau des Wasserstofftankstellennetzes
Ausgestaltung > Erstellung einer Roadmap, die identifiziert, an welchen Verkehrspunkten weitere Wasserstofftankstellen errichtet werden müssen, um Langstreckenmobilität zu gewährleisten. > Sinnvolle Integration der bereits existierenden Wasserstofftankstellen. > Berücksichtigung des ÖPNV und des Güterverkehrs, damit diese ebenfalls von der Infrastruktur profitieren. > Berücksichtigung von Standorten, die aufgrund von bereits bestehenden Clustern oder angesiedelten Unternehmen einen besonders hohen Nutzen versprechen.
Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen: Das BMVI fördert bereits den Aufbau eines Wasserstofftankstellennetzes im Rahmen des *Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie II* (NIP II). Außerdem plant H2-Mobility, ein Konsortium aus verschiedenen Akteuren aus der Automobilindustrie und der Mineralölwirtschaft, den Aufbau eines Wasserstofftankstellennetzes voranzutreiben. Jedoch plant dieses nur den Aufbau der Infrastruktur in sieben Ballungsgebieten sowie entlang wichtiger Korridore.
Zeitlicher Horizont: Kurzfristig.

[247] Siehe https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/elektromobilitaet-mit-wasserstoff.html.

Instrument: Ausbau der finanziellen Förderung von Wasserstofftankstellen
Ausgestaltung > Förderung des Aufbaus eines Wasserstofftankstellennetzes in Deutschland anhand der in der Roadmap identifizierten Standorte. > Zusätzliche Berücksichtigung der Förderung des Aufbaus von Wasserstofftankstellen an deutschen Autobahnen.
Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen: Der Anteil der Förderung beim Aufbau eines Wasserstofftankstellennetzes durch die Bundesregierung beträgt bis zu 50% der Baukosten (NOW GmbH, 2019). Außerdem hat H2-Mobility das Ziel, bis Anfang 2020 insgesamt 100 Wasserstofftankstellen in Deutschland zu eröffnen.
Zeitlicher Horizont: Langfristig.

3.3.3 Maßnahme: Förderung der Wasserelektrolyse

Hintergrund: Bei Wasserstoff handelt es sich um eine General-Purpose-Technologie. Sogenannter „grüner“ Wasserstoff – der mittels erneuerbarer Energie erzeugt wird – kann als Energieträger langfristig einen signifikanten Beitrag zur Verkehrs- und Energiewende leisten. Seit der Renewable Energy Directive II (RED II) von 2018, welche zügig in nationales Recht umzusetzen ist, kann auch grüner Wasserstoff den erneuerbaren Energiequellen zugerechnet werden. Aus Wasserstoff können in einem zweiten Produktionsschritt synthetische Kraftstoffe hergestellt werden.

Die Herstellung von grünem Wasserstoff erfolgt meistens mittels Elektrolyse unter der Aufwendung von erneuerbarem Strom. Die Kosten zur Herstellung von Wasserstoff mittels Wasserelektrolyse sind mit derzeit rund 10 Euro/kg in Deutschland noch hoch, da sie eng an den Strompreis gebunden sind (NOW GmbH, 2018). Laut Berechnungen der NOW ist je nach Kombination verschiedener Instrumente und Skalierung der Anlagen eine rasche Senkung der Kosten in Deutschland auf 5 Euro/kg und mittelfristig unter 1 Euro/kg möglich (NOW GmbH, 2018). Auch durch die Verlagerung der Herstellung an Standorte mit niedrigeren Stromkosten können die Kosten gesenkt werden.

Deutsche Unternehmen befinden sich bei der Herstellung von Elektrolyseanlagen bereits in einer guten Ausgangslage, sodass auf bereits bestehendem Wissen und Erfahrungen aufgebaut werden kann. So sind deutsche Hersteller von Elektrolyseuren sowie im Chemieanlagenbau bereits Leitanbieter (NPM, 2019a). Die meisten Exporte von Elektrolyseuren stammen derzeit aus Deutschland (Frontier Economics und IW, 2018).

Ziel: Senkung der Wasserstoffgestehungskosten und eine Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von Wasserstoff als Energieträger der Zukunft.

Erläuterung der Maßnahme: Um grünen Wasserstoff als Energieträger wettbewerbsfähig zu machen, bedarf es einer Senkung der Wasserstoffgestehungskosten. Denn erst, wenn

die Kosten von Wasserstoff mit denen anderer, fossiler Energieträger vergleichbar sind, besteht für alle Konsumenten ein Anreiz, auf Wasserstoff- und Brennstoffzellensysteme umzusteigen. Wenn sich die Technologie weltweit durchsetzt, könnten deutsche Anbieter ihr Wissen und ihre Erfahrung beim Aufbau der Produktionsanlagen exportieren.

Die Senkung der Wasserstoffgestehungskosten kann etwa über eine Kombination bzw. Interaktion aus Skaleneffekten und technischem Fortschritt sowie Anpassungen der rechtlichen Rahmenbedingungen gewährleistet werden. Die folgenden Instrumente setzen bei diesen Punkten an.

Instrument: Ausweitung der Förderung von F&E zur Wasserelektrolyse inkl. der Evaluation regulatorischer Maßnahmen zur Marktaktivierung

Ausgestaltung

> Fortführung der Bereitstellung finanzieller Mittel für F&E-Projekte im Bereich der Wasserelektrolyse.
> Fokus auf die Erreichung von Serienreife und Kommerzialisierung von Produkten.
> Identifikation offener Forschungsfragen, die für Marktaktivierung der Wasserelektrolyse eine Rolle spielen, durch Zusammenarbeit mit Industrie und Forschungsinstituten. Forschungsvorhaben bezüglich dieser Fragestellungen gilt es anschließend besonders zu fördern.
> Zudem Evaluation regulatorischer Maßnahmen, die dazu beitragen, Elektrolyse wirtschaftlich zu gestalten sowie regulatorische Lücken zu schließen.
> Aufstockung des jährlichen Fördervolumens, da deutsche Unternehmen durch ihre Leitanbieterposition langfristig von Exporten wichtiger Komponenten für Wasserelektrolyseanlagen profitieren können.

Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen:

Die Bundesregierung fördert bereits im Rahmen des 7. Energieforschungsprogrammes und des NIP II F&E der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, darunter auch den Bau von Wasserelektrolyseanlagen. Einzelne F&E-Projekte zur Wasserelektrolyse lassen sich ebenfalls darunter finden. Zudem fördert das BMWi verschiedene Reallabore für die Herstellung von Wasserstoff und hat bereits verkündet, eine Wasserstoffstrategie zu entwickeln. Auch hat die NOW GmbH im Auftrag des BMVI bereits eine Roadmap zur Marktaktivierung der Wasserelektrolyse erstellt. Darüber hinaus hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) einen „Aktionsplan Power-to-X“ erstellt, der unter anderem die Gründung eines PtX-Kompetenzzentrums in der Energieregion Lausitz vorsieht.[248]

Zeitlicher Horizont: Kurzfristig.

[248] Unter Power-to-X wird die Herstellung von Wasserstoff sowie gasförmiger oder flüssiger synthetischer Kraftstoffe zusammengefasst. Für Informationen zum Aktionsplan siehe (BMU ,2019).

3.4 Synthetische Kraftstoffe

3.4.1 Maßnahme: F&E-Förderung synthetischer Kraftstoffe in Deutschland

Hintergrund: Synthetische Kraftstoffe können vor allem in der Bestandsflotte von Pkw sowie bei Nutzfahrzeugen, im Schiffs- sowie im Luftverkehr einen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten. Durch die RED II von 2018 können sie zukünftig auch den erneuerbaren Energiequellen zugerechnet werden, sobald diese in nationales Recht umgesetzt worden ist.

Ebenso wie die Wasserstoffgestehungskosten sind die Kosten zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe in Deutschland mit aktuell bis zu 4,50 Euro pro Liter Dieseläquivalent noch hoch (dena, 2017). Eine Senkung der Kosten auf rund 1 Euro pro Liter Dieseläquivalent ist laut verschiedener Studien bis 2050 möglich (dena, 2017; Prognos, DBFZ und UMSICHT, 2018). Neben der Senkung der Wasserstoffgestehungskosten (siehe oben genannte Maßnahme) ist dies zusätzlich durch eine Kombination aus (1) technologischem Fortschritt, (2) Senkung der Stromkosten (etwa durch eine Herstellung an Standorten mit niedrigen Stromkosten) und (3) Skaleneffekten möglich.

Ziel: Förderung von F&E zur Senkung der Herstellungskosten synthetischer Kraftstoffe.

Erläuterung der Maßnahme: Um synthetische Kraftstoffe als Energieträger wettbewerbsfähig zu machen, bedarf es einer Senkung der Herstellungskosten. Nur so können sie einen Beitrag zur Senkung der Emissionen im Verkehrssektor leisten.

Als konkretes Instrument dient:

Instrument: Förderung von F&E zur Herstellung klimaneutraler synthetischer Kraftstoffe

Ausgestaltung

> Fortführung der Bereitstellung finanzieller Mittel für F&E-Projekte zu synthetischen Kraftstoffen.
> Prüfung notwendiger Rahmenbedingungen.
> Fokus der Förderung sollte auf Anwendungsfällen liegen, bei denen eine Elektrifizierung nur schwer umsetzbar ist, wie z.B. dem Schiffs- oder Luftverkehr.

Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen:

Das BMWi fördert bereits zahlreiche Projekte im Rahmen der Förderbekanntmachung „Energiewende im Verkehr: Sektorkopplung durch die Nutzung strombasierter Kraftstoffe“ des Energieforschungsprogrammes mit 87 Mio. Euro. Darunter fallen etwa Forschungsvorhaben zur Herstellung von Dieselsubstituten oder synthetischem Kerosin sowie zur möglichen Rolle bestimmter Regionen in der Herstellung synthetischer Kraftstoffe. Auch das BMU fördert synthetische Kraftstoffe im Rahmen des Aktionsprogramms Power-to-X (BMU, 2019).

Zeitlicher Horizont: Kurzfristig.

3.4.2 Maßnahme: Selektive, finanziell zurückhaltende Finanzierung des Aufbaus der gesamten Wertschöpfungskette klimaneutraler synthetischer Kraftstoffe in Deutschland

Hintergrund: Zur Herstellung klimaneutraler synthetischer Kraftstoffe sind große Mengen an Strom notwendig. Bisher gibt es weltweit erst wenige Versuchsanlagen zur Herstellung des Wasserstoffes, der für synthetische Kraftstoffe benötigt wird, sowie für die synthetischen Kraftstoffe selbst. Der Markt befindet sich aktuell in einer frühen Entwicklungsphase. Weder haben sich einzelne Länder noch einzelne Hersteller in der Entwicklung der Technologie abgesetzt, sodass sich deutsche Unternehmen noch an die Spitze setzen können.

In Deutschland scheint eine Herstellung synthetischer Kraftstoffe aufgrund der dafür benötigten großen Mengen an Energie nur bedingt sinnvoll. Eine Herstellung im Ausland, beispielsweise mittels Solarenergie in der Wüste, könnte den Nachteil im Wirkungsgrad synthetischer Kraftstoffe hingegen kompensieren. Denn die Herstellung synthetischer Kraftstoffe ist zwar weitaus energie*ineffizienter* als etwa die direkte Verwendung des Stroms in BEVs oder PHEVs, ohne synthetische Kraftstoffe würde das Potenzial einiger Energiequellen, wie z.B. der Solarenergie in sonnenreichen Regionen, möglicherweise aber nicht vollständig ausgeschöpft werden. Auch ist die direkte Verwendung von Strom nicht bei allen Verkehrsträgern in absehbarer Zeit (z.B. bei Schiffen) möglich.

Ziel: Senkung der Herstellungskosten klimaneutraler synthetischer Kraftstoffe und Aufbau der kompletten Wertschöpfungskette in Deutschland – inkl. Anlagen zur Wasserelektrolyse.

Erläuterung der Maßnahme: Mehrere Studien zeigen, dass die europäischen Klimaziele nur durch einen Mix verschiedener Antriebsarten und Maßnahmen, unter anderem auch synthetischer Kraftstoffe, erreicht werden können (dena, 2018c; Agora Verkehrswende, Agora Energiewende und Frontier Economics, 2018; Prognos, DBFZ und UMSICHT, 2018). Eine umfassende Förderung aus deutschen Steuermitteln für eine umfangreiche Produktion synthetischer Kraftstoffe in energiewirtschaftlichen Größenordnungen in Deutschland ist jedoch nicht kosteneffizient. Langfristig könnte der notwendige Strom durch erneuerbare Energie in geeigneten Regionen gewonnen werden und auch vor Ort genutzt werden, um synthetische Kraftstoffe herzustellen. Diese könnten dann nach Europa transportiert werden.

Für den Fall, dass sich der Weltmarkt für synthetische Kraftstoffe doch rasant entwickelt, könnten deutsche Anbieter Know-How beim Aufbau von großen Produktionsanlagen exportieren. Entsprechend empfehlen wir eine Förderung der Produktion von klimaneutralen synthetischen Kraftstoffen in Pilotprojekten und ersten skalierten Produktionsanlagen, inkl. des Aufbaus der gesamten Wertschöpfungskette. Wir empfehlen jedoch keine Förderung großer Produktionsanlagen.

Instrument: Förderung von Pilotprojekten zur Herstellung klimaneutraler synthetischer Kraftstoffe
Ausgestaltung > Förderung von Pilotprojekten, um die gesamte Wertschöpfungskette synthetischer Kraftstoffe in Deutschland abzudecken. > Von einer Subventionierung in großem Umfang sollte hingegen abgesehen werden.

> Voraussetzung für die Förderung sollte sein, dass für die Wasserelektrolyse ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energien verwendet wird und der hergestellte Wasserstoff zur Verminderung der CO_2-Emissionen führt, indem fossile Energieträger in ihrer Anwendung durch die hergestellten synthetischen Kraftstoffe ersetzt werden.

Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen:

Die Bundesregierung fördert bereits im Rahmen der Forschungsinitiative „Energiewende im Verkehr“ erste Projekte, die Pilotanlagen aufbauen, so z.B. das Projekt FlexDME an der TU Clausthal. Auch auf Seite der Industrie gibt es Bestrebungen, die Herstellung synthetischer Kraftstoffe zu fördern. Ein Beispiel dafür ist das Markteinführungsprogramm der Power to X Allianz (Power to X Allianz, 2019).

Zeitlicher Horizont: Kurzfristig.

4. Vernetztes und automatisiertes Fahren und Shared Mobility

Vernetztes und automatisiertes Fahren sowie Shared Mobility sind unverkennbare Trends im Mobilitätssektor. Sowohl die Regulierung als auch der Aufbau der digitalen Infrastruktur können den strukturellen Wandel hemmen oder auch beschleunigen. Im Unterschied zum Strukturwandel, der durch Elektromobilität ausgelöst wird, ist die Geschwindigkeit des Transformationsprozesses noch sehr unsicher.

Um Arbeitsplätze in Deutschland zu halten, muss den Unternehmen eine Möglichkeit zur Entwicklung und zum **Testen neuer Technologien** gegeben werden (z.B. Reallabore). Dabei geht es um die allgemeine Verbesserung standortpolitischer Rahmenbedingungen für innovative Formen der Mobilität – nicht etwa um eine Förderung der Automobilindustrie. Darüber hinaus muss ein besseres Verständnis der Auswirkungen von Shared Mobility auf das Konsumentenverhalten erlangt werden. So kann den Unternehmen mehr Investitionssicherheit gegeben werden.

Aufgrund der immensen Auswirkungen des vernetzten und automatisierten Fahrens in Verbindung mit Shared Mobility bedarf es eines systematischen Ansatzes. **Übergeordnete Maßnahmen** sollen die allgemeine Entwicklung des vernetzen und automatisierten Fahrens fördern sowie die Transparenz über die möglichst im Gleichlauf fortschreitende Entwicklung der Rahmenbedingungen garantieren. Darauf aufbauend sorgt der **Aufbau der digitalen Infrastruktur** und der entsprechenden **Datenstandards** dafür, dass automatisierter Verkehr in der Breite in hinreichender Qualität tatsächlich realisiert werden kann. Ist die digitale Infrastruktur gegeben, können neue Fahrfunktionen potenziell auf die Straße gebracht werden – vorausgesetzt die Serienzulassung bzw. Erprobungsgenehmigung wird effizient ermöglicht. Entsprechende Handlungsempfehlungen werden im Kapitel **Automatisierte Fahrfunktionen im Straßenverkehr** formuliert. Arbeitsplatzrelevante Wertschöpfung kann schließlich dann erzeugt werden, wenn die Fahrzeuge und Funktionen im Rahmen tragfähiger Geschäftsmodelle betrieben werden. Die dafür notwendigen Rahmenbedingungen und daraus abgeleiteten notwendigen Maßnahmen werden unter **Neue Geschäftsmodelle** beschrieben.

4.1 Übergeordnete Maßnahmen

4.1.1 Maßnahme: Transparenz über Roadmaps und deren Stand der Umsetzung

Übergeordnete Maßnahmen adressieren die Entwicklung des Themenfeldes als Ganzes. In diesen Bereich fallen etwa die generelle Erhöhung der Transparenz sowie die gesteigerte Förderung der relevanten Forschung und Entwicklung im Allgemeinen.[249]

Hintergrund: Bei vernetztem und automatisiertem Fahren handelt es sich um ein Gebiet, das eine Vielzahl an Ministerien sowie Unternehmen unterschiedlicher Branchen betrifft. Es sind unterschiedliche Ministerien, Referate und Gremien in die Thematik involviert, welche bereits eine Vielzahl an Maßnahmen entworfen und initiiert haben. Beispielsweise haben das BMWi, BMVI und das BMBF einen „Aktionsplan Forschung für autonomes Fahren“ entwickelt.

Es ist jedoch aufgrund fehlender Transparenz schwierig nachzuvollziehen, welche Maßnahmen bereits initiiert worden sind und welche Probleme bereits diskutiert werden. Dies gibt den Unternehmen – ähnlich wie bei den Infrastrukturplänen bei Elektromobilität – zu wenig Planungssicherheit.

Ziel: Übersicht zu Vorschlägen und Maßnahmen, die sich bereits in der Umsetzung befinden oder bereits vollständig umgesetzt worden sind. Außerdem sollte erkennbar sein, welche Institutionen, Gremien oder Firmen daran beteiligt sind.

Erläuterung der Maßnahme: Transparenz hinsichtlich der Roadmaps und deren Stand der Umsetzung ist eine Grundlage für alle beteiligten Akteure des vernetzten und automatisierten Fahrens, da somit Kosten durch die Suche nach Informationen auf allen Seiten verringert werden können. Zum einen können Unternehmen aber auch Forschungseinrichtungen zukünftige Aktivitäten besser abschätzen und erhalten somit Planungssicherheit. Zum andern kann auch für Teile der Regierung, Ministerien oder Gremien die zukünftige Arbeit effizienter gestaltet werden. Darüber hinaus wird die Anzahl zukünftiger Roadmaps weiter zunehmen, sodass es immer schwieriger werden wird, einen Überblick zu behalten.

Als konkretes Instrument dient:

Instrument: Einrichtung einer zentralen Online-Plattform
Ausgestaltung > Einrichtung einer zentralen Plattform/Abteilung, welche bestehende Roadmaps über alle Bundesministerien und Arbeitsgruppen hinweg zentralisiert und jährlich veröffentlicht, inwiefern die Roadmaps umgesetzt worden sind. > Hierbei ist als Vorbild die NPM zu nennen, wo verschiedene Roadmaps zusammengeführt werden, so dass eine einheitliche Roadmap existiert, anhand der Maßnahmen abgeleitet werden können.

[249] Empfehlungen, welche die Entwicklung spezifischer Geschäftsmodelle adressieren, werden in Kap. 3.4 behandelt.

> Mögliche Inhalte:
  – Wie hat sich die Mobilfunkabdeckung entwickelt?
  – Wo wurde bereits eine intelligente Verkehrsinfrastruktur aufgebaut?
  – Wo könnten SAE-Level > 3 theoretisch getestet werden?
  – Welche Normen und Standards hinsichtlich der Verarbeitung und Weitergabe von Daten wurden festgelegt?
  – Welche Institutionen und Foren gibt es, die sich mit dem Thema befassen?
  – Welche Vorschläge werden nicht umgesetzt?

Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen:

Es existiert eine Vielzahl an Plattformen und Gremien, die sich intensiv mit den Rahmenbedingungen des vernetzten und automatisierten Fahrens auseinandersetzen und hierzu Handlungsempfehlungen geben. Dazu zählen etwa die NPM oder die Plattform Digitale Netze und Mobilität. Jedoch gibt es bisher keine Übersicht über alle laufenden Aktivitäten.

Zeitlicher Horizont: Kurzfristig.

4.1.2 Maßnahme: Kontinuierliche Förderung der Forschung und Entwicklung

Hintergrund: Eine erfolgreiche Technologieentwicklung ist die Grundlage aller weiteren Wertschöpfungsschritte im Bereich des vernetzten und automatisierten Fahrens sowie Voraussetzung für eine Leitanbieterschaft deutscher Unternehmen. Dem hohen F&E-Aufwand im Bereich des vernetzen und automatisierten Fahrens steht eine große Unsicherheit über zukünftige rechtliche Rahmenbedingungen und damit die Frage der Amortisierung der anfallenden Investitionskosten gegenüber. Dennoch finden entsprechende Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten bereits in großem Umfang vor allem bei Fahrzeugherstellern und Zulieferern, aber auch öffentlich in Hochschulen und Forschungseinrichtungen, statt.

Vielfach stehen interdisziplinäre Fragestellungen im Vordergrund, wie sie in diesem Umfang im Bereich der Fahrzeugentwicklung bislang nicht bekannt waren. Hier sind etwa Erkenntnisse hinsichtlich der Interaktion zwischen Nutzer und Fahrzeug relevant, welche beispielsweise von den Ingenieurwissenschaften und der Psychologie nur gemeinsam erlangt werden können. Weitere Beispiele betreffen etwa das Zusammenspiel mit den Rechtswissenschaften. Das Feld der Forschungsbedarfe wurde bereits durch umfangreiche Arbeiten, z.B. des „Runden Tischs Automatisiertes Fahren“, inhaltlich transparent beleuchtet.

Ziel: Unternehmen und Forschungsinstitute auch weiterhin bei der Erforschung der relevanten Fragestellungen unterstützen, um zu den Leitanbietern im Bereich des vernetzen und automatisierten Fahrens zählen zu können und somit Arbeitsplätze langfristig in Deutschland zu sichern.

Erläuterung der Maßnahme: Hochqualitative Forschung und Entwicklung bietet – neben der Entwicklung entsprechender Rahmenbedingungen – die Grundlage für eine rasche Markteinführung automatisierter Fahrfunktionen. Damit zusammenhängend kann die Wertschöpfung in Deutschland zumindest anteilig gesichert werden.

Instrument: Förderung von F&E zum vernetzten und automatisierten Fahren
Ausgestaltung > Ausbau der finanziellen Förderung von F&E-Projekten zum vernetzten und automatisierten Fahren. > Gezielte Adressierung von Kooperationen zwischen verschiedenen Akteuren aus Industrie und Forschung, um von Spillover-Effekten profitieren zu können. > Inhaltliche Ausgestaltung auf Basis anerkannter Dokumente, z.B. gemäß des durch den Runden Tisch Automatisiertes Fahren gemeldeten Forschungsbedarfs oder auf Basis des VDI Statusreports Automatisiertes Fahren.
Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen: BMBF, BMWi und BMVI haben bereits einen Aktionsplan Forschung für autonomes Fahren veröffentlicht und planen eine umfassende Förderung für F&E zum autonomen Fahren. Das BMWi fördert z.B. jährlich die Entwicklung neuer Fahrzeug- und Systemtechnologien mit ungefähr 60 Mio. Euro.[250]
Zeitlicher Horizont: Mittelfristig.

4.2 Digitale Infrastruktur und Datenstandards

Die digitale Infrastruktur ermöglicht die Kommunikation des einzelnen Fahrzeuges mit anderen Fahrzeugen, der Infrastruktur oder anderen Akteuren des Mobilitätssystems. Der strukturierte Ausbau der digitalen Infrastruktur inkl. der zugrundeliegenden Konzepte im Detail, z.B. Datenstandards, ist ein wesentlicher Faktor für die Markteinführung vernetzter und automatisierter Fahrzeuge und damit auch für die Etablierung darauf beruhender Geschäftsmodelle.

4.2.1 Maßnahme: Konsequente Verfolgung der Ausbaupläne

Eine gut ausgebaute digitale Mobilfunkinfrastruktur spielt für die Entwicklung des vernetzten und automatisierten Fahrens eine wichtige Rolle, auch wenn sie nur ein Teil der kompletten „intelligenten“ Infrastruktur ist. Derzeit lässt sich ableiten, dass langfristig Glasfaser das zukunftssicherste und skalierbarste Übertragungsmedium ist, um die erwarteten Anforderungen von 5G hinsichtlich Datenrate, Latenz und Ausfallsicherheit zu ermöglichen (Plattform Digitale Netze und Mobilität, 2017). Zwischen 10 und 12 Mrd. Euro hat die Bundesregierung bereits im Koalitionsvertrag für den Ausbau eines flächendeckende Glasfaser-Netzes in der aktuellen Legislaturperiode vorgesehen (Bundesregierung, 2018). Es wird empfohlen, die Ausbaupläne, auch im Rahmen des strukturierten Ansatzes der „5G-Strategie für Deutschland“, intensiv weiter voran zu treiben.[251]

[250] Siehe https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2018/20181204-bmwi-verstaerkt-forschungsfoerderung-fuer-automatisiertes-und-vernetztes-fahren.html.

[251] Entsprechende Maßnahmen zum Ausbau der 5G-Infrastruktur werden bereits in der „5G-Strategie für Deutschland“ beschrieben. Auf die Formulierung des Ausbaus als explizite Maßnahme bzw. Instrument wird daher in diesem Zusammenhang verzichtet.

4.2.2 Maßnahme: Evaluation von Maßnahmen und deren Mitteleinsatz bzgl. des Aufbaus der digitalen Mobilfunkinfrastruktur

Hintergrund: Sollten die für den Ausbau der digitalen Infrastruktur vorgesehenen hohen Investitionssummen nicht effizient genutzt werden, besteht ein hohes Risiko dafür, bestehendes Vertrauen der Bevölkerung zu unterminieren.

Ebenfalls im Koalitionsvertrag festgehalten ist, dass die Frequenzpolitik und die frequenzregulatorischen Festlegungen der Regulierungsbehörde eine verlässliche und lückenlose Mobilfunkversorgung insbesondere im ländlichen Raum sicherstellen müssen.

Ziel: Wirksamkeit und Effizienz von Fördermaßnahmen wissenschaftlich fundiert und unabhängig untersuchen.

Erläuterung der Maßnahme: Der Ausbau der digitalen Infrastruktur Deutschlands wird in den kommenden Jahren immense Kosten verursachen. Eine methodisch saubere Politikevaluation gewinnt sowohl in der EU als auch in Deutschland immer mehr an Bedeutung. Die EU hat daher bereits Richtlinien für die Erstellung einer Evaluation verfasst und das BMWi hat sich zur Einhaltung von Standards für die Evaluation verpflichtet. Vor dem Hintergrund der steigenden Bedeutung der Evaluation wird es wichtig sein, die hohen Kosten des Infrastrukturausbaus zu überwachen.

Als konkretes Instrument dient:

Instrument: Beauftragung eines kontinuierlichen Monitorings und einer ex ante begleitenden sowie ex post Evaluation des Mitteleinsatzes beim Aufbau der digitalen Infrastruktur
Ausgestaltung > Beauftragung eines Monitorings des Mitteleinsatzes beim Ausbau des Glasfasernetzes und des Mobilfunknetzes in Deutschland. Das Monitoring sollte sowohl ex-ante begleitend als auch ex-post erfolgen. > Evaluation des Mitteleinsatzes anhand der Standards der „Better Regulation Guidelines“ der Europäische Kommission.
Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen: Die Bundesregierung sieht in der aktuellen Legislaturperiode bis zu 12 Mrd. Euro für den Ausbau der digitalen Infrastruktur vor. Das ist mehr als das BMWi 2018 insgesamt für Fördermittel vorgesehen hatte. Bei der Verwendung von Fördermitteln ist eine Evaluation bereits durch die Bundeshaushaltsordnung (BHO) vorgesehen. Darüber hinaus gilt es auf europäischer Ebene die Better Regulation Guidelines der Europäischen Kommission zu berücksichtigen. Diese Leitlinien für eine bessere Rechtsetzung enthalten die Grundsätze, denen die Europäische Kommission bei der Ausarbeitung neuer Initiativen und Vorschläge sowie bei der Umsetzung und Bewertung bestehender Rechtsvorschriften folgt.
Zeitlicher Horizont: Mittelfristig.

4.3 Automatisierte Fahrfunktionen im Straßenverkehr

Um Wertschöpfung in Deutschland halten zu können, müssen in Deutschland ansässige Unternehmen zu den Leitanbietern neuer Fahrfunktionen zählen. Die folgenden Maßnahmen zielen daher darauf ab, die Einführung neuer Fahrfunktionen in Deutschland zu beschleunigen.

4.3.1 Maßnahme: Erprobung automatisierter Fahrfunktionen weiter fördern und Einsatzradius schrittweise vergrößern

Hintergrund: Im Zuge der Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen ist eine frühzeitige Erprobung schon vor der Serienzulassung der Fahrzeuge für die Technologie- und Geschäftsmodellentwicklung unerlässlich. Bereits bei der Erprobung in Reallaboren entstünden nicht nur Wertschöpfung und zusätzliche Arbeitsplätze in Deutschland, sondern auch der Industriestandort Deutschland gewänne durch die Möglichkeit des Testens für weitere Unternehmen an Attraktivität. Hierzu gibt es in Deutschland bereits eine Reihe an Testgebieten bzw. Reallaboren, um verschiedene Stufen des automatisierten Fahrens auch ohne Serienzulassung der Fahrfunktionen und Fahrzeuge zu erproben. Und auch für den weiteren Ausbau von Testfeldern zeigt die deutsche Politik eine hohe Investitionsbereitschaft.

Tatsächlich bestehen in Deutschland jedoch weiterhin praktische Hemmnisse: Die deutsche StVZO ermöglicht es zwar, eine Betriebserlaubnis für Einzelfahrzeuge zu erteilen, verweist dabei aber auf die jeweiligen Bezirksregierungen. Die im Einzelfall jeweils an Fahrzeug und Fahrzeugbetrieb gestellten konkreten Anforderungen sind jedoch lokal, sowie landes- und bundesweit nicht immer deckungsgleich. National detaillierte und vereinheitlichte Anforderungsprofile oder Guidelines existieren nicht. Infolgedessen ergeben sich für die beteiligten Akteure Kostenanstiege sowie Zeitverzögerungen, z.B. in der Entwicklung aufgrund von Unsicherheiten. Eine beobachtbare Auswirkung ist, dass sich einige OEMs, Zulieferer und Start-ups aufgrund liberaler Gesetzgebung bei ihren Erprobungsaktivitäten bislang auf die USA konzentrieren.

Ziel: Unternehmen und Forschungsinstitute die Möglichkeit geben, ihre neuen Technologien in Deutschland zu testen, um (1) Wertschöpfung, die aufgrund der Automatisierung wegfallen könnten, langfristig in Deutschland zu sichern und (2) aus der Erprobung Erfahrungen hinsichtlich des rechtlichen und regulatorischen Anpassungsbedarfs zu sammeln.

Erläuterung der Maßnahme: Ein integraler Bestandteil dieses Ziels ist, dass F&E in Deutschland möglich ist. In Deutschland ansässige Unternehmen können sich nämlich nur dann als Leitanbieter durchsetzen, wenn sie weiterhin intensiv F&E betreiben. Dazu muss Unternehmen und Forschungseinrichtungen die Möglichkeit gegeben werden, neue Technologie im realen Straßenverkehr zu testen, um sie perspektivisch in Volumenanwendungen einführen zu können.

Instrument: Vereinfachung des Prozesses zur Genehmigung der Erprobung automatisierter Fahrfunktionen durch einheitliche Mindeststandards

Ausgestaltung

> Schaffung von einheitlichen Mindeststandards für Fahrzeug und Betrieb, welche bereits unabhängig vom konkreten Anwendungsfall definiert werden können. Die Mindeststandards sollen dabei zu Gunsten der Übertragbarkeit auf ein breites Feld von Anwendungsfeldern abstrahiert, dabei jedoch so konkret wie möglich werden. Auf eine nicht innovationshemmende Definition der Mindeststandards soll geachtet werden.

> Fortlaufende Präzisierung dieser Mindeststandards im Gleichschritt mit der Weiterentwicklung von Technologie und Geschäftsmodellen unter enger Zusammenarbeit mit Industrie und Forschung.

> Transparente, fortlaufende Dokumentation der Mindeststandards.

Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen:

Bisher wird eine Vielzahl an Testfeldern bzw. Reallaboren durch die Bundesregierung gefördert. Um diese auch entsprechend auszulasten, ist ein einfacher Zugang notwendig. Mit der Kommunikations- und Koordinierungsplattform Automatisiertes Fahren (KOAF) steht für allgemeine Anfragen zu den Testfeldern oder bei Interesse an deren Nutzung bereits eine Informationsquelle zur Verfügung. Beratung zu Zulassungsfragen bietet beispielsweise im Rahmen des Projektes Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg der TÜV SÜD. Experten des Dienstleistungsunternehmens beantworten Anfragen zu den Voraussetzungen der Testfeld-Zulassung und bieten individuelle Unterstützungsleistungen an.[252]

Zeitlicher Horizont: Kurzfristig.

4.3.2 Maßnahme: Transparenz über aktuelle und zukünftige Anforderungen an den Serienbetrieb automatisierter Fahrfunktionen schaffen

Hintergrund: Weltweit forschen Unternehmen, Universitäten und Institute an der Technologie zum vernetzten und automatisierten Fahren. Dabei wissen sie teilweise nicht, wann die Ergebnisse ihrer F&E-Tätigkeiten auch rechtlich zugelassen werden. Vor allem für Unternehmen ist es wichtig zu wissen, ob und wann sie ihre Produkte und Technologien auf den Markt bringen können, um die hohen Kosten für F&E zu amortisieren. Im Bereich des automatisierten Fahrens überschreiten diese Unsicherheiten das reguläre unternehmerische Risiko anderer Technologiebereiche. Kenntnisse zu langfristigen rechtlichen Rahmenbedingungen sind für die Akteure wichtig, damit sie entsprechende Strategien erstellen und Prioritäten bei F&E setzen können.

Die bedeutendste Lücke der rechtlichen Rahmenbedingung in diesem Zusammenhang ist nach wie vor die fehlende Möglichkeit der Serienzulassung automatisierter Fahrfunktionen. Die Einzelgenehmigung automatisierter Fahrfunktionen ist nur für Erprobungszwecke in begrenztem Umfang ein praktikabler Weg. Nach wie vor verhindert beispielsweise die

[252] Siehe https://taf-bw.de/service/zulassungsanfragen/.

Richtlinie R79 der UNECE zu Lenksystemen eine Serienzulassung von hoch- oder vollautomatisierten Fahrzeugen. Die Bundesregierung bringt sich zwar in die entsprechende Überarbeitung der kritischen Regularien mit ein, hat aber aufgrund des internationalen Charakters der UNECE-Regularien nur begrenzt direkte Durchgriffsmöglichkeiten. Die Handlungsmöglichkeit besteht vielmehr darin, fortlaufend Transparenz über den gegenwärtigen Stand der Anforderungen zur Serienzulassung zu schaffen sowie fortlaufend mit nationalen Aktivitäten in Einklang zu bringen.

Zielsetzung: Schaffung von Transparenz über Anforderungen bei zukünftigem Serienbetrieb neuer automatisierter Fahrfunktionen.

Erläuterung der Maßnahme: Damit Deutschland Leitmarkt für automatisierte Fahrfunktionen wird, müssen neue automatisierte Fahrfunktionen so schnell wie möglich vor Ort eingeführt werden, sobald dies legislativ ermöglicht wird. Gegenwärtig können aufgrund der noch fehlenden Anpassung von internationalen UNECE-Richtlinien nur Ausnahmegenehmigungen zur Erprobung erteilt werden, welche aber noch keine Breitenanwendung der Technologien ermöglichen. Es ist gegenwärtig noch unklar, wann es rechtlich möglich ist, weitere Funktionen einzuführen. Somit kann es etwa zu Ineffizienzen kommen, da beispielswiese hohe Summen in F&E investiert werden, die entwickelten Funktionen aber erst deutlich später auf deutschen Straßen erlaubt sind. Um solche Ineffizienzen zu vermeiden und den Unternehmen Planungssicherheit zu geben, ist es wichtig, einen Überblick über den rechtlichen Rahmen zu behalten. Deshalb muss der Dialog zwischen Forschung, Industrie und Politik vorangetrieben werden, damit Technologieentwicklung und Gesetzgebung im gleichen Takt laufen.

Als konkretes Instrument dient:

Instrument: Gemeinsame Erarbeitung eines Vorgehens von Forschung, Industrie und Politik, welches die zukünftige Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen beschreibt und die fortlaufende Verfeinerung der zu definierenden Mindeststandards vorantreibt.

Ausgestaltung

> Generell: Intensivierung des regelmäßigen Dialogs zwischen Politik, Forschung und Industrie, Ergänzung der engen Zusammenarbeit im Rahmen der NPM.
> Fortgeführte intensive Unterstützung der legislativen Prozesse und Einbringen in den jeweiligen Gremien auf europäischer und internationaler Ebene
> Verständigung auf gemeinsame Roadmap hinsichtlich Zielsetzungen und Entwicklungsbedarfen sowie deren transparente Kommunikation
> Konkretes Produkt: Aufgreifen des Katalogs der Mindestanforderungen (siehe Erprobung automatisierter Fahrfunktionen) und zunehmende Verfeinerung analog zum Fortschritt der übergeordneten legislativen und technologischen Entwicklungen. Dabei Fokus auf Mindeststandards, welche in den Bereich der nationalen Gesetzgebung fallen, z.B. zum Betrieb der Fahrzeuge.

Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen: Die NPM dient als wichtige Plattform für den Dialog zwischen Industrie und Politik. Darüber hinaus wurde im durch das vom BMWi geförderte Projekt PEGASUS ein erstes gemeinsames Vorgehen erarbeitet.[253]
Zeitlicher Horizont: Kurzfristig.

4.4 Neue Geschäftsmodelle

Nur wenn alle im Vorigen beschriebenen Glieder der Entwicklungs- und Wertschöpfungskette – die erfolgreiche Forschung und Entwicklung, der Aufbau der digitalen Infrastruktur sowie die Erprobung der automatisierten Fahrfunktionen und deren Serienzulassung – erfolgreich absolviert werden, kann das vernetzte und automatisierte Fahren in der Breite Wirkung entfalten. Dafür ist zusätzlich notwendig, dass optimale Geschäftsmodelle gefunden, ggfs. mit existierenden Geschäftsmodellen verzahnt, und anschließend erfolgreich im Markt etabliert werden.

4.4.1 Maßnahme: Schaffung von Transparenz im Bereich der Datenökonomie zur Förderung neuer Geschäftsmodelle

Hintergrund: Durch das vernetzte und automatisierte Fahren entsteht eine Vielzahl an Daten und somit die Möglichkeit neuer Umsatzpotenziale sowie neuer Geschäftsmodelle. Um dieses Potenzial vollständig nutzen zu können, ist es wichtig, mögliche Hemmnisse neuer Geschäftsmodelle frühzeitig zu erkennen und zu beseitigen. Unter anderem müssen etablierte Unternehmen der Automobilwirtschaft als auch Start-ups und nachgelagerte Zulieferer einfach und zu fairen Bedingungen Datenzugang erhalten können. Industrieseitig wurde z.B. mit dem NEVADA-Konzept bereits eine technische Architektur für einen solchen Datenzugang vorgeschlagen. Darüber hinaus befassen sich auf nationaler als auch auf internationaler Ebene Plattformen mit grundlegenden Fragestellungen wie etwa zum Datenschutz, zur Weitergabe oder zur Speicherung von Daten. Dabei ist Transparenz hinsichtlich bereits eingeleiteter Aktivitäten als auch der Abbau von Unsicherheit hinsichtlich zukünftig geplanter Aktivitäten eine grundlegende Voraussetzung für die Schaffung neuer Wertschöpfung und neuer Arbeitsplätze.

Ziel: Schaffung von Transparenz und Abbau von Unsicherheit hinsichtlich aktueller Entwicklungen zu Rahmenbedingungen der Datenökonomie

Erläuterung der Maßnahme: Die unterschiedlichen Aktivitäten und Prozesse sorgen für Unsicherheit im Bereich der Datenökonomie. Neue Geschäftsmodelle können sich so nur schwer entfalten. Es bedarf daher eines strategischen Aufbaus der Datenökonomie im Bereich des vernetzten und automatisierten Fahrens.

Als konkretes Instrument dient:

[253] Siehe https://www.pegasusprojekt.de/de/about-PEGASUS.

Instrument: Übergreifende Koordinierung der Datenökonomie mit regelmäßigem Fortschrittsbericht

Ausgestaltung

> Schaffung einer Instanz/Arbeitsgruppe, die alle Aktivitäten im Bereich der Datenökonomie zum vernetzten und automatisierten Fahren bündelt, mit folgenden Haupttätigkeiten:
> Transparente Abgrenzung und Kommunikation der Sachbereiche, welche politisch zu adressieren sind (in Abgrenzung zu rein marktgetriebenen Themen) und Ableitung einer verfolgbaren Roadmap der Handlungsbedarfe.
> Dabei zunehmend Adressierung sektorenübergreifender Datenökonomie, z.B. Unterstützung von Standards für Infrastrukturdaten oder Daten aus dem Energiesektor und Unterstützung eines diskriminierungsfreien Datenzugangs.
> Veröffentlichung eines regelmäßigen Fortschrittsberichts der neu geschaffenen Arbeitsgruppe, in dem festgehalten wird, welche Fragen bereits geklärt worden sind und welche Fragen und Problemstellungen zukünftig noch bearbeitet werden müssen.
> Die bereits existierenden Arbeitsgruppen wie die Plattform Digitale Netze und Mobilität, welche bereits eine Roadmap Intelligente Mobilität erstellt hat, oder die AG3 der NPM können hier unterstützend wirken.
> Insbesondere Themen wie z.B. die Schaffung von Standards zum Austausch fahrzeugbezogener und städtebezogener infrastruktureller Daten, die Verarbeitung der Daten sowie der Datensicherheit und Cybersecurity sollten dabei adressiert werden (siehe auch NPM, 2019).

Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen:

Die Bundesregierung hat die Bedeutung der Datenökonomie bereits erkannt und mehrere Plattformen initiiert, die sich mit der Thematik auseinandersetzen. Diese Aktivitäten gilt es nun effizient zu bündeln und fortzuführen. Darüber hinaus hat die EU mit der DSGVO eine weitere wichtige Grundlage geschaffen, die den Umgang mit Daten regelt.

Zeitlicher Horizont: Kurzfristig.

4.4.2 Maßnahme: Experimentelle Erprobung neuer Mobilitätsdienstleistungen in Reallaboren insbesondere zur Messung des Substitutionsverhaltens der Verkehrsteilnehmer in Bezug auf traditionelle Mobilitätsdienstleistungen

Hintergrund: Welche Auswirkungen neue Mobilitätsdienstleistungen auf das Nachfrageverhalten der Verkehrsteilnehmer in Deutschland haben wird, wurde bislang nur unzureichend empirisch untersucht bzw. erforscht. Daher können aktuell weder seriöse Bedarfsanalysen und -prognosen erarbeitet werden, noch kann abgeschätzt werden, inwieweit sich die Nachfrage nach traditionellen Mobilitätsdienstleistungen verändern wird, z.B. für den ÖPNV oder das Taxigewerbe. Zudem ist unklar, inwiefern neue Mobilitätskonzepte den Privatbesitz von Pkw substituieren können oder inwiefern Strecken, die vorher zu Fuß zurückgelegt wurden, durch neue Mobilitätskonzepte substituiert werden. Ohne Bedarfsanalysen scheuen Unternehmen aber umfangreiche Investitionen in neue

Mobilitätsdienstleistungen und auch Maßnahmen der Politik können kaum zielführend und effizient gestaltet werden. Außerdem ist unklar, welcher rechtliche Anpassungsbedarf bestehen könnte.

Ziel: Erprobung und empirische Evaluation der Veränderung des Nutzungsverhaltens neuer und traditioneller Verkehrsträger bzw. der Mobilitätsdienstleistungen in Reallaboren und Analyse des rechtlichen Anpassungsbedarfs.

Erläuterung der Maßnahme: Neue Mobilitätskonzepte, insbesondere vollautomatisierte/fahrerlose Fahrzeuge und Ridepooling, können sowohl ein Komplement als auch ein Substitut für den ÖPNV sein, und somit auch für den Pkw im Privatbesitz oder das Taxi. Sie können den ÖPNV also ergänzen oder verdrängen.

Es gibt bereits einige Pilotprojekte, die automatisierte Fahrzeuge und Ridepooling in das Angebot des ÖPNV integrieren (siehe Tab. 2 in Kapitel II.4). Jedoch steht bei diesen Projekten die Erprobung der neuen Mobilitätsdienstleistungen im Vordergrund, weshalb die dabei anfallenden Daten nicht ausreichen, um die im Folgenden betrachteten Fragestellungen zu beantworten. Von Projekten im Ausland lassen sich zudem nur schwer Rückschlüsse für Deutschland ziehen, da das Nutzungsverhalten von öffentlichen Mobilitätsdienstleistungen von Land zu Land unterschiedlich ist.[254]

Das folgende Instrument sieht zwei großflächig angelegte Feldexperimente vor, die mehrere Reallabore miteinander kombinieren.

Instrument: Experimentelle Evaluation der Wirkung neuer Mobilitätskonzepte auf die Nutzung des ÖPNV		
	Experiment 1: Empirische Analyse der Substitutionseffekte zwischen ÖPNV und (automatisiertem) Ridepooling.	**Experiment 2:** Überbrückung der letzten Meile: Optimale Ergänzung zum ÖPNV.
Hintergrund:	Getestet wird die Auswirkung der Einführung von Ridepooling auf die Nutzung des ÖPNV. Es wird insbesondere untersucht, wie Ridepooling bepreist werden sollte, um eine vollständige Substitution des ÖPNV zu verhindern.	Es wird getestet, wie der ÖPNV durch neue Mobilitätskonzepte ergänzt werden sollte, um die erste/letzte Meile zu überbrücken und inwieweit die ÖPNV-Nutzung durch die Einführung eines Ridepooling-Angebots variiert.
Primäre Forschungsfrage:	Wie ändert sich die ÖPNV-Nutzung bei Einführung eines Ridepooling-Angebots?	Wie können die neuen Mobilitätskonzepte optimal als Ergänzung zum ÖPNV eingesetzt werden?

[254] Ein Beispiel dafür ist, wie oft der ÖPV genutzt wird. In Indien nutzen etwa 33% der Teilnehmer einer Befragung jeden oder fast jeden Tag den ÖPV. In Deutschland sind es nur 18%. Siehe (National Geographic und Global Scan, 2014; S. 114).

Hypothese(n):	Substitutionseffekte dominieren, wenn der Preis neuer Mobilitätskonzepte niedriger als der ÖPNV-Preis ist. Auf dem Land sind die Substitutionseffekte deutlich stärker als in der Stadt. Ältere Menschen nutzen neue Mobilitätskonzepte dort mehr als junge Menschen.	Ein günstiges Ridepooling-Angebot, das ÖPNV-Nutzer an spezifische Knotenpunkte des ÖPNV bringt, führt zu der höchsten ÖPNV-Nutzungsrate. Ältere Menschen und im ländlichen Raum lebende Menschen nutzen die Ergänzung am meisten.
Treatment-Gruppen[255]:	**Treatment-Gruppe 1 (Ridepooling mit erwarteter Preisstruktur von vollautomatisiertem Fahren):** Das Verkehrsangebot wird durch ein (öffentliches) Ridepooling Angebot erweitert, das Fahrgäste punktgenau von zu Hause oder andernorts auf Abruf abholen kann. Die Kosten bemessen sich an den zu erwartenden zukünftigen Kosten eines vollautomatisierten Pooling-Fahrzeugs und sind **günstiger** als das örtliche ÖPNV-Angebot für vergleichbare Streckennutzung. **Treatment-Gruppe 2 (Ridepooling mit ÖPNV-Preisstruktur):** Wie in Treatment Gruppe 1 wird ein Ridepooling-Service eingesetzt, wobei sich die Preisstruktur hier an der Bepreisung des ÖPNV (für eine vergleichbare Strecke) orientiert. Es gibt also keine Preisunterschiede zwischen ÖPNV und Ridepooling. **Treatment-Gruppe 3 (Ridepooling mit hoher/aktueller Preisstruktur):** Wie in Treatment Gruppe 1 und 2 wird ein Ridepooling Service	**Treatment-Gruppe 1 (Knotenpunkt Ridepooling):** Das Verkehrsangebot wird durch ein (öffentliches) Ridepooling Angebot erweitert, das an spezifischen ÖPNV Knotenpunkten sowie fest vorgegebenen Haltestellen hält. Die Kosten bemessen sich dabei an der aktuell günstigsten Ridepooling Alternative am Markt. **Treatment-Gruppe 2 (Simuliertes vollautomatisiertes Taxi):** Das Verkehrsangebot wird durch ein On-Demand Taxi ergänzt. Der Fahrgast kann ein Fahrzeug zu einem bestehenden Knotenpunkt des ÖPNV oder auch flexibel zu sich nach Hause – jedoch in einem begrenzten geographischen Umkreis – rufen und sich zu einem Verkehrsknotenpunkt fahren lassen. Die Kosten bemessen sich nach den geschätzten Kosten eines zukünftigen vollautomatisierten Taxis.

[255] Treatment Gruppen bezeichnen in Experimenten die Gruppen, in denen neue Interventionen eingesetzt werden. Treatment steht also für die neue zu testende Maßnahme. Siehe (Gerber und Green, 2012).

	eingesetzt, diesmal mit **hohem** Preis. Die Bepreisung orientiert sich an den aktuell am Markt existierenden Ridepooling Angeboten.	
Kontrollgruppe:	**Kontroll-Gruppe (Status Quo):** In dieser Gruppe ist eine Nutzung der neuen Mobilitätskonzepte nicht möglich.	
Primäre Zielvariable:	Häufigkeit und Umfang der ÖPNV-Nutzung und der Nutzung der Ridepooling-Angebote; Ausgaben für die jeweiligen Mobilitätsformen.	
Sekundäre Zielvariable:	Nutzung des neuen Mobilitätskonzepts, sowie regelmäßige Befragung der Fahrgäste über Überbrückung der ersten und letzten Meile von der Haustür bis zur nächsten Haltestelle sowie zur Nutzung anderer Verkehrsmittel.	
Implikationen der Ergebnisse:	Mithilfe der Ergebnisse könnte bestimmt werden, ob und unter welchen Preisen Ridepooling-Angebote den ÖPNV verdrängen oder ergänzen. Der Bedarf an neuen Mobilitätskonzepten könnte genau identifiziert werden und es könnten Rückschlüsse auf die mittel- und langfristige Ausgestaltung des ÖPNV in Verbindung mit Ridepooling-Angeboten gezogen werden. Insbesondere in ländlichen Gegenden könnten bedarfsoptimierte Mobilitätskonzepte das ÖPNV-Angebot verbessern und zu Einsparungen (z.B. durch die Vermeidung von Leerfahrten) führen. Die Experimente können grundlegende empirische Erkenntnisse über notwendige Anpassungen im Rechtsrahmen sowie innovationsfördernde Regelungen liefern, die eine sinnvolle Balance zwischen der Nutzung der neuen Mobilitätsformen und den Anforderungen an den ÖPNV schaffen.	
Einordnung in bestehende Rahmenbedingungen:	Durch die Bundesregierung wird bereits eine Vielzahl an Projekten gefördert. Zum einen werden durch das BMVI im Rahmen des mFUND 200 Mio. Euro für Projekte für digitale Anwendungen im Bereich der Mobilität bereitgestellt.[256] Auch die Forschungsagenda nachhaltige urbane Mobilität des BMBF und das daraus resultierende Programm MobilitätsWerkStadt 2025 fördern kommunale Projekte im Rahmen der neuen Mobilität.[257] Darüber hinaus wurde vom BMVI bereits eine Kommission zur Reform des Personenbeförderungsgesetzes ins Leben gerufen.[258]	
Zeitlicher Horizont:	Mittelfristig.	

[256] Siehe https://www.bmvi.de/DE/Themen/Digitales/mFund/Foerderung/foerderung.html.
[257] Siehe https://www.fona.de/medien/pdf/Forschungsagenda_Nachhaltige-Urbane-Mobilitat.pdf und https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-2289.html.
[258] Siehe https://www.zeit.de/politik/deutschland/2019-05/verkehr-spd-kritik-plaene-bundesverkehrsminister-andreas-scheuer.

4.4.3 Maßnahme: Bessere Einbindung und Information der Kommunen sowie Vernetzung der Kommunen mit Anbietern von neuen Mobilitätsdienstleistungen

Hintergrund: Die Analyse der kommunalen Anwendung des Elektromobilitätsgesetzes hat gezeigt, dass es bisher nur verhaltene Anwendung findet. Als Ursache wird eine breite Unsicherheit der kommunalen Entscheider zu den rechtlichen Rahmenbedingungen vermutet. Vielerorts ist unklar, was tatsächlich erlaubt ist bzw. erlaubt werden kann und was nicht.

Eine ähnliche Situation kann auch im Bereich von Shared Mobility festgestellt werden. Die Regulierung der rechtlichen Möglichkeiten gibt ein verhältnismäßig starres Korsett vor, das die Umsetzung von entsprechenden Konzepten deutlich erschwert und viele Kommunen, Anbieter und Entwickler im Unklaren darüber lässt, was umgesetzt werden kann. Die regulatorischen Hürden erschweren dabei nicht nur die Einführung von neuen Dienstleistungen, auch die Erprobung von Innovationen im realen Straßenverkehr stößt schnell an ihre Grenzen. Diese Erprobung unter Realbedingungen sollte allerdings als Grundvoraussetzung angesehen werden, bevor eine neue Dienstleistung endgültig freigegeben wird.

Ziel: Aufklärung der Kommunen über die Möglichkeiten zukünftiger neuer Mobilitätskonzepte sowie eine Verbesserung der Kommunikation zwischen Kommunen, dem ÖPNV und den Anbietern neuer Mobilitätskonzepte.

Erläuterung der Maßnahme: Um die Einführung neuer Mobilitätsdienstleistungen effizient gestalten zu können, bedarf es einer engen Zusammenarbeit zwischen den Kommunen, welche die Dienstleistungen genehmigen müssen, sowie den entsprechenden Anbietern. Darüber hinaus ist es grundlegend, dass die Kommunen über die möglichen zukünftigen Mobilitätskonzepte sowie deren potenziellem Nutzen informiert sind. Es sollten daher breite Informationskampagnen gestartet werden, die auf kommunaler Ebene verstärkt darüber aufklären, welche neuen Dienstleistungen unter welchen Bedingungen rechtlich realisierbar sind.

Als konkretes Instrument dient:

Instrument: Erweiterung der Agentur/Dialogplattform Smart Cities hinsichtlich der Vernetzung von Kommunen und Industrie bei der Umsetzung neuer Mobilitätsdienstleistungen

Ausgestaltung

> Eine Agentur, welche über die Möglichkeiten zur automatisierten Erweiterung des ÖPNV-Angebotes informiert und relevante Akteure miteinander vernetzt, könnte Unsicherheiten entgegenwirken.
> Ziel soll auch die Initiierung von Gemeinschaftsprojekten zwischen Herstellern und größeren Kommunen sein. Insbesondere ist hier auch sicherzustellen, dass sich ausländische OEMs und Zulieferer mit Kommunen vernetzen.
> Die Organisation und Umgestaltung der Agentur sollte in drei Hauptphasen erfolgen:

1. Initiierungsphase: Während der Initiierungsphase – die durch eine medienwirksame Ankündigung der Umgestaltung der Agentur Smart Cities begleitet werden sollte – gilt es

zunächst eine umfangreiche Informationsbasis zu schaffen. Diese Informationsbasis hält alle relevanten Informationen zur rechtlichen Realisierbarkeit von Vorhaben im Bereich der neuen Mobilitätskonzepte bereit und schafft für die Kommunen einen Überblick zu Produkten/Dienstleistungen seitens der Hersteller. Für die Arbeitsphase sollten bereits umfangreiche Informationsmaterialien erarbeitet werden. Ebenso stellt die Agentur zentral Ergebnisse der Pilotprojekte zur Verfügung.

2. Kick-off: Die Aufnahme der operativen Arbeit im Bereich neuer Mobilitätskonzepte sollte durch eine medienwirksame Veranstaltung begleitet werden. Ebenso erfolgt der Relaunch der Internetseite der Agentur, auf der alle relevanten Informationen verfügbar sind. In den ersten Wochen sollte eine breit angelegte Informationskampagne durchgeführt werden, die auf die die neuen Aufgabengebiete aufmerksam macht. Seitens der Agentur wird proaktiv auf Kommunen zugegangen.

3. Arbeitsphase: Das operative Geschäft findet über eine Kontaktstelle statt, an die Kommunen und Hersteller mit entsprechendem Beratungs- und Vernetzungsbedarf herantreten können. Neben dieser Kerntätigkeit ist die Pflege und ständige Aktualisierung der Informationsbasis zu den rechtlichen und technischen Möglichkeiten ein weiterer Aufgabenbestandteil der Agentur während der Arbeitsphase.

Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen:

Das BMWi fördert bereits im Bereich der Digitalisierung mit der Dialogplattform Smart Cities den Austausch zwischen Kommunen, der Bundesregierung, Städtebauministerien und verschiedenen Verbänden.[259] Dadurch sollen Kommunen bei der digitalen Transformation unterstützt werden. Diese spielt auch im Bereich neuer Mobilitätkonzepte eine wichtige Rolle. Derzeit gibt es aber noch keine Plattform, welche den Ausbau neuer Mobilitätskonzepte in den Kommunen gezielt erleichtert.

Zeitlicher Horizont: Mittelfristig.

5. Strommarkt: Verkehrs- und Energiewende

Die Klimaziele im Verkehrsbereich werden sich nicht nur auf die Automobilwirtschaft, sondern in hohem Maß auch auf den Stromsektor auswirken. Denn Antriebsarten, die einen substanziellen Beitrag zur Emissionsvermeidung leisten können, benötigen erneuerbare Energie, beispielsweise in Form von Wind- oder Solarenergie. Aufgrund der dadurch entstehenden Wechselwirkungen zwischen Strom- und Automobilsektor können sich Verkehrs- und Energiewende gegenseitig begünstigen.

Die Handlungsempfehlungen gliedern sich entlang der zwei Themen **Sektorkopplung: Vehicle-to-Grid Lösungen** und **Stromnetz**.

Im Bereich der Sektorkopplung zielt die vorgeschlagene Maßnahme auf eine Förderung der Vehicle-to-Grid Technologie ab. Dieser wird im Rahmen der Elektromobilität und den daraus

[259] Siehe https://www.bmi.bund.de/DE/themen/bauen-wohnen/stadt-wohnen/stadtentwicklung/smart-cities/smart-cities-node.html.

resultierenden Anforderungen an das Stromnetz großes Potenzial beigemessen, um zur Stabilisierung des Stromnetzes beizutragen.

Da Elektromobilität zu einer steigenden Netzbelastung führen kann und somit – je nach Verbreitung von netzdienlicher Steuerbarkeit – einen Netzausbau erfordern kann, adressieren folgende Maßnahmen das Stromnetz. Neben der Förderung des netzdienlichen Ladens zählt dazu auch die Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen wie z.B. entsprechender Standards für die Vehicle-Grid-Integration und ein Plan zum Ausbau der Elektromobilität. Mithilfe dieser Maßnahmen sollen die Kosten für den Netzausbau gering gehalten und sektorübergreifende, integrierte Systemlösungen geschaffen werden.

5.1 Sektorkopplung: Vehicle-to-Grid Lösungen

5.1.1 Maßnahme: Geeignete regulatorische Rahmenbedingungen und Förderinstrumente schaffen, damit *Vehicle-to-Grid* Lösungen umgesetzt werden können

Hintergrund: Die sogenannte "Vehicle-to-Grid“ Lösung (vgl. Abschnitt IV.2.6) ist ein möglicher Ansatz[260], um bei steigender Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen den in der Fahrzeugbatterie gespeicherten Strom beispielsweise zu Zeiten mit erhöhtem Energiebedarf wieder ans Stromnetz zurückzugeben. Bisher ist es jedoch nicht möglich, dass sogenannte mobile Speicherkapazitäten (von Elektrofahrzeugen) für das Stromnetz genutzt werden. Hierzu fehlen regulatorische Rahmenbedingungen, die den Einsatz von Elektrofahrzeugen als kommerzielle Speicherlösung ermöglichen. Zudem fehlt es momentan noch an marktreifen Lösungen und einer kritischen Menge an Elektrofahrzeugen, welche bidirektional Laden und Entladen können. Die Metaanalyse in Teil IV (vgl. Abschnitt 2.6) ergab, dass aktuell nur ein Elektrofahrzeugmodell als Regelkraftwerk in das deutsche Stromnetz integriert werden kann, d.h. nur einem Elektrofahrzeug die Eignung für die Stabilisierung der Netzfrequenz attestiert wurde.

Ziel: Entwicklung von marktfähigen Standards und Produkten für Vehicle-to-Grid Lösungen.

Erläuterung der Maßnahme: Die Entwicklung von regulatorischen Rahmenbedingungen und Förderinstrumenten für Vehicle-to-Grid sollte mithilfe von Forschungsprojekten und Markterprobungsphasen weiter vorangetrieben werden. Marktreife und flächendeckende Lösungen für bidirektionales Laden werden erst entwickelt und ausgerollt werden, wenn entsprechende regulatorische Rahmenbedingungen für Speicherlösungen in Elektrofahrzeugen geschaffen werden.

Mithilfe der Ergebnisse aus Forschungsprojekten und Markterprobungen können die Potenziale für die Zwischenspeicherung von Strom durch Vehicle-to-Grid genau identifiziert werden. Bidirektionale Speicherlösungen können so später geeignet reguliert bzw. auf Basis von ermittelten Use-Cases und Potenzialen netzdienlich eingesetzt werden.

In einem zweiten Schritt bedarf es Anreizen auf Seite der Konsumenten, um die rasche und stufenweise Implementierung von Vehicle-to-Grid Lösungen zu beschleunigen.

---

[260] Ein weiterer Ansatz ist das mögliche Potenzial für den Flexibilitätsmarkt auf der Basis von Elektromobilität. Hierzu könnten beispielsweise Automobilhersteller oder Infrastrukturanbieter die Rolle des Flexibilitätsmanagers übernehmen. Das setzt jedoch voraus, dass die Bereitstellung netzdienlicher Flexibilität durch Verteilnetzbetreiber vergütet wird (siehe EY, 2018a).

Als konkrete Instrumente dienen:

Instrument: Förderung von F&E zur Erforschung von Marktpotenzialen sowie Einsatzmöglichkeiten von Vehicle-to-Grid Lösungen

Ausgestaltung

> In Forschungsprojekten können Potenziale und Use-Cases von Vehicle-to-Grid Lösungen konkretisiert werden.
> Die Forschungserkenntnisse dienen als Basis für die Überprüfung von regulatorischen Rahmenbedingungen sowie zu deren Justierung, beispielsweise um die Abregelung von erneuerbaren Erzeugungsanlagen zu vermeiden bzw. zu reduzieren oder um Haftungsfragen für die Batterie zu klären.
> Ebenfalls sollte die Integration von Messsystemen und Messkonzepten, die die Netzentnahme und das Zurückspeisen von Strom aus Elektrofahrzeugen ermöglichen, sowie intelligente Messtechnik (z.B. Smart Meter) berücksichtigt werden.

Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen:

Das EmoG sowie die Ladesäulenverordnung sind als rechtlicher Rahmen zu sehen. Es ist zu prüfen, ob durch das vorgeschlagene Instrument Anpassungen/Novellierungen notwendig sind. Im Rahmen des kabelgebundenen Ladens sind sicherheitstechnische Anforderungen für Ladeinfrastruktur in der Norm IEC 61851-1 beschrieben, die sich auf alle Komponenten beziehen. Darüber hinaus gibt es weitere relevante Normen: für AC-Steckvorrichtungen, für DC-Steckvorrichtungen und für DC-Ladeeinrichtungen.[261] Gefördert werden durch die Bundesregierung bereits erste Projekte zur Vehicle-to-Grid Technologie, so etwa die Projekt BiLawE und INEES durch das BMVI bzw. das BMU sowie das Forschungsvorhaben lokSMART Jetzt! durch das BMWi. Darüber hinaus hat das BMWi mit der SINTEG Verordnung Teilnehmern des entsprechenden Programms die Möglichkeit gegeben, unter anderem Vehicle-to-Grid Ansätze in der Praxis zu erproben. Anhand der gesammelten Erfahrungen soll zukünftig der Rechtsrahmen weiterentwickelt werden.

Zeitlicher Horizont: Mittelfristig.

Instrument: Entwicklung von Förderinstrumenten für eine rasche und stufenweise Implementierung von Vehicle-to-Grid Lösungen

Ausgestaltung

> Entwicklung von Anreizen zur Nutzung von Vehicle-to-Grid Lösungen, damit sich Elektrofahrzeugbesitzer bereits heute an intelligent vernetzten Vehicle-to-Grid Lösungen beteiligen. Darunter fallen z.B. monetäre Anreize.

[261] Siehe (VDE, 2019a).

> Die Ausgestaltung von Vergütungs- und deren Abrechnungsmodellen sollte auf ihre Anreize und Nutzerdienlichkeit überprüft und durch Förderinstrumente justiert werden.

Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen:

Fördermöglichkeiten zu Vehicle-to-Grid Lösungen müssen sinnvoll in bestehende und geplante Förderprogramme im Umfeld von Ladeinfrastruktur, Gebäude-effizienzmaßnahmen (Sanierung und Neubau) und Elektrofahrzeugen integriert werden.

Zeitlicher Horizont: Mittelfristig.

5.2 Stromnetz

Wird die Elektromobilität von Beginn an richtig geplant, kann sie schnell, kostengünstig und unterstützend für das Gesamtsystem ins Stromnetz integriert werden. Gelingt dies nicht, nehmen die Herausforderungen für eine erfolgreiche Energiewende zu – und nicht zuletzt die damit verbundenen Kosten. Auf Basis dieses Standpunkts hat der Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. in dem Positionspapier „Das Stromnetz ist Backbone für E-Mobilität – Flächendeckende Verbreitung von E-Fahrzeugen ist machbar“ folgende Handlungsempfehlungen und Forderungen adressiert, die wir unterstützen und daher aufgreifen (VDE, 2018).

5.2.1 Maßnahme: Ladeeinrichtungen netzdienlich steuerbar machen, damit diese Netzengpässen entgegenwirken können

Hintergrund: Mit der zunehmenden Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen steigt die Wahrscheinlichkeit, dass viele Fahrzeuge gleichzeitig geladen werden, z.B. am Abend. Wie viele Elektrofahrzeuge in einem abgegrenzten Gebiet gleichzeitig Laden können hängt unter anderem von der Dimensionierung des lokalen Stromnetzes und der aktuellen Belastung des Ortsnetztransformators, z.B. durch den Stromverbrauch von Haushalten, ab. Gleichzeitiges Laden kann im Netz je nach Ladeleistung und Anzahl an Elektrofahrzeugen zu kritischen Situationen führen. Durch Elektromobilität entstehen neue, mobile und volatile Lasten und Einspeisungen, die das Netz zusätzlich belasten und weiteren Netzausbau verursachen können. Damit ist die Elektromobilität neben der Energiewende auch ein wichtiger Treiber für die vorausschauende Weiterentwicklung des Netzes.

Elektromobilität kann jedoch auch zusätzliche Flexibilität bereitstellen. Beispielsweise kann der Ladevorgang so gestaltet werden, dass der Strom dann in die angeschlossenen Elektrofahrzeuge geladen wird, wenn etwa die Einspeisung durch erneuerbare Erzeugungsanlagen hoch ist. Möglich ist auch eine Zwischenspeicherung der Energie, die bei Bedarf wieder in das Energiesystem eingespeist werden kann.

Ziel: Konzeption von Ladeeinrichtungen für Elektrofahrzeuge, die netzdienlich steuerbar sind.

Erläuterung der Maßnahme: Netzdienlich steuerbare Ladeeinrichtungen wirken Netzengpässen positiv entgegen und vermeiden hohe Netzbelastungen durch gleichzeitiges Laden von Elektrofahrzeugen. So können regionale Engpässe im Netz vermieden werden. Dazu müssen eindeutige Marktregeln für das Zusammenwirken von steuerbaren Erzeugern, Lasten und Speichern festgelegt werden.

Als konkretes Instrument dient:

Instrument: Weiterentwicklung technischer sowie regulatorischer Anforderungen und Rahmenbedingungen (inkl. Fördermaßnahmen) für netzdienlich steuerbare Ladeeinrichtungen
Ausgestaltung > Erstellung und Umsetzung von einheitlichen Rahmenbedingungen sowie einer Koordinierungsfunktion für eine sichere Steuerbarkeit. > Der Ordnungsrahmen und die Fördermaßnahmen müssen am Beitrag zur Flexibilität ausgerichtet sein. > Elektrofahrzeuge sollten, wie andere Netznutzer auch, zur Erbringung von Systemdienstleistungen, z.B. Regelleistung, Frequenzhaltung oder Blindleistungsbereitstellung, beitragen.
Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen: Das BMWi fördert z.B. bereits im Rahmen des Förderprogramms IKT für Elektromobilität mehrere Projekte, die sich mit Aspekten des netzdienlichen Ladens befassen. Zudem hat die Bundesregierung im Klimaschutzprogramm 2030 festgehalten, zukünftig rechtliche Hürden bezüglich des netzdienlichen Ladens beseitigen zu wollen. Das EmoG sowie die Ladesäulenverordnung sind als rechtlicher Rahmen zu sehen und dahingehend ist zu prüfen, ob durch das Instrument Anpassungen/Novellierungen notwendig sind.
Zeitlicher Horizont: Kurzfristig.

5.2.2 Maßnahme: Elektromobilität als Element für einen effizienten Strommarkt und Netzbetrieb berücksichtigen

Hintergrund: Die Nutzung von Komponenten im Stromnetz wird sehr langfristig geplant. Die Nutzungsdauer von Kabeln und Transformatoren liegt bei bis zu 40 Jahren und teilweise sogar mehr. Änderungen am vorhandenen Stromnetz verursachen – insbesondere bei Kabelarbeiten – unter Umständen Verkehrsbehinderungen, hohe Kosten und immensen Zeitaufwand.

Der Planungskorridor der Marktdurchdringung von Elektromobilität ist derzeit unklar. Die technische Weiterentwicklung der Antriebstechnologien von Elektrofahrzeugen sowie deren Durchdringungsrate ist unsicher. Es ist derzeit ungeklärt, wie die Elektromobilität bei allgemeinen Netzplanungen berücksichtigt werden soll.

Ziel: Setzung denkbarer Korridore für die Marktdurchdringung von Elektromobilität. Auf dieser Basis können beispielsweise in lokalen und regionalen Netzentwicklungsplänen ggfs. notwendige Netzverstärkungs- oder Netzausbaumaßnahmen für Elektrofahrzeuge frühzeitig berücksichtigen.

Erläuterung der Maßnahme: Planungskorridore für die mittel- und langfristige Entwicklung von Elektromobilität sind für die kosteneffiziente Netzplanung unabdingbar. Netzplanung

und -ausbau erfolgen umso effizienter und lösungsorientierter, je genauer die Prämissen zur Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen bekannt sind. Insbesondere Leistung, die bei der Dimensionierung nicht berücksichtigt wird, steht später nicht zur Verfügung. Im Umkehrschluss verursachen pauschale Überdimensionierungen im Netzausbau von Stromnetzen unnötige Mehrkosten.

Als konkretes Instrument dient:

Instrument: Berücksichtigung des mittel- und langfristigen Ausbaus der Elektromobilität für den effizienten Netzbetrieb

Ausgestaltung

> Herleitung und Entwicklung von möglichen Ausbaupfaden der Elektromobilität und deren Wechselwirkungen auf die Verteil- und Mittelspannungsnetze. Dies betrifft konkret die Anzahl an Elektrofahrzeugen unter Berücksichtigung der technischen Weiterentwicklung der Antriebstechnologien von Elektrofahrzeugen und der zu erwartenden Marktdurchdringungsrate. Ferner sind die Anzahl, Technik und Leistung von Ladeeinrichtungen in der Planung mit zu berücksichtigen.

> Zusätzlich sollte die Integration oder Koppelung beziehungsweise Ergänzung des BMWi "Aktionsplans Stromnetz der Zukunft" geprüft werden.

> Ferner ist eine etwaige Berücksichtigung/Justierung in der gültigen Rechtsprechung juristisch zu prüfen, beispielsweise im Hinblick auf das Energiewirtschaftsgesetz, das Energieleitungsausbaugesetz, das Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz und des Bundesbedarfsplangesetz.

Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen:

Die Übertragungsnetzbetreiber erstellen den sogenannten Netzentwicklungsplan, in welchem sie Netzausbaumaßnamen identifizieren, die zukünftig für ein stabiles Stromnetz notwendig sind.[262] Der Planungskorridor könnte in den Netzentwicklungsplan für 2030/2035 noch integriert werden. Jedoch wird die Bundesnetzagentur nach aktuellem Kenntnisstand den Netzentwicklungsplan 2030 bis spätestens Ende 2019 bestätigen. Bezüglich des Netzausbaus unterstützt das BMWi bereits eine Vielzahl an Maßnahmen, so wurde unter anderem mit dem Aktionsplan Stromnetz eine Strategie zur Bewältigung der zukünftigen Herausforderungen im Stromnetz entwickelt oder die Plattform Bürgerdialog Stromnetz gegründet, um die Akzeptanz in der Bevölkerung hinsichtlich des Netzausbaus zu fördern.

Zeitlicher Horizont: Kurzfristig.

5.2.3 Maßnahme: Sicherstellen, dass Hochleistungsladeeinrichtungen mindestens im Mittelspannungsnetz angeschlossen werden können und netzverträgliches Laden unterstützen

Hintergrund: Ladeeinrichtungen mit 350 kW pro Ladepunkt werden mittlerweile aufgebaut. Die Leistung einer solchen Ladeeinrichtung entspricht der Anschlussleistung eines

[262] Siehe https://www.50hertz.com/de/Netz/Netzentwicklung/WofuerNetzausbau/HaeufiggestellteFragen.

Mehrfamilienhauses in einer Größenordnung von 5 bis 50 Wohneinheiten. Der hohe Leistungsbezug kann je nach Fähigkeit zur bidirektionalen Steuerung einen negativen Einfluss auf die Stromnetzdienstleistungen, wie z.B. die Netzstabilität, haben.

Ziel: Anschluss von Hochleistungsladeeinrichtungen mindestens (wenn in der Einzelbetrachtung lokal darstellbar) am Mittelspannungsnetz.

Erläuterung der Maßnahme: Der Anschluss am Mittelspannungsnetz und das netzdienliche Steuern vermeiden mögliche Herausforderungen bei der Netzstabilität. Darüber hinaus kann ein Anschluss am Mittelspannungsnetz ermöglichen, dass mehrere Ladeeinrichtungen parallel betrieben werden können. Ist nur ein Anschluss am Niederspannungsnetz umsetzbar, sollte diese Lademöglichkeit bidirektional steuerbar ausgestaltet sein und mit einem Energiespeicher kombiniert werden. Damit kann beispielsweise mithilfe der Kappung von Spitzenlasten die Reduzierung der erforderlichen Netzanschlusskapazitäten erreicht werden.

Als konkretes Instrument dient:

Instrument: Ausgestaltung von Anforderungen und Vorschriften sowie sonstigen Rahmenbedingungen für die Integration von Hochleistungseinrichtungen ins Stromnetz
Ausgestaltung > Vorschriften und gesetzliche Rahmenbedingungen, die den Anschluss von Ladeeinrichtungen mit höheren Ladeleistungen mindestens an das Mittelspannungsnetz vorsehen, und zwar inkl. der Anforderungen und technischen Vorgaben/Anschlussregeln für netzdienliche Steuerung. > Der Anschluss an das Niederspannungsnetz ist ausschließlich mit einem netzverträglichen Anschlusskonzept möglich.
Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen: Das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG), das Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende, ggfs. auch Schnittstellen zum Elektromobilitätsgesetz sowie der Ladesäulenverordnung sind als rechtliche Rahmenbedingungen zu sehen und dahingehend ist zu prüfen, ob durch das Instrument Anpassungen/Novellierungen notwendig sind.
Zeitlicher Horizont: Kurzfristig.

Die dargelegten Handlungsempfehlungen zeigen, dass für die erfolgreiche Marktdurchdringung der Elektromobilität ein frühzeitiger und vorbeugender Netzausbau und zügige Maßnahmen zur Digitalisierung erwogen werden sollten. Die Berücksichtigung des mittel- und langfristigen Ausbaus der Elektromobilität ist die Basis für einen effizienten Netzbetrieb. Sowohl eine steigende Marktdurchdringung von Elektromobilität als auch der

damit einhergehende Stromnetzausbau sind notwendig, damit die Verkehrs- und Energiewende in Deutschland gelingen.[263]

6. Regionalpolitische Handlungsfelder und Arbeitsmarkt

Die gravierendsten Folgen des Strukturwandels liegen in seinen persistenten, regional konzentrierten Konsequenzen für den Arbeitsmarkt. Die aktuelle Transformation der Automobilwirtschaft wird – auch aufgrund handelspolitischer Unsicherheiten – zu einer Neuplanung und Verlagerung von Produktionsstätten führen. Arbeitnehmer können dabei nicht ohne Weiteres „mitwandern". Bei Werksschließungen und entsprechendem massiven Abbau von Arbeitsplätzen kann der regionale Arbeitsmarkt in seiner Aufnahmekapazität (temporär) überfordert sein. Das „Matching" von Angebot und Nachfrage funktioniert dann nicht mehr reibungslos. Ansatzpunkt für unsere Handlungsempfehlungen sind Maßnahmen und Instrumente, die Beschäftigung und Qualifikation der Arbeitnehmer vorausschauend sichern und Arbeitsmarktfriktionen im Transformationsprozess beseitigen oder abmildern. Gleichzeitig sollte sichergestellt werden, dass betroffene Regionen finanziell unterstützt werden. Negative, regionale Folgen eines tiefgreifenden, vorhersehbaren Strukturwandels sollten vorausschauend gestaltet werden, also bevor eine gravierende Strukturschwäche sichtbar wird.

Ein Ansatzpunkt sind bedarfsgerechte Bildungsmaßnahmen in der beruflichen und akademischen Erstausbildung sowie der Weiterbildung. Ziel sollte es sein, sich wandelnden Kompetenzanforderungen flexibel anzupassen, auch durch eine Erweiterung um mehr modulare Lehrangebote. Bestehende Bildungsangebote lassen sich hierdurch ergänzen.

Ein zweiter Ansatzpunkt lässt sich bei der Anwerbung höchstqualifizierter ausländischer Fachkräfte finden. Dies können fertig ausgebildete und bereits am Arbeitsmarkt verankerte Erwerbstätige, aber auch Hochschulabsolventen sein.

Ein dritter Ansatzpunkt besteht darin, die regionalen Folgen eines tiefgreifenden, vorhersehbaren Strukturwandels durch Förderinstrumente vorausschauend zu gestalten. Hierbei ist der *vorausschauende* Charakter zentral, um Humankapitalverluste erst gar nicht entstehen zu lassen und regionale Strukturschwächen durch rechtzeitige Förderung zu vermeiden.

Ein vierter Ansatzpunkt besteht darin, einfach zu beantragende und transparent ersichtliche Fördermöglichkeiten spezifisch auf KMU auszurichten.

6.1 Anpassung von Qualifikationsanforderungen und Berufsbildern

Die Entwicklungen hin zu Elektromobilität sowie zum vernetzten und automatisierten Fahren werden zu veränderten Anforderungen an Beschäftigte führen. Die folgenden Maßnahmen sollen dabei helfen, diesen gerecht zu werden. Überwiegend sind Lehrinhalte in der beruflichen und akademischen Erstausbildung sowie der Weiterbildung bereits gut auf den Bedarf der Unternehmen ausgerichtet. Defizite bestehen lediglich in der Verknüpfung bisher kaum beteiligter Disziplinen (ika und TH Ingolstadt, 2017). Da Elektromobilität zu Veränderungen entlang der gesamten automobilen Wertschöpfungskette führt, gilt es

[263] Allein der Netzbetreiber Eon wird bis 2045 rund 2,5 Mrd. Euro in sein Stromnetz investieren, um die vollständige Versorgung für Elektrofahrzeuge in seinen Netzgebieten sicherzustellen, siehe https://handelsblattintelligence.com/2019/06/21/das-elektroauto-trendradar-autoindustrie/.

technische und betriebswirtschaftliche Aspekte im Hinblick auf zukünftige Geschäftsmodelle und Dienstleistungen zu verbinden. Absolventen verfügen somit beim Arbeitsmarkteintritt über einen besseren Gesamtblick (beispielsweise auf Elektromobilität) und entsprechend über eine größere Beschäftigungsfähigkeit. So stellt z.B. die großserientaugliche Leichtbauproduktion bereits einen zentralen Lehrinhalt dar.

6.1.1 Maßnahme: Beschäftigungsfähigkeit durch Weiterbildung über den gesamten Erwerbszyklus sichern

Hintergrund: Durch den Strukturwandel in der Automobilindustrie ergeben sich neue Produktionsprozesse und Geschäftsfelder, welche Kompetenzanforderungen an viele Beschäftigte teilweise grundlegend verändern (IW Köln, 2017b). Aufbauend auf bestehendem Know-how kommt somit der Weiterbildung von Erwerbspersonen eine essenzielle Rolle zu (BIBB, 2018b). In der Nationalen Weiterbildungsstrategie der Bundesregierung ist das *Lebenslange Lernen* als Herzstück zur Umsetzung der Strategie definiert (BMAS, 2019). Laut einer Studie des Instituts der deutschen Wirtschaft Köln haben sich im Jahr 2016 knapp 85% der deutschen Unternehmen an betrieblicher Weiterbildung beteiligt (IW Köln, 2017b). Die Gesamtkosten beliefen sich dabei auf 33,5 Mrd. Euro.

Ziel: Beschäftigungsfähigkeit von Mitarbeitern während des Transformationsprozesses zur Elektromobilität sowie zum vernetzten und automatisierten Fahren sichern bzw. erhöhen.

Erläuterung der Maßnahme: Ein erster Ansatzpunkt für die Umsetzung besteht darin, Maßnahmen im Bereich der akademischen und beruflichen Ausbildung daraufhin zu prüfen, ob sie in eine Weiterbildungsstrategie für die Gebiete Elektromobilität sowie vernetztes und automatisiertes Fahren integriert werden können. Besonders KMU, welche aufgrund ihrer Größe und verfügbarer Ressourcen einen erschwerten Zugang zu diesen Maßnahmen haben, sollten bei der Förderung verstärkt berücksichtigt werden (IW Köln, 2017b). Weiterbildungsmöglichkeiten sollten für alle Interessenten bedarfsgerecht zugänglich sein. Dazu müssen die Bildungsmaßnahmen transparent sein und die Teilnahme an diesen sollte gefördert werden (IW Köln, 2017b). So können Arbeitsplatzverluste und Wettbewerbsnachteile für Unternehmen bei der Suche nach qualifiziertem Personal vermieden werden. Es sollte auch geprüft werden, inwieweit die Maßnahme mit dem neuen Ansatz der Bundesagentur für Arbeit der „Lebensbegleitenden Berufsberatung (LBB) – Beratung im Erwerbsleben“ verknüpft werden kann.

Ein zweiter Hebel setzt in einer spezifischen Konstellation an, in der Arbeitgeber ihre Produktion im Zuge des Strukturwandels fundamental umstrukturieren und während dieser Zeit ihre Arbeitnehmer simultan auf die neue Situation mit teilweise grundlegend geänderten Anforderungen vorbereiten möchten. Die Teilnahme an Bildungsmaßnahmen hängt vor allem davon ab, ob Beschäftigte dafür freigestellt und finanziell unterstützt werden. Zudem ist ein wesentlicher Faktor, ob das Beschäftigungsverhältnis gesichert werden kann. Wir empfehlen, dem Vorschlag der IG-Metall zur Schaffung eines neuen Instruments „Transformationskurzarbeitergeld“ zu folgen. Ein solches Transformationskurzarbeitergeld ist dann als Instrument attraktiv, wenn das Beschäftigungsverhältnis im Betrieb während der Qualifizierungsmaßnahme fortbesteht. Es ist auch für die weiter unten beschriebene berufliche Neuausbildung geeignet.

Instrument: Auszahlung eines Transformationskurzarbeitergeldes bei Erhalt des Beschäftigungsverhältnisses im Rahmen eines Industrietransformationsprozesses

Ausgestaltung

> Ein Transformationskurzarbeitergeld sichert analog zu den anderen Formen des Kurzarbeitergeldes als Lohnersatzleistung den Lebensunterhalt der Leistungsbeziehenden und gewährleistet darüber hinaus die volle Übernahme der Kosten einer während der Kurzarbeit zu besuchenden beruflichen Weiterbildung (IG Metall, 2019a).

> Macht eine grundlegende Industrietransformation eine Kürzung der Arbeitszeit – in einzelnen Betrieben oder regional konzentriert – notwendig, so wird der Erwerb zusätzlicher berufs- oder jobspezifischer Qualifikationen ermöglicht, die diese Phasen der "Kurzarbeit" überbrücken.

> Die Qualifizierungsprogramme bauen idealerweise modular auf vorhandenen Kenntnissen und Qualifikationen auf. Während der Qualifizierungsmaßnahme besteht das Beschäftigungsverhältnis im Betrieb fort. Damit besteht gleichzeitig eine finanzielle Unterstützung für die Teilnehmer.

> Die Zahlung des Transformationskurzarbeitergeldes muss an Prämissen geknüpft sein, um einen exzessiven Gebrauch zu vermeiden. Beispielsweise muss das Beschäftigungsverhältnis während der Auszahlung weiter bestehen und die berufsbegleitende Qualifizierung muss zeitlich begrenzt sein.

Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen:

Die bewährten Instrumente Konjunktur- sowie Transferkurzarbeitergeld wie auch die Instrumente im Rahmen des Qualifizierungschancengesetzes decken Qualifizierungsmöglichkeiten bei drohendem Strukturwandel nicht umfassend ab. Das Konjunkturkurzarbeitergeld bezieht sich auf konjunkturelle Änderungen, nicht aber auf strukturelle. Das Transferkurzarbeitergeld berücksichtigt zwar den strukturellen Wandel, setzt aber den Übergang von Beschäftigten in eine Transfergesellschaft voraus, bei dem das bestehende Beschäftigungsverhältnis unterbrochen wird. Das Qualifizierungschancengesetz ermöglicht zwar ein Fortbestehen des Beschäftigungsverhältnisses, jedoch stehen nur *einzelne* Beschäftigte im Fokus. Das vorgeschlagene Instrument knüpft soweit möglich an die bewährten Strukturen existierender Kurzarbeitsinstrumente an und ergänzt diese.

Zeitlicher Horizont: Kurzfristig und mittelfristig.

6.1.2 Maßnahme: Berufliche Neuausbildung „in der Mitte“ des Erwerbslebens ermöglichen

Hintergrund: Die digitale Transformation der Mobilität bzw. des Verkehrssektors führt zu einer disruptiven Veränderung auf dem Arbeitsmarkt. Betriebliche Weiterbildung allein ist nicht ausreichend, um den zukünftigen Bedarf der Unternehmen an digitalen Kompetenzen zu decken. Beispielsweise ist laut einer Befragung der IG Metall insbesondere die zukünftige

Deckung des Bedarfs an *Softwareentwicklern* eine große Herausforderung.[264] Einige Unternehmen versuchen entsprechend Softwareentwickler intern zu qualifizieren. Eine entsprechende Ausbildung dauert zwei Jahre und endet mit dem IHK-Abschluss eines geprüften IT-Entwicklers.

Darüber hinaus existiert bereits ein breites Spektrum an Bildungsangeboten sowie Fördermaßnahmen. Jedoch erschwert die Vielzahl an Angeboten die Orientierung von Arbeitsmarktakteuren auf dem Bildungsmarkt. Qualifizierungsbedarfe sind oft individuell verschieden und erfordern es, passende Bildungsangebote zu finden. Die Navigation durch diese Angebote auf nationaler und regionaler Ebene sollte, auch im Hinblick auf KMU, zeit- und kostensparend möglich sein.

Ziel: Flexibilität der Beschäftigungsfähigkeit von Mitarbeitern grundlegend erhöhen.

Erläuterung der Maßnahme: Die praktische Arbeit im Betrieb ist durch ständige Anpassung und den Gewinn immer neuer Erkenntnisse geprägt. Angeknüpft an das bewährte System der betrieblichen Berufsausbildung kann darüber hinaus eine interne „Neuqualifizierung“ oder auch „Neuausbildung“ der eigenen Beschäftigten stattfinden. Diese sollte – wie die berufliche Erstausbildung auch – primär in den Betrieben stattfinden, da diese die eigenen Qualifikationsanforderungen am besten kennen. Anders als die klassische Berufsausbildung kann die Neuqualifizierung und Neuausbildung stärker modular ausgerichtet sein und neben berufs- auch schwerpunktmäßig jobspezifische Inhalte vermitteln. Ein solcher Ansatz kann durch das oben beschriebene Transformationskurzarbeitergeld umgesetzt werden.

Darüber hinaus müssen Bildungsangebote transparent ersichtlich sein. Das folgende Instrument zielt darauf ab.

Instrument: Online-Portal für Arbeitnehmer und Arbeitgeber

Ausgestaltung

> Das vorgeschlagene Online-Portal ermöglicht es, alle angebotenen Bildungsmaßnahmen transparent und zentral (z.B. über die Bundesagentur für Arbeit als Erweiterung der Online-Plattform KURSNET) für Akteure des Arbeitsmarkts darzulegen.
> Darüber hinaus können Förder- und Teilnahmemöglichkeiten erläutert und bei entsprechender Eignung direkt online beantragt werden.

Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen:

Das BMWi fördert bereits das „Kompetenzzentrum Fachkräftesicherung“[265], welches KMU unter anderem bei der Weiterbildung von Fachkräften unterstützt. Das BMBF hat darüber hinaus eine Homepage mit allgemeinen Informationen zu Weiterbildungen sowie eine Telefonhotline eingerichtet, unter der sich Bürger über geeignete Weiterbildungen informieren können.[266] Die IG Metall und Südwestmetall haben zudem die Agentur Q

[264] Studie dazu auf Anfrage bei der IG Metall erhältlich.
[265] Siehe https://www.kofa.de/.
[266] Siehe https://www.der-weiterbildungsratgeber.de/.

gegründet, welche Unternehmen der Metall- und Elektroindustrie hinsichtlich der beruflichen Weiterbildung berät.

Zeitlicher Horizont: Kurzfristig.

6.1.3 Maßnahme: Ermittlung der Qualifizierungsbedarfe der Betriebe mit Blick auf das vernetzte und automatisierte Fahren und eine Anpassung von Lehrinhalten in der akademischen und beruflichen Erstausbildung

Hintergrund: Wie in Abschnitt III.6.1 dargestellt, sind die Lehrinhalte in der akademischen sowie beruflichen Erstausbildung in Deutschland gut auf die Themen der Elektromobilität ausgerichtet (Schild et al., 2017; ika und TH Ingolstadt, 2017). So werden die Themen der Elektromobilität bereits in zahlreichen Studiengängen und Vertiefungsrichtungen in der akademischen Qualifizierung und beruflichen Erstausbildung adressiert. Gewerkschaften sehen allerdings noch Nachholbedarf bei der Ermittlung des Qualifizierungsbedarfs der Unternehmen (IG Metall, 2019b). Zum gleichen Ergebnis kommt das Projekt „Netzwerk Qualifizierung Elektromobilität (NQuE)“, insbesondere im Bereich der Weiterbildung (ika und TH Ingolstadt, 2017).

Auch das Thema automatisiertes Fahren wurde bereits in die akademische Ausbildung integriert. So gibt es bereits eine Vielzahl an Studiengängen in diesem Bereich. Eine Befragung im Rahmen einer BMBF/BIBB-Initiative kam jedoch zu dem Ergebnis, dass in den meisten Berufen bisher weder die Ausbildungsordnung noch die Ausbildungsgestaltung an den Lernorten den neuen Anforderungen der Digitalisierung ausreichend gerecht werden (BIBB, 2018a).

Ziel: Grundlagen für bedarfsgerechte Bildungsmaßnahmen schaffen und an die wandelnden Kompetenzanforderungen flexibel anpassen. Bestehende Angebote in der beruflichen und akademischen Erstausbildung sowie der Weiterbildung lassen sich hierdurch bedarfsgerecht anpassen und um neue Angebote ergänzen.

Erläuterung der Maßnahme: Um geeignete Bildungsmaßnahmen anbieten zu können, müssen Unternehmen ihren Qualifizierungsbedarf ermitteln und den Bildungseinrichtungen transparent kommunizieren. Nur mit qualifiziertem Personal können sie ihre Wettbewerbsposition nachhaltig sichern. Dabei kann häufig auf bereits bestehende Kooperationen zurückgegriffen werden.

Instrument: Fördergelder für Hochschulen bei Verbundprojekten, Austauschprogramme schaffen und subventionieren

Ausgestaltung

> Unterstützung der Unternehmen (im Speziellen KMU der Zulieferindustrie sowie des Automobilhandels und des Aftermarkets) bei der Ermittlung des zukünftigen quantitativen und qualitativen Bedarfs an Fachkräften im Bereich der Fahrzeugautomatisierung, Elektromobilität und Digitalisierung durch finanziell geförderte Kooperationsprojekte mit Hochschulen und Forschungseinrichtungen.
> Die von der Bundesregierung initiierten regionalen Schaufenster der Elektromobilität bieten eine gute Plattform zum Austausch aller relevanten Akteure im Bereich

Elektromobilität. Auch die AG4 der NPM vernetzt wichtige Akteure im Bereich der Ausbildung und (Neu-) Qualifizierung der benötigten Fachkräfte.

> Auch regionale Fachkräftenetzwerke bieten eine gute Möglichkeit für einen regen Austausch. Durch eine enge Zusammenarbeit der regionalen Fachkräftenetzwerke mit Unternehmen und Ausbildungseinrichtungen können Angebote zur Erhebung von Qualifizierungsbedarfen in den Regionen verankert werden. In Zusammenarbeit mit dem *Innovationsbüro Fachkräfte für die Region* (finanziert vom BMAS) könnte ein systemischer Ansatz zum schnellen Austausch entwickelt werden.

Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen:

Für die vier regionalen Schaufensterregionen *Living Lab BW E-Mobil (Baden-Württemberg), Internationales Schaufenster der Elektromobilität (Berlin/Brandenburg), Unsere Pferdestärken werden elektrisch (Niedersachsen)* und *Elektromobilität verbindet (Bayern/Sachsen)* stellt der Bund Fördermittel in einer Gesamthöhe von 180 Mio. Euro bereit. In Abhängigkeit ihrer jeweiligen thematischen Ausrichtung werden die Projekte innerhalb der Schaufenster vom BMWi, BMVI, BMU, BMBF und weiteren Fördermittelgebern unterstützt.

Zeitlicher Horizont: Kurzfristig und mittelfristig.

6.2 Fachkräfte aus dem Ausland

6.2.1 Maßnahme: Gezielte Anwerbung höchstqualifizierter Fachkräfte im Ausland

Hintergrund: Im Inland fehlen hoch- und höchstqualifizierte Fachkräfte, beispielsweise Batterieexperten. Der Mangel an Fachkräften erschwert daher z.B. einen raschen Aufbau der Batterie-Massenfertigung und Batterieentwicklung (NPE, 2016).

Ziel: Der Fachkräftebedarf für Forschung, Entwicklung und Produktion neuer Technologien - der durch Arbeitskräfte in Deutschland nicht gedeckt werden kann - sollte durch gezielte, umfassend ausgestaltete Anwerbung im Ausland gedeckt werden.

Erläuterung der Maßnahme: Die Dauer des Ausbildungszyklus für hoch- und höchstqualifizierte Fachkräfte liegt bei ca. 16 Jahren. Engpässe können in vielen Bereichen daher nur durch Fachkräfte aus dem Ausland gedeckt werden. Da höchstqualifizierte, also Fachkräfte mit Masterabschluss, schwer anzuwerben und teuer sind, könnte eine Konzentration auf Bachelorabsolventen für ein Masterstudium hierbei die günstigere Alternative sein. Dies ermöglicht innerhalb des Masterstudiums Deutsch zu erlernen. Zudem bieten Studienplätze an exzellenten technischen Hochschulen (wie z.B. der RWTH Aachen, der TU Darmstadt oder dem Karlsruher Institut für Technologie) einen Anreiz, sich frühzeitig in Deutschland niederzulassen, um danach beispielsweise in der Batterieindustrie oder der Softwareentwicklung zu arbeiten.

Als konkretes Instrument dient:

Instrument: Einführung eines breit angelegten Programms zur gezielten Anwerbung höchstqualifizierter Fachkräfte im Ausland

Ausgestaltung

> Gezielte Anwerbung von im Ausland ausgebildeten Experten (insbesondere mit Studienabschlüssen in Osteuropa). Dies sollte unbürokratisch möglich sein, falls es sich um Fachkräfte aus der EU handelt. Für Nicht-EU Bürger wird ab Inkrafttreten des Fachkräfteeinwanderungsgesetzes (1.3.2020) ein beschleunigtes Fachkräfteverfahren für die Erteilung von Visa eingeführt. Zusätzlich sollte in Betracht gezogen werden, wie es bereits in Ausnahmefällen bei Beschäftigten der Informations- und Kommunikationstechnologie möglich ist, auf die bisher notwendigen Deutschkenntnisse zu verzichten.

> Einführung eines Bundesprogramms, das höchstqualifizierten Fachkräften (Ausbildungsstufen 6 oder höher nach ISCED-2011 Definition) den Eintritt in den deutschen Automobil-Arbeitsmarkt erleichtert.

> Hierbei könnte ein Programm geschaffen werden, in dem sich auf das gezielte Abwerben von ausländischen Bachelorabsolventen fokussiert wird. Diese könnten durch Masterstudienplätze inkl. Stipendien für technische Hochschulen in Deutschland angeworben werden. Eine Ergänzung durch unternehmensfinanzierte Stipendien ist ebenfalls zu unterstützen.

Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen:

Die Umsetzung des vorgeschlagenen Instruments wurde im Zuge des neuen Fachkräftezuwanderungsgesetzes zuletzt deutlich erleichtert. Dieses richtet sich an Arbeitnehmer aus Nicht-EU-Ländern.[267] Unter anderem entfällt eine Vorrangprüfung, ob nicht auch Deutsche oder EU-Bürger für die Stelle in Frage kommen. Auch können Personen mit einer Berufsausbildung probeweise für sechs Monate nach Deutschland kommen, um nach einem Arbeitsplatz zu suchen. Darüber hinaus gibt es verschiedene Maßnahmen, die sowohl Arbeitnehmern als auch Arbeitgebern beim Matching helfen sollen. So fördert das BMWi zum einen das Kompetenzzentrum *Fachkräftesicherung*[268], welches KMU dabei unterstützt, nach Fachkräften aus dem Ausland zu suchen. Zum anderen wurde das Portal *Make it in Germany*[269] erstellt, auf dem sich Fachkräfte aus dem Ausland über Berufsmöglichkeiten in Deutschland informieren können.

Zeitlicher Horizont: Mittelfristig.

[267] Siehe https://www.bundesrat.de/DE/plenum/bundesrat-kompakt/19/979/12.html;jsessionid=13A2E529CF9789307E92BB9047F7F3E2.1_cid349?nn=4352768#top-12.
[268] Siehe https://www.kofa.de/.
[269] Siehe https://www.make-it-in-germany.com/de/.

6.3 Regionale Förderinstrumente

6.3.1 Maßnahme: Regional präventive Strukturpolitik schaffen

Hintergrund: Der Strukturwandel in der Automobilindustrie wird, wie in Abschnitt III.4.1 beschrieben, die einzelnen Bundesländer, aber auch einzelne Regionen und Cluster, unterschiedlich stark betreffen. Das liegt nicht nur an der regional unterschiedlichen Bedeutung der Automobilindustrie, sondern auch an einer Vielzahl weiterer regionaler Eigenschaften. Das kann beispielsweise die Alters- oder Bildungsstruktur einer Region sein. Aber auch die wirtschaftliche Struktur oder die Spezialisierung auf bestimmte Fertigungsverfahren oder Produkte können Unterschiede in der Auswirkung des Strukturwandels bedeuten.

Ziel: Regionale Auswirkungen eines tiefgreifenden, vorhersehbaren Strukturwandels vorausschauend gestalten sowie negative Folgen abmildern bzw. vermeiden.

Erläuterung der Maßnahme: Die folgenden Maßnahmen sollen dabei helfen, den Strukturwandel auch in den besonders betroffenen Regionen vorausschauend zu gestalten und negative Folgen abzufedern. Sie ist in gewisser Weise das infrastrukturelle Gegenstück zum Transformationskurzarbeitergeld, das die Humankapitalverluste des Strukturwandels adressiert.

Unsere Maßnahme zielt auf die Entwicklung eines robusten, indikatorbasierten Ansatzes, der die Grundidee eines Konjunkturindikators – nämlich vorausschauend konzipiert zu sein – auf längerfristige Entwicklungen der regionalen Wirtschaftsstruktur überträgt. Regionale Fördermaßnahmen sollten an einem solchen Indikator ausgerichtet sein. Der Vorschlag ist somit komplementär zur bestehenden nationalen Regionalpolitik der Bund-Länder- Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur“ (GRW). Die GRW-Förderung konzentriert sich auf bereits strukturschwache Regionen und ist damit ein reaktives Instrument, das auf einer Ex-Post-Indikatorik beruht. Unser Vorschlag setzt früher an, indem er Strukturschwächen aufgrund eines tiefgreifenden – durch robuste Frühindikatoren prognostizierbaren – Strukturwandels verhindert oder proaktiv gestaltet und damit ihre negativen Folgen abmildert.

Instrument: Regionalpolitisches Förderinstrumentarium zur Beschleunigung des Strukturwandels erarbeiten – Regional präventive Strukturpolitik

Ausgestaltung

> Regionale, länder- oder landkreisspezifische Mittelzuweisung anhand von vorlaufenden, zukunftsgerichteten Frühindikatoren des Strukturwandels.
> Gefördert werden gewerbliche (Kapital-)Investitionen und Qualifizierungsinvestitionen sowie Investitionen in die wirtschaftsnahe Infrastruktur. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Beschleunigung der Arbeitsmarkttransformation des sektoralen Strukturwandels, der sich beispielsweise in einer regional stark konzentrierten Prognose der Jobzerstörungsrate widerspiegelt. Dabei ist eine enge sachliche Eingrenzung auf gravierende Strukturanpassungen vorzunehmen, die den regionalen Arbeitsmarkt überfordern.
> Eine klare zeitliche Befristung (beispielsweise auf 5 Jahre) der Mittelzuweisung ist sicherzustellen, um Mitnahmeeffekte bzw. eine Verstetigung von Transfers zu verhindern.

> Die konzeptionelle Entwicklung und operationale Ausarbeitung solcher Indikatoren sprengen den Rahmen dieser Studie. Sie sollte im Rahmen eines Forschungsprojekts baldmöglichst beauftragt werden. Dabei muss auf die Produktionsplanung der Unternehmen nach Standorten aufgesetzt werden.

Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen:

Seit 1969 werden durch die GRW-Förderung des BMWi strukturschwache Regionen gefördert.[270] In die Automobilindustrie (WZ29) flossen zwischen 2014 und 2018 durch die GRW-Förderung bereits mehr als 242 Mio. Euro.[271] Im Rahmen der GRW-Förderung wird jedoch nicht die zukünftige Entwicklung, wie sie durch den Strukturwandel eintreten könnte, berücksichtigt.

Zeitlicher Horizont: Mittelfristig.

6.4 KMU-Förderung

Wie in Kapitel II.1. dargelegt, ist eine Vielzahl an Unternehmen der Automobilindustrie sowie des Automobilhandels und des Aftermarkets den KMU zuzurechnen. Gerade diesen wird es schwerfallen, den Strukturwandel erfolgreich zu bewältigen. Daher sollen die Maßnahmen dieses Unterabschnitts KMU dabei helfen, den Strukturwandel zu meistern.

6.4.1 Maßnahme: Harmonisierung der Förderantragstellung und der Dokumentation während der Förderperiode

Hintergrund: Es gibt zahlreiche Förderprogramme für F&E und für den Ausbau der Digitalisierung, die auf KMU, z.B. des Anlagenbaus, der Automobilindustrie oder des Energiesektors, zielen. Allerdings ist die Antragstellung häufig aufwendig und komplex, was insbesondere für KMU eine große Hemmschwelle ist, sich an öffentlich geförderten Projekten zu beteiligen. KMU haben typischerweise knappe Ressourcen für solche administrativen Tätigkeiten zur Verfügung. Daher stellt die Suche nach Informationen zur Förderung und zur Antragstellung oftmals ein gravierendes Hindernis bei der Förderantragstellung dar. Dies liegt insbesondere daran, dass die Antragsformulare hinsichtlich des Umfangs und der Form sowie der Berechnung der Ausgabenplanung zwischen den einzelnen Förderprogrammen sehr stark variieren. Darüber hinaus sind Form und Aufwand der notwendigen Dokumentation während der Projektlaufzeit häufig sehr unterschiedlich. So ist beispielsweise für manche Förderprogramme eine sehr zeitintensive Erfassung der Projektstunden notwendig.

Bei einer Befragung mittelständischer Unternehmen[272] aus dem Jahr 2015 gaben 94% aller Firmen, die einen Förderantrag gestellt hatten, an, dass sie sich externe Unterstützung bei der Antragstellung gesucht hatten, z.B. bei der Industrie- und Handelskammer (IHK), anderen Berufsverbänden oder externen Beratern (PwC, 2015). Als Hauptgründe gaben sie an, einen besseren Überblick über das Angebot bekommen zu wollen, die Komplexität der Fördermöglichkeiten zu durchschauen sowie Planungs- und Entscheidungssicherheit zu

[270] Siehe https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/regionalpolitik.html.
[271] Siehe https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Infografiken/Wirtschaft/grw-foerderung-gewerbliche-wirtschaft-02.html.
[272] Als Mittelstand werden Unternehmen mit einem Umsatz zwischen 50 und 500 Mio. Euro definiert.

erhöhen. Lediglich 4% der befragten Unternehmen gaben an, dass sie keine Hilfe bei der Antragstellung benötigten.

Ziel: Vereinfachung und Harmonisierung der Förderantragstellung, z.B. der F&E-Förderung für KMU.

Erläuterung der Maßnahme: Zunächst ist die breit gefächerte Förderung von KMU als positiv zu bewerten und sollte dementsprechend fortgeführt werden. Um das Problem einer arbeits- und zeitintensiven Antragstellung und Projektdokumentation zu beseitigen und damit mehr KMU zur Antragstellung zu motivieren, bedarf es einer Vereinfachung des Antragsprozesses sowie der projektbegleitenden Dokumentation während der Förderperiode. Unternehmen können somit ihre Suchkosten bei der Antragstellung verringern und die Fördergelder in vollem Umfang nutzen, da sie nicht mehr auf externe Dienstleister angewiesen sind. Hierzu sollten die Möglichkeiten durch die Digitalisierung der Wirtschaft besser genutzt werden.

Als konkretes Instrument dient:

Instrument: Erweiterung des Portals zur elektronischen Einreichung von Förderanträgen und Verwaltung während der Projektlaufzeit

Ausgestaltung

> Erweiterung des bundesweiten Portals „easyonline“ zur Antragstellung, sodass Anträge zu allen Förderprogrammen der Bundesregierung dort gestellt werden können.[273]
> Integration der profi-Plattform und von Verwaltungsfunktionen, die während der Förderung benötigt werden, in das Portal.
> Vorbild für die Antragstellung könnte dabei das Funding & Tender Opportunities Portal (ehemals Participant Portal) der Europäischen Kommission sein, das themenübergreifend eine einheitliche elektronische Einreichung ermöglicht.
> Auch Dienstleistungen wie beispielsweise Seminare im Rahmen anderer Initiativen können auf dem Portal vermerkt und mit einem entsprechenden Link versehen werden.

Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen:

Es gibt unterschiedliche Portale, auf denen Förderungsanträge gestellt werden können, beispielsweise das Portal „easyonline“, das eine Vielzahl von Anträgen beim Bund abdeckt. Darin sind jedoch nicht alle Förderprogramme enthalten (z.B. Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand des BMWi, Förderungen des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)).

Zeitlicher Horizont: Kurzfristig.

[273] Siehe https://foerderportal.bund.de/easyonline/easyOnline.jsf.

6.4.2 Maßnahme: Ausbau der Beratung von KMU bei der Antragstellung

Hintergrund: Für KMU erweisen sich die Suche nach geeigneten Förderprogramme sowie die Förderantragstellung häufig als äußerst aufwändig. Die Bundesregierung hat dieses Hindernis erkannt und daher bereits die Förderberatung „Forschung und Innovation“ eingerichtet.

Ziel: Beseitigung der Hemmnisse für Unternehmen sich an die Förderberatung zu wenden und schnelle Auskunft bei kleinen Anfragen.

Erläuterung der Maßnahme: Die Einrichtung einer Förderberatung ist ein sinnvolles Instrument, um KMU die Suche nach Förderprogrammen oder sonstigen unterstützenden Maßnahmen zu erleichtern. Diese sollte unbedingt beibehalten und ausgebaut werden. Aktuell gibt es eine Förderseite[274] des Bundes, in welche die Förderberatung sowie weitere Informationen zu Förderprogrammen integriert sind. Damit die Beratung auch von vielen Unternehmen in Anspruch genommen wird, sollte das Angebot ausgebaut bzw. die Stellung von Anfragen vereinfacht werden.

Als konkretes Instrument dient:

Instrument: Ausbau der Förderberatung „Forschung und Innovation“
Ausgestaltung > Verlagerung der Informationen der Förderberatung „Forschung und Innovation“ auf eine eigene Homepage zur Beratung von KMU. > Ausbau der Beratung auch für Förderprogramme, die nicht auf F&E ausgerichtet sind. > Bündelung aller allgemeinen Infos zur Antragstellung bei Förderprogrammen. > Angabe der Ansprechpartner nach Themengebiet. > Integration der Infoseiten des Förderportals, insbesondere des Förderkatalogs, an zentraler Position zur Suche nach geeigneten Förderprogrammen. > Überarbeitung und Steigerung der Benutzerfreundlichkeit des Förderkatalogs.
Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen: Es existiert bereits die Förderberatung „Forschung und Innovation“ für KMU. Diese ist eine wichtige Unterstützung für KMU und sollte daher weiter ausgebaut werden. Aktuell ist sie in die Förderinfo-Homepage der Bundesregierung eingebettet und enthält nur wenige Informationen. Zudem existiert eine Förderhotline, an die sich Unternehmen wenden können.
Zeitlicher Horizont: Kurzfristig.

[274] Siehe https://www.foerderinfo.bund.de/index.php.

6.4.3 Maßnahme: Verbesserung des Zugangs von „Midrange Companies“ zu Förderprogrammen

Hintergrund: Die EU trennt bei ihrer Definition klar zwischen KMU und größeren Unternehmen. Bei KMU handelt es sich um Unternehmen mit bis zu 249 Beschäftigten. Diese werden auch bereits durch eine Vielzahl von F&E-Förderprogrammen unterstützt. Für sogenannte „Midrange Companies“, auch „Mid caps“ genannt, gibt es hingegen kaum Fördertöpfe. Midrange Companies sind hier Unternehmen ab 250 Beschäftigten und einer Obergrenze von maximal 3.000 Beschäftigten (ZEW, 2018b). So fallen viele mittelständisch geführte Unternehmen aus der KMU-Definition heraus. Dabei ähneln ihre Strukturen denen von KMU, da ein Großteil von ihnen ebenfalls familiengeführt oder mehrheitlich von einer Eignerfamilie kontrolliert wird (IW Köln, 2018). Gleichzeitig können sie aber auch aufgrund ihrer finanziellen und managementbezogenen Ressourcen kaum mit Großunternehmen verglichen werden. Eine Untersuchung des ZEW zeigt darüber hinaus, dass vor allem bei Midrange Companies die Wahrscheinlichkeit deutlich geringer als bei KMU ist, eine nationale Förderung zu erhalten (ZEW, 2018b).

Ziel: Gezielte finanzielle Unterstützung bei F&E-Projekten von „Midrange Companies“.

Erläuterung der Maßnahme: Auch wenn der Strukturwandel Unternehmen aller Größen vor Herausforderungen stellen wird, wird es den Großunternehmen vermutlich am leichtesten fallen, geeignete Maßnahmen in die Wege zu leiten. Deutlich schwieriger wird es hingegen für KMU sowie Midrange Companies, die nötigen Ressourcen für F&E aufzubringen. Das liegt mitunter daran, dass das Risiko durch Investitionen in F&E mit zunehmender Unternehmensgröße sinkt. Zum einen erfordern F&E-Projekte immer ein gewisses Startkapital (Fixkosten). Größere Unternehmen, die folglich mehr Mitarbeiter und mehrere Folgeprojekte initiieren können, profitieren somit in größerem Umfang von den getätigten Investitionen und erzielen demnach größere Skalenerträge. Diese unterscheiden sich folglich nach Unternehmensgröße.

Für KMU mit bis zu 249 Beschäftigten gibt es bereits eine Vielzahl an Förderprogrammen. Für Midrange Companies ist die Anzahl der Förderprogramme deutlich geringer. Auch haben sie im Gegensatz zu den großen Konzernen keine Plattform, um ihre Probleme zu thematisieren. Dabei haben sie ebenfalls einen großen Anteil an der Beschäftigung in der Automobilindustrie. Anhand der Auswertung in Abschnitt III.4.3 wird beispielsweise deutlich, dass bei Zulieferern bereits 36% aller Beschäftigten bei Unternehmen mit 250-999 Beschäftigten angestellt sind. Darüber hinaus verkörpern Midrange Companies mit bis zu 3.000 Beschäftigten gerade in Deutschland eine Stärke der Wirtschaft (IW Köln, 2017c). So gibt es etwa in Deutschland deutlich mehr Midrange Companies als im EU-Durchschnitt. Der größte Anteil der Midrange Companies entfällt in Deutschland auf die Industrie[275] und insbesondere auf das Verarbeitende Gewerbe.

Daher müssen auch den Unternehmen, die nicht mehr in die Definition der KMU fallen, aber dennoch ähnliche Strukturen aufweisen, ausreichend Fördermöglichkeiten bereitgestellt werden, die gezielt den Strukturwandel in der Automobilwirtschaft adressieren.

Als konkretes Instrument dient:

[275] Als Industrie werden das Verarbeitende Gewerbe, Bergbau sowie Ver- und Entsorgung bezeichnet.

Instrument: Einrichtung von F&E-Förderprogrammen für Midrange Companies
Ausgestaltung > Einrichtung von F&E-Förderprogrammen für Unternehmen mit zwischen 250 und 3.000 Beschäftigten.[276] > Regelmäßige Evaluation, ob die Ausweitung der Förderung für Midrange Companies noch berechtigt ist.
Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen: Eine Vielzahl an Förderungen existiert vor allem für KMU. Auch große Konzerne sind gegenüber Midrange Companies im Vorteil. Sie sind beispielsweise auf Plattformen wie der NPM in direktem Austausch mit der Regierung und erhalten finanzielle Förderungen. Midrange Companies sind von Fördertöpfen jedoch häufig ausgeschlossen, wie z.B. bei KMU-innovativ: Elektronik und autonomes Fahren, welches Unternehmen bis zu einer Größe von 250 Mitarbeitern fördert.
Zeitlicher Horizont: Mittelfristig.

6.4.4 Maßnahme: Förderung für junge, innovative Unternehmen weiter ausbauen

Hintergrund: Es sind oft kleine, junge Unternehmen, die als Innovationsschmieden durch neue Konzepte und Technologien Aufsehen erregen. So haben sich vor allem junge Unternehmen in der Vergangenheit als Treiber wichtiger Innovationen im Straßenverkehr gezeigt. Beispielweise haben Start-ups den Megatrend der Digitalisierung genutzt und eine Vielzahl neuer Mobilitätskonzepte auf den Markt gebracht (z.B. Clevershuttle, Wunder, BlablaCar). Ebenso finden sich unter den KMU zahlreiche sogenannte Hidden Champions, die als Weltmarktführer für hochspezialisierte Produkte gelten. Allerdings ist das unternehmerische Risiko durch F&E der kleinen, jungen und innovativen Betriebe um ein Vielfaches höher als das Risiko großer etablierter Unternehmen. Hinzu kommt, dass für sie der Marktzugang schwerer ist.

Ziel: Minderung des unternehmerischen Risikos für junge Innovationsschmieden und somit Förderung der Gründung von Start-ups.

Erläuterung der Maßnahme: Um Deutschland als Standort für Start-ups attraktiv zu gestalten, bedarf es entsprechender Rahmenbedingungen. Hierfür sollten die bestehenden nationalen und europäischen Förderinstrumente einen verstärkten Fokus auf diese Betriebe richten und zudem weiter ausgebaut werden. Dies betrifft sowohl die Finanzierung als auch den Marktzugang. Hier eröffnen Kooperationen mit etablierten Unternehmen gerade für junge und innovative Unternehmen neue Möglichkeiten. Wie in Teil II beschrieben, könnten diese Kooperationen in Deutschland noch weiter gefördert werden.

[276] Bisher gibt es keine einheitliche Definition von Midrange Companies, weshalb die Obergrenze der zu fördernden Unternehmen noch festgelegt werden muss.

Als konkretes Instrument dient:

Instrument: Ausbau der bestehenden Förderinstrumente für Start-ups hinsichtlich neuer Mobilitätskonzepte

Ausgestaltung

> Bestehende Förderinstrumente wie Gründer- und Unternehmerkredite (z.B. das ERP-Gründerkredit Startgeld der KfW), das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) oder die Maßnahme KMU-innovativ Elektroniksysteme; Elektromobilität fortsetzen.

> Für die Weiterentwicklung oder Begründung neuer Förderinstrumente könnten die Ergebnisse der Forschungsagenda „Nachhaltige urbane Mobilität“ des BMBF zum Leitgedanken werden. Diese definiert etwa Herausforderungen sowie Forschungs- und Entwicklungsbedarfe nachhaltiger urbaner Mobilität, wie z.B. hinsichtlich der Rolle neuer Mobilitätsdienstleister, Anpassungsbedarfe rechtlicher Rahmenbedingungen sowie kommunale Möglichkeiten zur Steuerung von Liefer- und Güterverkehren.

> Des Weiteren sollten Förderprogramme mit einem starken Fokus auf Kooperationen von Unternehmen weiterverfolgt und geschärft werden.

Einordnung des Vorschlags in bestehende Rahmenbedingungen:

Finanzielle Förderungen für Start-ups werden im Rahmen verschiedener Programme zur Verfügung gestellt. Dazu zählen die oben genannten Beispiele oder auch der *Gründerwettbewerb - Digitale Innovationen* des BMWi. Dieser zeichnet Start-ups mit innovativen Geschäftsideen aus, die auf IKT-basierten Produkten und Dienstleistungen beruhen. Für die Förderung von Unternehmenskooperation gibt es auf nationaler Ebene z.B. die Programme „Zwanzig20-Partnerschaft für Innovation“ des BMBF und den „Forschungscampus ARENA 2036“. Auf multinationalem Niveau steht das EU-Förderprogramm *Horizont 2020* zu Verfügung. An einem Forschungsprojekt müssen dabei „drei voneinander unabhängige Einrichtungen aus jeweils drei unterschiedlichen EU Mitglied- oder assoziierten Staaten beteiligt sein“ (BMBF, 2014).

Zeitlicher Horizont: Mittelfristig.

Literaturverzeichnis

Acatech (2017). Fachforum Autonome Systeme. Chancen und Risiken für Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft. Abschlussbericht – Langversion. Berlin.

Accenture (2018). Mobility as a service.

ACEA (2018). European Automobile Manufacturers Association Tax Guide 2018.

Adient LTD. & Co. KG (2012). Generation der Digital Natives will auch im Auto nicht auf Internet, Smartphone und Apps verzichte.

Agora Energiewende (Agora) (2014). Stromspeicher in der Energiewende. Untersuchung zum Bedarf an neuen Stromspeichern in Deutschland für den Erzeugungsausgleich, Systemdienstleistungen und im Verteilnetz.

Agora Verkehrswende (2017). Mit der Verkehrswende die Mobilität von Morgen sichern. 12 Thesen zur Verkehrswende. Berlin.

Agora Verkehrswende (2018). Die Fortschreibung der Pkw-CO_2-Regulierung und ihre Bedeutung für das Erreichen der Klimaschutzziele im Verkehr. Berlin.

Agora Verkehrswende, Agora Energiewende und Frontier Economics (2018): Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe. Berlin.

Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V. (ADAC) (2018). Präsidium des ADAC e.V. ADAC motorwelt Ausgabe 06/2018. München.

Anderson, P. L., McLellan, R. D., Overton, J. P. und G.L. Wolfram (1997). Price elasticity of demand. McKinac Center for Public Policy.

Audi AG (2011 bis 2018). Geschäftsberichte der Jahre 20117 bis 2018. Ingolstadt.

Audi AG (2018). Pressemappe für den Audi e-tron.

Aurora Energy Research (Aurora) 2018. Opportunities in Electric Vehicle Charging at Commercial and Industrial Sites.

Bain & Company (2014). Big Data revolutioniert die Automobilindustrie. München.

Begleit- und Wirkungsforschung Schaufenster Elektromobilität (BuW) (2015a). Microgrids und Elektromobilität in der Praxis: Wie Elektroautos das Stromnetz stabilisieren können.

Begleit- und Wirkungsforschung Schaufenster Elektromobilität (BuW) (2017a) Abschlussbericht der Begleit- und Wirkungsforschung 2017.

Beiderbeck, D., Deradjat, D. und T. Minshall (2018). The Impact of Additive Manufacturing Technologies on Industrial Spare Parts Strategies. Centre for Technology Management Working paper series.

Bernhart, W. (2016). Autonomous Driving Markets, Drivers and Business Models. ATZelektronik worldwide, 11(2), 36-41.

Bertelsmann Stiftung (2019). Zuwanderung und Digitalisierung. Wie viel Migration aus Drittstaaten benötigt der deutsche Arbeitsmarkt künftig? Gütersloh.

Berufsstart (2018). Attraktive Arbeitgeber 2018. Top 100 Arbeitgeber 2018. Großenkneten.

Berylls (2019). Quo vadis OEM aftersales? München.

Bitkom (2016). Neue Arbeit – Wie die Digitalisierung unsere Jobs verändert. Präsentation Thorsten Dirks.

Bitkom (2017). Stellungnahme. Die Digitalisierung in der Personenbeförderung muss sich entfalten können! Berlin.

BMW Group (2011 bis 2018). Geschäftsberichte der Jahre 2011 bis 2018. München.

BNP Paribas und Center of Automotive Management (CAM) (2018). Finanzierung und Sicherung neuer Mobilitätskonzepte. Bergisch Gladbach.

Bösch, P.M. et al. (2018). Cost-based analysis of autonomous mobility services. Transport Policy 64, 76-91. Zürich.

Boston Consulting Group (BCG) (2017). The Electric Car Tipping Point.

Brandao, T. und G. Wolfram (2018). Digital Connection. Die bessere Customer Journey mit smarten Technologien – Strategie und Praxisbeispiele. Springer Verlag.

Brost, W., Funke, T. und D. Vallée (2016). SLAM - Schnellladenetz für Achsen und Metropolen. Aachen.

Brünglinghaus, C. (2016). Volkswagen kündigt Partikelfilter für Ottomotoren an. Springer Professional.

Bundesagentur für Arbeit (2011). Klassifikation der Berufe 2010 (KldB 2010) – Aufbau und anwendungsbezogene Hinweise.

Bundesagentur für Arbeit (2019). Arbeitsmarktsituation von langzeitarbeitslosen Menschen. Berichte: Blickpunkt Arbeitsmarkt. Juni 2019.

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) (2019). Standardisierungsstrategie zur Sektorübergreifenden Digitalisierung nach dem Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende - Roadmap für die Weiterentwicklung der technischen BSI-Standards in Form von Schutzprofilen.

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) (2019). Elektromobilität (Umweltbonus). Zwischenbilanz zum Antragstand vom 31. März 2019. Eschborn.

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (2015). Indikatoren zur Nahversorgung. Erreichbarkeit von Gütern und Dienstleistungen des erweiterten täglichen Bedarfs. BBSR-Analysen KOMPAKT 10/2015. Bonn.

Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) (2016). Kraftfahrzeugmechatroniker/ Kraftfahrzeugmechatronikerin. Online-Berufsinformation zur Ausbildungsordnung. Bonn.

Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) (2018a). BMBF/BIBB-Initiative Fachkräftequalifikationen und Kompetenzen in der digitalisierten Arbeit von morgen im Kontext von Berufsbildung 4.0. Bonn.

Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) (2018b). Move on – Qualifikationsstruktur und Erwerbstätigkeit in Berufen der räumlichen Mobilität. Wissenschaftliche Diskussionspapiere. Heft 195. Bonn.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) (2016). Arbeitsmarkt 2030 – Wirtschaft und Arbeitsmarkt im digitalen Zeitalter: Prognose 2016.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) (2018). Branchenbericht: Automobil – Qualität der Arbeit, Beschäftigung und Beschäftigungsfähigkeit im Wechselspiel von Technologie, Organisation und Qualifikation.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) (2019). Nationale Weiterbildungsstrategie – Strategiepapier.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2014). Horizont 2020 im Blick. Informationen zum neuen EU-Rahmenprogramm für Forschung und Innovation. Bonn.

Bundesministerium für Finanzen (BMF) (2019). 8. EKF-Bericht. Bericht des Bundesministeriums der Finanzen über die Tätigkeit des Energie- und Klimafonds (EKF; Kap. 6092) im Jahr 2018 und über die im Jahr 2019 zu erwartende Einnahmen- und Ausgabenentwicklung. Berlin.

Bundesministerium der Justiz und Verbraucherschutz (BMJV) (2016). Verordnung über technische Mindestanforderungen an den sicheren und interoperablen Aufbau und Betrieb von öffentlich zugänglichen Ladepunkten für Elektromobile (Ladesäulenverordnung – LSV).

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorensicherheit (BMU) (2016). Klimaschutzplan 2050. Berlin.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2019). BMU-Aktionsprogramm PtX „Power-to-X“. Bonn.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2008). Übersicht der ECE-Regelungen.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2015). Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren. Leitanbieter bleiben, Leitmarkt werden, Regelbetrieb einleiten. Berlin.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2017). Bericht zum Stand der Umsetzung der Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren. Berlin.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2017a). Förderrichtlinie Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland vom 13. Februar 2017 mit Änderung vom 28. Juni 2017.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2017b). 5G-Strategie für Deutschland. Berlin.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2018a). Mobilität in Deutschland 2017. Kurzreport. Verkehrsaufkommen-Struktur-Trends. Bonn.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2018b). Verkehr in Zahlen 2018/2019. 47. Jahrgang. Flensburg.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2015). Schlussbericht Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte der Energiewirtschaft.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2016a). Bundesanzeiger Bekanntmachung. Richtlinie zur Förderung des Absatzes von elektrisch betriebenen Fahrzeugen (Umweltbonus). Berlin.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2016b). Automatisiertes und Vernetztes Fahren. Fünf Punkte für mehr Innovation, Wertschöpfung und Datensicherheit. Berlin.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2016c). Verordnung über technische Mindestanforderungen an den sicheren und interoperablen Aufbau und Betrieb von öffentlich zugänglichen Ladepunkten für Elektromobile (Ladesäulenverordnung - LSV).

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2016d). Elektromobilität Baustein einer nachhaltigen klima- und umweltverträglichen Mobilität.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2017). Erste Verordnung zur Änderung der Ladesäulenverordnung LSV II. Berlin.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2018a). Barometer Digitalisierung der Energiewende.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2018b). Innovation für die Elektromobilität. Ergebnisse aus dem Förderprogramm Elektro Power II.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2018c). Thesen zur industriellen Batteriezellfertigung in Deutschland und Europa.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2019). Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahre 2018.

Bundesnetzagentur (2019). Quartalsbericht zu Netz- und Systemsicherheitsmaßnahmen Gesamtjahr und Viertes Quartal 2018.

Bundesregierung (2017). 5G-Strategie für Deutschland - Eine Offensive für die Entwicklung Deutschlands zum Leitmarkt für 5G-Netze und -Anwendungen.

Bundesregierung (2018). Ein neuer Aufbruch für Europa, Eine neue Dynamik für Deutschland, Ein neuer Zusammenhalt für unser Land. Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD, 19. Legislaturperiode. Berlin.

Bundesregierung (2019). Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. Berlin.

Bundesverband Carsharing (2015 bis 2019). Datenblatt CarSharing in Deutschland.

Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) (2018). Klimapfade für Deutschland.

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) (2019). Pressegespräch von BDEW, Netze BW und Stromnetz Berlin – Netzbetreiber sind startklar für den Boom der Elektromobilität.

Center of Automotive Management und Cisco Systems GmbH (2017). CCI 2017 Connected Car Innovation Study (Summary). Bergisch Gladbach.

Center of Automotive Management und Cisco Systems GmbH (2018). CCI 2018 Connected Car Innovation Study (Summary). Bergisch Gladbach.

Central Intelligence Agency (2018). The World Factbook.

Commerzbank AG (2016). Branchenbericht Automobilzulieferer. Frankfurt

Commerzbank AG (2017). Branchenreport Automobilzulieferer in Deutschland, Kurzversion. Frankfurt.

Commerzbank AG (2018). Branchenreport Automobilzulieferer in Deutschland, Kurzversion. Frankfurt.

Continental AG (2019). Networking. 2018 Annual Report. Hannover.

Daimler Konzern (2011 bis 2018). Geschäftsberichte der Jahre 2011 bis 2018. Stuttgart.

Deloitte (2017). Car Sharing in Europe. Monitor Deloitte.

Deloitte (2018a). E-Mobility Ladeinfrastruktur als Geschäftsfeld.

Deloitte (2018b). CFO Survey Herbst 2018.

Deloitte (2019a). Rooting SA: Strengthening the local automotive industry.

Deloitte (2019b). Smart Grid 2019 – Netzdienliche Leistungen über Smart Metering als neues und standardisiertes Instrument im Verteilnetz.

Deloitte University Press (2014). 3D opportunity in the automotive industry.

Deutsche Automobil Treuhand GmbH (DAT) (2018). DAT Report 2018. Ostfildern.

Deutsche Automobil Treuhand GmbH (DAT) (2019). DAT Report 2019. Ostfildern.

Deutsche Bank Research (2011). Elektromobilität. Sinkende Kosten sind conditio sine qua non. Frankfurt am Main.

Deutsche Bundesbank (2018). Die Neuausrichtung der chinesischen Wirtschaft und ihre internationalen Folgen. Monatsbericht Juli 2018.

Deutsche Energie-Agentur (Dena) (2017). „E-Fuels“-Studie. Das Potenzial strombasierter Kraftstoffe für einen klimaneutralen Verkehr in der EU. Zusammenfassung. Berlin.

Deutsche Energie-Agentur (Dena) (2018a). Dena-Monitoringbericht 1/2018. Alternative Antriebe in Deutschland. Berlin.

Deutsche Energie-Agentur (Dena) (2018b). Dena-Monitoringbericht. Entwicklung der Neuzulassungen CO_2-effizienter Pkw. Berlin.

Deutsche Energie-Agentur (Dena) (2018c). Dena-Leitstudie Integrierte Energiewende. Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050.

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) (2012). Qualifizierung für Arbeiten an Fahrzeugen mit Hochvoltsystemen. Berlin.

Deutsche Industriebank AG (2017). IKB-Barometer Spezial Automobilzuliefer-Industrie. IKB Information: Automobilzulieferer-Industrie. Düsseldorf.

Deutscher Bundestag (2017). Achtes Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes.

Deutscher Bundestag (2018). Drucksache 19/3836. Berlin.

Deutsches Dialog Institut GmbH und Noerr LLP (2018). Elektromobilitätsgesetz (EmoG). Gesetz zur Bevorrechtigung der Verwendung elektrisch betriebener Fahrzeuge. Berichterstattung 2018. Frankfurt und München.

Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN) (2016). DIN SPEC 91340. Terminologie der intelligenten individuellen urbanen Mobilität. Berlin.

Deutsches Institut für Wirtschaftsförderung (2019). Erneuerbare Energien als Schlüssel für das Erreichen der Klimaschutzziele im Stromsektor.

Deutsches Kraftfahrzeuggewerbe e.V. Zentralverband (ZDK) (2018). Elektromobilität 2025. Berlin.

Deutsches Patent- und Markenamt (DPMA) (2019). Patentanmeldungen mit Wirkung für die Bundesrepublik Deutschland in ausgewählten Gebieten der Kraftfahrzeugtechnik. München.

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) (2015). Erstnutzer von Elektrofahrzeugen in Deutschland.

Diconium Strategy. Disruption auf vier Rädern. Stuttgart.

Digital-Gipfel Plattform „Digitale Netze und Mobilität“ (2017). Impulspapier | Projektgruppe „Konvergente Netze als Infrastruktur für die Gigabit-Gesellschaft“ | Fokusgruppe „Aufbruch in die Gigabit-Gesellschaft“.

Dubar I., Bogdan, R. und M. Popa (2017). External Rapid Prototyping Validation System for the Automotive Development Cycle. Acta Polytechnica Hungarica.

E-mobil BW GmbH – Landesagentur für neue Mobilitätslösungen und Automotive Baden-Württemberg (2019). Strukturstudie BW^e mobil 2019 Transformation durch Elektromobilität und Perspektiven der Digitalisierung. Stuttgart.

Eckstein, L. et al. (2018). Automatisiertes Fahren - VDI Statusreport Juli 2018. Düsseldorf.

Eichhorst, W. und A. Spermann (2016). Sharing Economy. Mehr Chancen als Risiken?

Elsas, R., Flannery, M.J. und J.A. Garfinkel (2014). Financing major investments: information about capital structure decisions. Review of Finance.

Ernst, C.-S. et al. (2014). CO_2-Emissionsreduktion bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen nach 2020. Aachen.

Ernst & Young GmbH (2017). Der Pkw-Absatzmarkt China 2009 bis 2016. Analyse der Bedeutung Chinas für die deutsche Automobilindustrie. Eschborn.

Ernst & Young GmbH (2018). Weltweite Investitionen im Automobilsektor. Eine Analyse ortsgebundener Investitionsprojekte der führenden Autokonzerne der Welt. 2010-2017.

Ernst & Young GmbH (2018a). Barometer Digitalisierung der Energiewende. Ein neues Denken und Handeln für die Digitalisierung der Energiewende. Berichtsjahr 2018.

European Climate Foundation (ECF) (2017). Klimafreundliche Autos in Deutschland: Ein Überblick der sozioökonomischen Folgen. Brüssel.

European Environment Agency (EEA) (2018). EEA greenhouse gas - data viewer. Kopenhagen.

Europäische Kommission (2014a). Verordnung (EU) Nr. 333/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. März 2014 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 443/2009 hinsichtlich der Festlegung der Modalitäten für das Erreichen des Ziels für 2020 zur Verringerung der CO_2-Emissionen neuer Personenkraftwagen. Straßburg.

Europäische Kommission (2014b). Richtlinie 2014/94/EU des Europäischen Parlaments und des Rates - vom 22. Oktober 2014 - über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe. Straßburg.

Europäische Kommission (2016a). Eine europäische Strategie für emissionsarme Mobilität. Brüssel.

Europäische Kommission (2016b). 5G für Europa: ein Aktionsplan COM(2016) 588 final. Brüssel.

Europäische Kommission (2016c). Study on passenger transport by taxi, hire car with driver and ridesharing in the EU. Final Report. Brüssel.

Europäische Kommission (2017a). Impulse für saubere Mobilität Fragen und Antworten zu den Initiativen, die den Planeten schützen, die Verbraucher stärken sowie die Industrie und die Arbeitnehmer verteidigen. Brüssel.

Europäische Kommission (2017b). The race for automotive data. Digital Transformation Monitor. Brüssel.

Europäische Kommission (2017c). Smart Mobility and services. Expert group report. Brüssel.

Europäische Kommission (2017d). Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue

Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge im Rahmen des Gesamtkonzepts der Union zur Verringerung der CO_2-Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 (Neufassung) COM(2017) 676 final.

Europäische Kommission (2018a). Verordnung (EU) 2016/679 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. April 2016 zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten, zum freien Datenverkehr und zur Aufhebung der Richtlinie 95/46/EG (Datenschutz-Grundverordnung) DSGVO.

Europäische Kommission (2018b). Auf dem Weg zur automatisierten Mobilität: eine EU-Strategie für die Mobilität der Zukunft. Brüssel.

Europäisches Parlament (2018). United States-Mexico-Canada Agreement (USMCA): Potential impact on EU companies

Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2019). Verordnung (EU) 2019/631 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. April 2019 Verordnung (EU) 2019/631 zur Festsetzung von CO_2-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 443/2009 und (EU) Nr. 510/2011. Straßburg.

European Alternative Fuel Observatory (EAFO) (2018). Total Number of Infrastructure.

European Automobile Manufacturers Association (ACEA) (2018). New passenger car registrations by market.

Eurostat (2016). Detaillierte jährliche Unternehmensstatistiken für die Industrie (NACE Rev. 2, B-E), Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen (C29)).

Felbermayer, G. und M. Steininger (2019). Effects of new US auto tariffs on German export OF, and on industry value added around the world. ifo Center for International Economics. München.

Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FEE) (2015). Belastung der Stromnetze durch Elektromobilität.

Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FEE) (2017). Intelligentes Lademanagement entwickelt – Forschungsprojekt ePlanB abgeschlossen.

fortiss GmbH (2016). Digitale Transformation – Wie Informations- und Kommunikationstechnologie etablierte Branchen grundlegend verändert Abschlussbericht. München.

Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO (2015). Hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen – Industriepolitische Schlussfolgerungen. Dienstleistungsprojekt 15/14, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). Stuttgart.

Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO (2018). ELAB 2.0. Wirkungen der Fahrzeugelektrifizierung auf die Beschäftigung am Standort Deutschland.

Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO und IW Consult (2017). Zukunftsstudie Autoland Saarland. Perspektiven des automobilen Strukturwandels. Köln/Stuttgart.

Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK. iWePro – Intelligente selbstorganisierende Werkstattproduktion. Berlin.

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (2012). 100% erneuerbare Energien für Strom und Wärme in Deutschland.

Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung ISI (2017). Perspektiven des Wirtschaftsstandorts Deutschland in Zeiten zunehmender Elektromobilität. Working Paper Sustainability and Innovation No. S 09/2017. Karlsruhe

Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung ISI (2018). Energiespeicher Monitoring.

Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (2014). Wissenschaftliche Unterstützung bei der Erstellung von Fahrzeugbezogenen Analysen zur Netzintegration von Elektrofahrzeugen unter Nutzung Erneuerbarer Energien.

Friedrich-Ebert-Stiftung (2018). WISO Diskurs 03/2018. Die Zukunft der deutschen Automobilindustrie – Transformation by Disaster oder by Design? Bonn.

Frontier Economics und IW Köln (2018). Synthetische Energieträger – Perspektiven für die deutsche Wirtschaft und den internationalen Handel.

Gerber, Alan S. und Donald P. Green (2012). Field Experiments: Design, Analysis, and Interpretation. W. W. Norton. New York.

Grob, L. und N. Lahme (2004). Total Cost of Ownership-Analyse mit vollständigen Finanzplänen. Controlling, 16(3), 157-164.

Großmann, H. (2016). Kältemittel R1234yf und CO_2 im Vergleich. ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift, 118(10), 82-82, Oktober 2016.

H2 MOBILITY Deutschland GmbH & Co. KG (2018). H2.LIVE: Wasserstoff-Tankstellen in Deutschland & Europa. (https://h2.live/, 10.04.2019). Berlin.

Heißig, B., Ersoy, M. und S. Gies (2013). Fahrhandwerkbuch – Grundlagen Fahrdynamik, Komponenten, Systeme, Mechatronik, Perspektiven. Wiesbaden.

Helms, H. et al. (2016). Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen. Umweltbundesamt texte 27. Dessau-Roßlau.

Herget, Melanie. (2016). Mobilität von Familien im ländlichen Raum. Arbeitsteilung, Routinen, und typische Bewältigungsstrategien. Springer-Verlag. Wiesbaden.

Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung (MWAEV) (2017). 5G Aktuelle Entwicklungen, Herausforderungen und Potenziale für den Zugang zu kommunaler Infrastruktur. Wiesbaden.

Hofer, J., Wilhelm, E. und W. Schenler (2014). Comparing the Mass, Energy, and Cost Effects of Lightweighting in Conventional and Electric Passenger Vehicles. Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems. 2(3), 284-295.

Horváth & Partners Management Consultants (2017). Der Automotive Aftersales im Wandel – Herausforderungen und Auswirkungen auf das Servicegeschäft der OEMs. Stuttgart.

Howe, J. (2015). Was ältere Autofahrer von ihrem Auto erwarten Komfortables Ein- und Aussteigen und gute Rundumsicht am wichtigsten. Braunschweig.

Huber, W. (2016). Industrie 4.0 in der Automobilproduktion. Ein Praxisbuch. Springer Fachmedien. Wiesbaden.

ifo Institut (2017). Auswirkungen eines Zulassungsverbots für Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge mit Verbrennungsmotor. München.

IG Metall (2019a). Das Transformationskurzarbeitergeld. Ein Vorschlag der IG Metall zur Beschäftigungssicherung und Stärkung von Qualifizierung im Betrieb.

IG Metall (2019b). Transformationsatlas wesentliche Ergebnisse. Pressekonferenz 5. Juni 2019. Frankfurt.

Institut der deutschen Wirtschaft Köln (IW Köln) (2017a). Deutschland hält Führungsrolle bei Patenten für autonome Autos. IW-Kurzberichte 61. 2017.

Institut der deutschen Wirtschaft (IW Köln) (2017b). Die neunte IW-Weiterbildungserhebung – Kosten und Nutzen betrieblicher Weiterbildung. IW-Trends 4/2017. Köln.

Institut der deutschen Wirtschaft (IW Köln) (2017c). Europäische Mittelstandspolitik – Eine kritische Bestandsaufnahme. IW-Analysen Nr.116. Köln

Institut der deutschen Wirtschaft (IW Köln) (2018). Mid Caps – Der große Mittelstand. IW Policy Paper 4/2018. Köln.

Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) (2015). Aktuelle Berichte – Betriebe im Wettbewerb um Arbeitskräfte – Bedarf, Engpässe und Rekrutierungsprozesse in Deutschland. Ausgabe 5/2015. Nürnberg.

Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) (2018a). IAB Kurzbericht – Aktuelle Analysen aus dem Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung. IAB-Stellenerhebung von 1992 bis 2017. Ausgabe 23/2018. Nürnberg.

Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) (2018b). IAB Forschungsbericht 8/2018. Elektromobilität 2035. Effekte auf Wirtschaft und Erwerbstätigkeit durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs von Personenkraftwagen. Nürnberg.

Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) (2019). IAB Kurzbericht – Aktuelle Analysen aus dem Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung. Arbeitsplatzverluste werden durch neue Arbeitsplätze immer wieder ausgeglichen. Ausgabe 13/2019. Nürnberg.

Institut für Arbeitswissenschaft, Fabrikautomatisierung und Fabrikbetrieb (IAF) (2011). Nutzerverhalten beim Laden von Elektrofahrzeugen.

Institut für Automobilwirtschaft (IFA) der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, Center of Automotive Service Technology (CAST) und e-mobil BW (2014). Entwicklung der Beschäftigung im Aftersales.

Institut für Automobilwirtschaft (IFA) der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen im Auftrag der DEKRA Automobil GmbH (2017). Autohaus 2025 – die Zukunft des Automobilhandels. Geislingen.

Institut für Demoskopie Allensbach (IfD Allensbach) (2018). Allensbacher Markt- und Werbeträgeranalyse. Aktuelle Konsumtrends: Luxus, Nachhaltigkeit und Gesundheit.

Institut für Innovation und Technik (2018). Potenziale der Künstlichen Intelligenz im Produzierenden Gewerbe in Deutschland. Berlin.

Institut für Kraftfahrzeuge (ika) (2014). Modellierung der zukünftigen elektromobilen Wertschöpfungskette und Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Stärkung des Elektromobilitätsstandortes NRW. Gemeinschaftlicher Abschlussbericht September 2014.

Institut für Kraftfahrzeuge (ika) und Technische Hochschule Ingolstadt (2017). Netzwerk Qualifizierung Elektromobilität – Akademische Qualifizierung. Projektabschlussbericht. Ingolstadt.

Institut für Mobilitätsforschung (ifmo) (2008). Mobilität 2025. Der Einfluss von Einkommen, Mobilitätskosten und Demografie. Berlin.

Institut für Vertriebs- und Transformationsmanagement e.V. (TME) (2018). Vorgehensmodell zum Aufbau eines digitalen Ökosystems. Frankfurt.

International Council on clean transportation (ICCT) (2018). European Vehicle Market Statistics. Pocketbook 2017/18. Berlin.

International Energy Agency (IEA) (2018a). World Energy Outlook 2018.

International Energy Agency (IEA) (2018b). Global EV Outlook 2018. Paris.

International Energy Agency (IEA) (2019). Global EV Outlook 2019. Paris.

International Federation of Robotics (IFR) (2018). Executive Summary World Robotics 2018 Industrial Robots. Frankfurt.

Iskander Business Partner (2016). Digitalisierung in der Automobilindustrie – Wer gewinnt das Rennen? Traditioneller Automobilhersteller oder Silicon Valley? Ismaning.

IW Consult GmbH und Fraunhofer IAO (2018). Veränderungen der bayerischen Automobilindustrie durch automobile Megatrends. bayme/vbm/vbw (Hrsg.). München.

Kang, L. et al. (2016). China Passenger Vehicle Fuel Consumption Development Annual Report 2016. Peking.

Karl, T., et al. (2017). Urban eddy covariance measurements reveal significant missing NO x emissions in Central Europe. Scientific reports 7.1.

KPMG AG (2018). Deutscher Startup Monitor 2018. Berlin.

KPMG Automotive (2015). Blechbieger oder Grid Master? Die Automobilindustrie an der Weggabelung in ein hochdigitalisiertes Zeitalter. Trendanalyse 2015.

KPMG International (2018). Autonomous Vehicles Readiness Index.

KPMG International (2019). Autonomous Vehicles Readiness Index.

Krugman, P. und M. Obstfeld (2009). Internationale Wirtschaft. Theorie und Politik der Außenwirtschaft. Pearson. 8. Auflage.

Kühn, M., Vollrath, M. und T. Vogelpohl (2016). Übergabe von hochautomatisiertem Fahren zu manueller Steuerung Teil 1. Review der Literatur und Studie zu Übernahmezeiten Unfallforschung der Versicherer. Berlin.

Lechwerke AG (2017). Lademanagement an Park und Ride Parkplätzen. Endbericht der geförderten Projektpartner.

Lichtblick SE (Lichtblick) (2017). Die Integration von E-Autos ins Stromsystem.

Lichtblick SE (Lichtblick) (2018). Ladesäulen-Check 2018 Deutschland: Tarifchaos und regionale Monopole dominieren den Markt.

Lünendonk und Hossenfelder GmbH (2017). Status Quo der digitalen Transformation in der Automobilindustrie. Lünendonk Sonderanalyse. Mindelheim.

M-Five und Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI (2019). Transformation der Mobilität aus regionaler Sicht. Fortschreibung des Status Quo von Wertschöpfung und Beschäftigung in der Mobilität auf Kreisebene. Karlsruhe.

MAHLE GmbH (2019). Lösungen! Geschäftsbericht 2018. Stuttgart.

McKinsey & Company (2018a). Ready for inspection – The automotive aftermarket in 2030.

McKinsey & Company (2018b). Lithium and cobalt – a tale of two commodities.

McKinsey & Company (2019). Race 2050 – A vision for the European automotive industry.

Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg (MLZ) (2018). Studie zur Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge im ländlichen Raum.

Mittelständische Energiewirtschaft Deutschland e.V. (MEW) (2016). Studie zur Elektromobilität. Nutzung der mittelständischen Tankstelleninfrastruktur für die Elektromobilität. Berlin.

National Geographic und Globe Scan (2014). Greendex 2014: Consumer Choice and the Environment – A Worldwide Tracking Survey. Ontario.

Nationale Plattform Elektromobilität (2015a). Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland. Statusbericht und Handlungsempfehlungen 2015. AG 3 – Ladeinfrastruktur und Netzintegration. Berlin.

Nationale Plattform Elektromobilität (2015b). Kompetenz-Roadmap – Aktualisierung 2015. AG 5 – Ausbildung und Qualifizierung.

Nationale Plattform Elektromobilität (2016). Arbeitsplatzeffekte einer umfassenden Förderung der Elektromobilität in Deutschland. AG 6 – Rahmenbedingungen. Berlin.

Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) (2018). Fortschrittsbericht 2018 – Markthochlaufphase. Berlin.

Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (NPM) (2019). Erster Zwischenbericht. AG 3 – Digitalisierung für den Mobilitätssektor. Berlin.

Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (NPM) (2019a). Wege zur Erreichung der Klimaziele 2030 im Verkehrssektor.

Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (NPM) (2019b). Sofortpaket Ladeinfrastruktur 2019.

NOW GmbH (2018). Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland: Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff für Verkehr, Strom und Wärmen. Berlin.

NOW GmbH (2019). Aufruf zur Antragseinreichung zur Förderung von öffentlich zugänglichen Wasserstofftankstellen im Straßenverkehr (05/2019). Berlin.

Odenbach, J., Göll, E. und S. Behrendt (2017). Industrie 4.0 – digital-vernetzte dezentrale Produktion. Transformationsfeldanalyse im Rahmen des Projekts Evolution2Green – Transformationspfade zu einer Green Economy. Arbeitspapier. Berlin.

Öko-Institut (2016). Endbericht Renewbility III. Optionen einer Dekarbonisierung des Verkehrssektors.

Öko-Institut und Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI (2015). Klimaschutzszenario 2050. 2. Endbericht.

Oliver Wyman (2012). Mit Connected Cars bei der Kundenbindung durchstarten. Management Summary.

Oliver Wyman (2017). The Oliver Wyman Automotive Manager 2017.

Oliver Wyman (2018a). Blackout. E-Mobilität setzt Netzbetreiber unter Druck.

Oliver Wyman (2018b). Building the Automotive Workforce for the Future. Tomorrow's workforce will be lean and digitally adept.

Oliver Wyman und Verband der deutschen Automobilindustrie e.V. (VDA) (2018). Materialien zur Automobilwirtschaft, Band 51: Fast 2030. VDA-Schriftreihe.

OpenSignal (2018). The State of LTE (February 2018).

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2016). The economic impact of local content requirements. Trade Policy Note, February 2016.

Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles (OICA) (2017). Sales statistics.

Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles (OICA) (2011-2018). Production statistics.

Plattform Digitale Netze und Mobilität (2017). Glasfaserausbau und 5G. Zusammenhänge und Synergien.

Porter, Michael E. (1990). The Competitive Advantage of Nations. London.

Power to X Allianz (2019). Ein Markteinführungsprogramm für Power to X-Technologien.

Prognos AG, Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH (DBFZ) und Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (2018). Status und Perspektiven flüssiger Energieträger in der Energiewende. Braunschweig.

Prognos AG (2018). Einführung von Automatisierungsfunktionen in der Pkw-Flotte. Auswirkungen auf Bestand und Sicherheit. Erstellt im Auftrag von ADAC e.V. Berlin.

PwC (2015). F&E: Förderdschungel? Eine Befragung im Mittelstand. Frankfurt.

PwC Strategy& (2018). Wachstumsperspektive Autozulieferer: Die Akkus sind geladen – doch wohin führt der Weg?

Redelbach, M., Klötzke, M. und H.E. Friedrich (2012). Impact of lightweight design on energy consumption and cost effectiveness of alternative powertrain concepts. Brüssel.

Rethink X (2017). Rethinking Transportation 2020-2030.

RKW Kompetenzzentrum (2019). Global Entrepreneurship Monitor Unternehmensgründungen im weltweiten Vergleich. Länderbericht Deutschland 2018/2019. Eschborn.

Robert Bosch GmbH (2019). Annual Report 2018. Smart moves. Stuttgart.

Roland Berger GmbH (2014). Shared Mobility – How new businesses are rewriting the rules of the private transportation game. München.

Roland Berger GmbH (2016). Connected Car – App based dongle solution as shortcut to connectivity. München.

Roland Berger GmbH (2017a). Automotive Disruption Radar Issue #1. München.

Roland Berger GmbH (2017b). Urbane Mobilität 2030: zwischen Anarchie und Hypereffizienz. München.

Roland Berger GmbH (2018a). E-mobility trends. Excerpt for IPE Institut für Politikevaluation GmbH. Frankfurt.

Roland Berger GmbH (2018b). Mobility services move up a gear – Automotive Disruption Radar #3. München.

Roland Berger GmbH (2018c). Reconnecting the rural. Frankfurt.

Roland Berger GmbH und Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen (fka) (2016). Index „Automatisierte Fahrzeuge“ 3.Quartal 2016. München und Aachen.

Roland Berger GmbH und Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen (2017a). Index Elektromobilität Q2 2017. München und Aachen.

Roland Berger GmbH und Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen (2017b). Index „Automatisierte Fahrzeuge“ 4.Quartal 2017. München und Aachen.

Roland Berger GmbH und Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen (fka) (2018). Index Elektromobilität 2018. München und Aachen.

Roland Berger GmbH und HSH Nordbank AG (2018). Konsolidierung im europäischen KFZ-Aftermarket – Transformation einer Branche: Übernahmen und Digitalisierung verändern die Wettbewerbslandschaft. München und Hamburg.

Roland Berger GmbH und IG Metall Saarbrücken (2017). Automobil 2030 – Disruption und Perspektiven für Automobilzulieferer Saarbrücken. Saarbrücken.

Roland Berger GmbH und Lazard & Co. GmbH (2017). Global Automotive Supplier Study 2018 – Transformation in light of automotive disruption. München und Frankfurt.

Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (2019). Aufbruch zu einer neuen Klimapolitik. Sondergutachten. Wiesbaden.

SAE International (2016). J3016 SEP2016 Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles.

Saritas, O. und J. Smith (2011). The Big Picture – trends, drivers, wild cards, discontinuities and weak signals. Futures, 43 (3), 292-312.

Schaeffler AG (2019). In Bewegung bleiben. Geschäftsbericht 2018. Mobilität für morgen. Herzogenaurach.

Schäfer, P. (2018). ZF präsentiert das vollaktive Fahrwerksystem sMotion (https://www.springerprofessional.de/fahrwerk/automatisiertes-fahren/zf-praesentiert-das-vollaktive-fahrwerksystem-smotion/15847750, 12.07.2018).

Schaller Consulting (2018). The New Automobility: Lyft, Uber and the Future of American Cities. New York.

Schild, B.C. und G.T. Braun (2017). Abschlussbericht Netzwerk Qualifizierung Elektromobilität. Hg. v. Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB).

Schmidt, Ingo (2012). Wettbewerbspolitik und Kartellrecht. 9. Überarbeitete Auflage. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH. München.

Seiberth, G. und W. Gründinger (2018) Data-Driven Business Models in Connected Cars, Mobility Services & Beyong.

Startup Genome (2019). Global Startup Ecosystem Report 2019. San Francisco.

Statistik der Bundesagentur für Arbeit (BA) (2018a). Tabellen. Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008) (Quartalszahlen). Nürnberg.

Statistik der Bundesagentur für Arbeit (BA) (2018b). Blickpunkt Arbeitsmarkt – Akademikerinnen und Akademiker. Mai 2018. Nürnberg.

Statistische Monatshefte Rheinland-Pfalz. (2012). Die Hersteller und Zulieferer der Automobilindustrie 2008 bis 2010. Ausgabe 04/2012. Bad Ems.

Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V. (2016). facts – Zahlen und Fakten aus der Wissenschaftsstatistik. Forschung und Entwicklung in der Wirtschaft 2016. Essen.

Technische Universität Berlin (2018) Geschäftsmodelle für die Ladeinfrastruktur der E-Mobilität. Vortragsreiche Neue Entwicklungen auf den Energiemärkten.

Technische Universität Dresden (2019). Studienprojekt in Energie und Umwelt. Elektrofahrzeuge im Niederspannungsnetz. Auswirkung unterschiedlicher Ladestrategien auf Netzengpässe.

Technische Universität München (2018). Blackout – E-Mobilität setzt Netzbetreiber unter Druck.

Teske, S. (2019). Achieving the Paris Climate Agreement Goals. Springer-Verlag. Wiesbaden.

Umweltbundesamt (UBA) (2016). Erarbeitung einer fachlichen Strategie zur Energieversorgung des Verkehrs bis zum Jahr 2050. Endbericht. Dessau-Roßlau.

Umweltbundesamt (UBA) (2017). Klimaschutz im Verkehr: Neuer Handlungsbedarf nach dem Pariser Klimaschutzabkommen. Teilbericht des Projekts „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs 2050“. Dessau-Roßlau.

Universität Duisburg Essen (2015). Geschäftsmodelle für die Ladeinfrastruktur.

Universität Stuttgart (2017). Übersicht Marktentwicklung und Bedarf zu eRoaming und Ad-hoc-laden.

United States International Trade Commission (2019). U.S.-Mexico-Canada Trade Agreement: Likely Impact on the U.S. Economy and on Specific Industry Sectors. Washington DC.

Verband der Automobilindustrie (VDA) (2015a). Automatisierung – Von Fahrerassistenzsystemen zum automatisierten Fahren. Berlin.

Verband der Automobilindustrie (VDA) (2015b). Ladeinfrastruktur-Aufbau in Deutschland Position. Berlin.

Verband der Automobilindustrie (VDA) (2018) Elektromobilität und Ladeinfrastruktur – Empfehlungen für den Aufbau von Ladeinfrastruktur.

Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e.V. (VBW) (2018). Position automatisiertes Fahren – Datenschutz und Datensicherheit. München.

Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (VDE) (2018). Das Stromnetz ist Backbone für E-Mobilität – Flächendeckende Verbreitung von E-Fahrzeugen ist machbar. Berlin.

Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (VDE) (2019). Wir brauchen klare Spielregeln, damit Kunden jederzeit und überall laden können.

Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (VDE) (2019a). Faktencheck – Bidirektionale Energieflüsse. Frankfurt.

Verband der TÜV e. V. (TÜV) (2018). Mobility Studie 2018. Berlin.

Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) (2016). Roadmap Batterie-Produktionsmittel 2030. Frankfurt.

Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) (2017). VDMA-Positionspapier. Wirtschaftspolitische Grundsatzfragen: Breitbandausbau. Frankfurt.

Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) (2018). Antrieb im Wandel. Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs von Fahrzeugen und ihre Auswirkung auf den Maschinen- und Anlagenbau der Zulieferindustrie. Frankfurt am Main.

Verband deutscher Verkehrsunternehmen e.V. (VDV) (2015). Zukunftsszenarien autonomer Fahrzeuge – Chancen und Risiken für Verkehrsunternehmen. Positionspapier. Köln.

Verband kommunaler Unternehmen (VKU) (2018). Integration der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in die lokalen Verteilnetze: Beitrag der Kommunalen Unternehmen und Forderungen an den Gesetzgeber.

Vereinte Nationen (2015). Paris Agreement.

Volkswagen Konzern (2011 bis 2018). Geschäftsberichte der Jahre 2011 bis 2018. Wolfsburg.

Wallentowitz, H. und A. Freialdenhoven (2011). Strategien zur Elektrifizierung des Antriebsstranges-Technologien, Märkte und Implikationen. Wiesbaden.

Weltbank (2019). Doing Business 2019. Training for Reform. Washington DC.

Winkle, T. (2015). Sicherheitspotenzial automatisierter Fahrzeuge: Erkenntnisse aus der Unfallforschung. Berlin und Heidelberg.

Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE) (2008). Regelung Nr. 79 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) – Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge hinsichtlich der Lenkanlage.

World Economic Forum (2018). System Initiative on Shaping the Future of Mobility. Reshaping Urban Mobility with Autonomous Vehicles. Lessons from the City of Boston. In collaboration with The Boston Consulting Group. Cologny/Schweiz.

Zentrum für europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) (2009). Die Bedeutung der Automobilindustrie für die deutsche Volkswirtschaft im europäischen Kontext. Endbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Hannover, Mannheim.

Zentrum für europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) (2018a). Digitalisierung und die Zukunft der Arbeit: Makroökonomische Auswirkungen auf Beschäftigung, Arbeitslosigkeit und Löhne von morgen. Mannheim.

Zentrum für europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) (2018b). Zur Notwendigkeit einer steuerlichen FuE-Förderung auch für Midrange Companies. Mannheim.

ZF Friedrichshafen AG (2019). Next Generation Mobility. Mobility for the next Generation. Geschäftsbericht 2018. Friedrichshafen.

Anhang

1. Tabellen

Tab. 9: Datenquellen

Datenquelle	Beschreibung
British Car Auctions	Gebrauchtwagenverkäufe für Europa und das Vereinte Königreich
Bundesagentur für Arbeit	Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008).
Bundesinstitut für Berufsbildung	BIBB-IAB Qualifikations- und Berufsprojektionen
Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)	Verkehr in Zahlen 2018/2019
Bundesnetzagentur	Liste der gemeldeten Ladeeinrichtungen
DAT Report	Marktanteil der Gebrauchtwagenverkäufe in Deutschland
EU Transport in figures (EC)	Modal Split der Personenkilometer für EU-28
IHS Markit	Weltweite Prognose von Produktion und Absatz nach Antriebssträngen und Segmenten
International Energy Agency (iea)	World Energy Outlook 2018
Kraftfahrtbundesamt (KBA)	> Bestand an Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen (FZ 13) > Neuzulassungen von Personenkraftwagen nach Marken und Modellreihen (FZ 10.1) > Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen (FZ 14)
Leaseurope	Leasing und Autovermietung
OECD	> Langzeitprognose des Bruttoinlandsprodukts weltweit, für Deutschland sowie für Europa (GDP long-term forecast (indicator)) > Quarterly Growth Rates of real GDP

Datenquelle	Beschreibung
Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles (OICA), Association des Constructeurs Européens d'Automobiles (ACEA)	Weltweite bzw. europäische Bestandszahlen und Neuzulassungen
Oxford Economics	Weltweite BIP-Prognosen
Statistisches Bundesamt	> Aus- und Einfuhr (Außenhandel). Tabelle 51000-0010. > Beschäftigung und Umsatz der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden. Fachserie 4, Reihe 4.1.1. > Bevölkerungsvorausberechnung, Variante Kontinuität bei stärkerer Zuwanderung. Tabelle 12421-0002. > Inlandsproduktberechnung - Detaillierte Jahresergebnisse. Fachserie 18, Reihe 1.4. > Input-Output-Rechnung. Fachserie 18, Reihe 2. > Investitions- und Kostenstrukturerhebung im Baugewerbe. Tabelle: 44200-0002. > Jahresbericht für Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe. Tabelle: 42271-0002. > Jahresstatistik im Handel. Tabelle: 45341-0001. > Konsumausgaben der privaten Haushalte, Tabelle: 81000-0120. > Kostenstrukturerhebung im Verarbeitenden Gewerbe und Bergbau. Tabelle 42251-0001. > Laufende Wirtschaftsrechnungen. Fachserie 15, Reihe 1. > Strukturerhebung im Dienstleistungsbereich. Tabelle 47415-0009. > Verbraucherpreisindex für Deutschland. Tabelle 61111-0001. > VGR des Bundes. > VGR der Länder. > Vierteljährliche Verdiensterhebung, Tabelle: 62321-0001.
United Nations Industrial Development Organization (UNIDO)	Industrial Demand-Supply Balance Database (IDSB)
United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division	World Population Prospects 2019, Medium Variant.
Verband der Automobilindustrie (VDA)	Produktions- und Exportzahlen deutscher OEMs

Quelle: IPE.

Tab. 10: Vergleich der Einführung von Automatisierungsstufen in den Referenzfahrzeugen des SEG-2

Referenzfahrzeuge SEG-2		Referenzszenario				
		2020	2025	2030	2035	2040
ICE	BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3	Level 4
	Urban	Level 1	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
PHEV	BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3	Level 4
	Urban	Level 1	Level 1	Level 1	Level 3	Level 4
BEV	BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3	Level 4
	Urban	Level 1	Level 1	Level 1	Level 3	Level 4
FCEV	BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3	Level 4
	Urban	Level 1	Level 1	Level 1	Level 3	Level 4
Referenzfahrzeuge SEG-2		**Szenario Verstärkte Elektrifizierung**				
		2020	2025	2030	2035	2040
ICE	BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3	Level 4
	Urban	Level 1	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
PHEV	BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3	Level 4
	Urban	Level 1	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
BEV	BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3	Level 4
	Urban	Level 1	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
FCEV	BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3	Level 4
	Urban	Level 1	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
Referenzfahrzeuge SEG-2		**Szenario Verstärkte Automatisierung**				
		2020	2025	2030	2035	2040
ICE	BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 4
	Urban	Level 1	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
PHEV	BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 4
	Urban	Level 1	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
BEV	BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 4
	Urban	Level 1	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
FCEV	BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 4
	Urban	Level 1	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
Referenzfahrzeuge SEG-2		**Progressives Szenario**				
		2020	2025	2030	2035	2040
ICE	BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 4
	Urban	Level 1	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
PHEV	BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 4
	Urban	Level 1	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
BEV	BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 4
	Urban	Level 1	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
FCEV	BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 4
	Urban	Level 1	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4

Quelle: fka. Anmerkung: BAB=Bundesautobahn.

Tab. 11: Input-Output-Tabelle (inländischen Produktion von Kraftwagen und Kraftwagenteilen (WZ29)), 2015

CPA	Gütergruppen (Zeilen 1 bis 72)	Produktionswert Absolut (in Mio. Euro)	in %	Input-Koeffizient	Anteil Vorleistung in die WZ29 am Gesamtoutput des Sektors
Summe		**195.663**	100,0%	***53,7***	**-**
29	Kraftwagen und Kraftwagenteile	96.634	49,4%	26,5	26,5%
25	Metallerzeugnisse	13.000	6,6%	*3,6*	10,5%
45	Handelsleistungen mit Kfz, Instandhaltung und Reparatur an Kfz.	10.872	5,6%	*3,0*	13,4%
22	Gummi- und Kunststoffwaren	8.449	4,3%	*2,3*	11,5%
24.5	Gießereierzeugnisse.	7.638	3,9%	*2,1*	39,7%
46	Großhandelsleistungen (ohne Handelsleistungen mit Kfz)	5.629	2,9%	*1,5*	2,3%
28	Maschinen	4.468	2,3%	*1,2*	2,0%
33	Reparatur, Instandh. u. Installation v. Maschinen u. Ausrüstungen	4.410	2,3%	*1,2*	8,9%
69-70	Dienstleistungen der Rechts-, Steuer- und Unternehmensberatung	3.803	1,9%	*1,0*	3,0%
52	Lagereileistungen, sonstige Dienstleistungen für den Verkehr	3.570	1,8%	*1,0*	2,8%
78	Dienstleistungen der Vermittlung und Überlassung von Arbeitskräften	3.470	1,8%	*1,0*	9,8%
24.1-24.3	Roheisen, Stahl, Erzeugn. der ersten Bearbeitung von Eisen und Stahl	3.415	1,7%	*0,9*	4,2%
68	Dienstleistungen des Grundstücks- und Wohnungswesens	2.857	1,5%	*0,8*	0,7%
49	Landverkehrs- und Transportleistungen in Rohrfernleitungen	2.779	1,4%	*0,8*	2,7%
80-82	Wach-, Sicherheitsdienstlg., wirtschaftl. Dienstleistg. a.n.g.	2.576	1,3%	*0,7*	2,6%
47	Einzelhandelsleistungen (ohne Handelsleistungen mit Kfz)	2.540	1,3%	*0,7*	1,4%
27	Elektrische Ausrüstungen	2.412	1,2%	*0,7*	2,7%
64	Finanzdienstleistungen	1.500	0,8%	*0,4*	1,0%
71	Dienstleistung. v. Architektur- u. Ing.büros und der techn, physik. Untersuchung	1.432	0,7%	*0,4*	2,0%
62-63	IT- und Informationsdienstleistungen	1.419	0,7%	*0,4*	1,2%
35.1, 35.3	Elektr. Strom, Dienstleistg. der Elektriz.-, Wärme- und Kälteversorgung	1.247	0,6%	*0,3*	1,2%
73	Werbe- und Marktforschungsleistungen	1.113	0,6%	*0,3*	4,8%
85	Erziehungs- und Unterrichtsdienstleistungen	1.095	0,6%	*0,3*	0,7%
20	Chemische Erzeugnisse.	1.074	0,5%	*0,3*	0,7%
84.1-84.2	Dienstleistungen der öffentlichen Verwaltung und der Verteidigung	903	0,5%	*0,2*	0,4%
74-75	Sonst. freiberuf., wiss., techn. u. veterinärmedizinische Dienstleistung	755	0,4%	*0,2*	2,7%
77	Dienstleistungen der Vermietung von beweglichen Sachen	721	0,4%	*0,2*	0,9%
53	Post-, Kurier- und Expressdienstleistungen	710	0,4%	*0,2*	1,7%
43	Vorb. Baustellen-, Bauinstallations- und sonstige Ausbauarbeiten	707	0,4%	*0,2*	0,4%
24.4	NE-Metalle und Halbzeug daraus	558	0,3%	*0,2*	1,4%

(Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite)

61	Telekommunikationsdienstleistungen	392	0,2%	*0,1*	0,6%
65	Dienstleistungen von Versicherungen und Pensionskassen	378	0,2%	*0,1*	0,5%
18	Druckereileistungen, bespielte Ton-, Bild- und Datenträger	332	0,2%	*0,1*	1,8%
26	DV-geräte, elektron. u. optische Erzeugnisse	327	0,2%	*0,1*	0,3%
13-15	Textilien, Bekleidung, Leder- und Lederwaren	307	0,2%	*0,1*	1,4%
58	Dienstleistungen des Verlagswesen	302	0,2%	*0,1*	0,7%

Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten des Statistisches Bundesamt (Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Input-Output-Rechnung. Tabelle 2.3 Input-Output-Tabelle 2015 zu Herstellungspreisen – Inländische Produktion. Tabelle 3 Auswertungstabellen zu den Input-Output-Tabellen. CPA=Classification of Products by Activity (Statistische Güterklassifikation in Verbindung mit den Wirtschaftszweigen in der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft)). Anmerkung: Tabelle nicht vollständig. Auswahl der Produktionsbereiche mit einem Vorleistungsanteil größer 0,10%.

Tab. 12: Übersicht Pkw-Produktion nach Antriebsart

Referenzszenario							
	2017	2020	2025	2030	2035	2040	2050
ICE (inkl. HEV)	97%	88%	75%	61%	48%	28%	1%
BEV	1%	4%	15%	27%	42%	69%	96%
PHEV	2%	8%	11%	11%	8%	0%	0%
FCEV	0%	0%	0%	1%	2%	3%	4%
xEV (inkl. FCEV)	3%	12%	25%	39%	52%	72%	100%
Szenario Verstärkte Elektrifizierung							
	2017	2020	2025	2030	2035	2040	2050
ICE (inkl. HEV)	97%	88%	74%	51%	38%	19%	0%
BEV	1%	4%	15%	34%	48%	78%	97%
PHEV	1%	9%	11%	13%	10%	0%	0%
FCEV	0%	0%	0%	2%	3%	3%	3%
xEV (inkl. FCEV)	3%	12%	26%	49%	62%	81%	100%
Progressives Szenario							
	2017	2020	2025	2030	2035	2040	2050
ICE (inkl. HEV)	97%	88%	74%	51%	34%	14%	0%
BEV	1%	4%	15%	34%	53%	83%	97%
PHEV	1%	9%	11%	13%	10%	0%	0%
FCEV	0%	0%	0%	2%	3%	3%	3%
xEV (inkl. FCEV)	3%	12%	26%	49%	66%	86%	100%

Quelle: Eigene Berechnungen. Anmerkung: HEV=Hybrid Electric Vehicle. Durch Rundungsdifferenzen ergeben sich vereinzelte Abweichungen von 100%.

2. Methodik

Automotive Profit Pool Modell von Roland Berger

Das Automotive Profit Pool Modell von Roland Berger beschreibt in einer ganzheitlichen Sichtweise, wie die veränderte Mobilitätsnachfrage der Bevölkerung die globalen Umsätze und Gewinne in der automobilen Wertschöpfungskette verschiebt.

Im Modell sind die folgenden Marktteilnehmer auf der Unternehmensseite abgebildet (siehe Abb. 76): OEMs, Zulieferer OEM-geführte Carsharing-Angebote, unabhängige Carsharing- und Mietangebote, Ridesharing- und Ridehailing-Plattformen („Mobility-on-demand“), Taxis und Mobilitätsdienstleistungen mit Level 4/5-Fahrzeugen, unabhängige Finanzdienstleister, Automobilversicherungen, unabhängige Händler und Service/Ersatzteilangebote sowie digitale Verkaufsplattformen (für neue und alte Fahrzeuge sowie für Ersatzteile).

Abb. 76: Marktteilnehmer im Roland Berger Automotive Profit Pool Modell mit Beispielunternehmen

Level 4/5-Taxis	Taxis	Carsharing und Vermietung
> Firmen, die Flotten von autonomen Fahrzeugen betreiben	> Taxifahrern und Taxiunternehmen	> Free-float Carsharing sowie klassische Autovermietung
> Diese halten die Kundenschnittstelle		> Kein Anbieten von Pkw mit Fahrer
Google	Hallo Taxi! 3811, ISAR FUNK, HANSA-TAXI 211 211	SIXT rent a car, CAR 2GO, DriveNow

Mobility-on-demand	Zulieferer	Hersteller (OEMs)
> Anbieter von Fahrzeugen mit Fahrer, die allerdings keine Taxis sind	> Zulieferer für OEMs und deren Tochtergesellschaften	> Hersteller von Fahrzeugen inkl. Handel, Werkstätten, Versicherungen, Finanzdienstleistungen
	> Liefern Serienteile und Aftermarket-Teile	
lyft	BOSCH, Continental	BMW, GM, VW

Unabh. Händler/Werkstätten	Unabh. Finanzdienstleister	Digital-Anbieter
> Händler und Werkstätten ohne direkte Hersteller-Bindung	> Versicherungen und Banken ohne direkte Bindung an einen Hersteller	> Vielzahl internet-basierter Dienstleister einschl. Multi-Modal Apps, Connected Parking, etc.
	> Bieten Finanzierung/Leasing + Versicherung	
Emil Frey, DÜRKOP Die automobile Marke	Allianz, HUK-COBURG Aus Tradition günstig	

Quelle: Roland Berger. Eigene Darstellung.

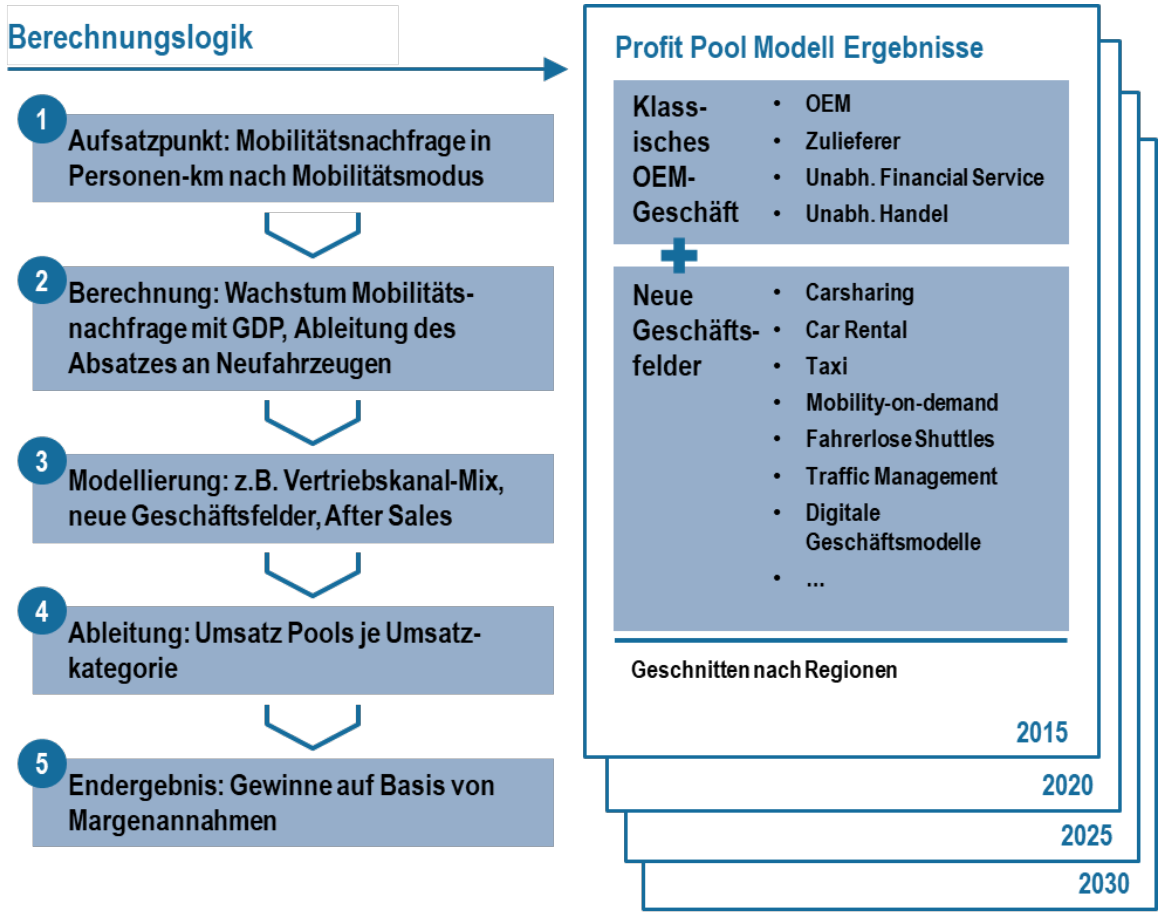
Abb. 77 stellt die Berechnungslogik des Modells schematisch dar. Ausgangspunkt des Modells ist die globale Mobilitätsnachfrage nach sechs Regionen (Europa, USA, China, Japan/Korea, Brasilien und der „Rest der Welt“). Die zukünftige Mobilitätsnachfrage wird

insbesondere durch folgende Faktoren bestimmt: Demografische Veränderungen, BIP-Entwicklung (bzw. Entwicklung der Kaufkraft), sowie sich verändernde Mobilitätspräferenzen und Zahlungsbereitschaften (die wiederum durch die Verfügbarkeit von diversen Mobilitätsdienstleistungen beeinflusst werden). Diese mit einem hohen Detailgrad modellierten Input-Faktoren führen zu einer preisabhängigen Nachfrage nach Fahrzeugmodellen pro Jahr sowie zu einer Nachfrage nach anderen Mobilitätsformen. Es werden die sechs Mobilitätsformen *Fahrzeugbesitz, Carsharing, Car rental, Taxi, Mobilitätsdienstleistungen mit Level 4/5-Fahrzeugen und ÖPV* (unterteilt nach Bus, Tram und Metro sowie Bahn) betrachtet.

Anhand der Nachfrage nach Fahrzeugmodellen je Mobilitätsform werden anschließend auch die Effekte auf die mit der Automobilindustrie verbundenen Sektoren modelliert. Neben dem Fahrzeugabsatz sind daher weitere zentrale Treiber von Umsätzen, Wertschöpfung und Gewinnen der verschiedenen Marktakteure abgebildet. Dies sind insbesondere neue Geschäftsfelder aufgrund des Strukturwandels in der Automobilindustrie, beispielsweise der Anteil an digitalen Plattformen bei Transaktionen (Verkaufsplattformen, Mobilitätsplattformen, etc.). Dazu gehören aber auch der Automobilhandel, welcher durch die verwendeten Vertriebskanäle beeinflusst wird, oder der Aftermarket, dessen Geschäft unter anderem durch fahrzeugspezifische Merkmale bestimmt wird.

Anhand dieser Modellierung können in einem weiteren Schritt mögliche Umsätze der betroffenen Akteure nach Geschäftsfeld berechnet werden. Mithilfe von Annahmen bezüglich der Gewinnmargen lassen sich somit die Gewinne der jeweiligen Akteure in den einzelnen Geschäftsfeldern ermitteln. Das Modell berechnet neben dem klassischen Geschäft der Automobilhersteller und Automobilzulieferer auch potenzielle Umsätze, die durch neue Geschäftsfelder für die unterschiedlichen Akteure der Automobilwirtschaft entstehen können. Darunter fallen beispielsweise Carsharing, Mobility-on-demand, oder Smart Data Services.

Abb. 77: Berechnungslogik Roland Berger Automotive Profit Pool Modell



Quelle: Roland Berger. Eigene Darstellung.

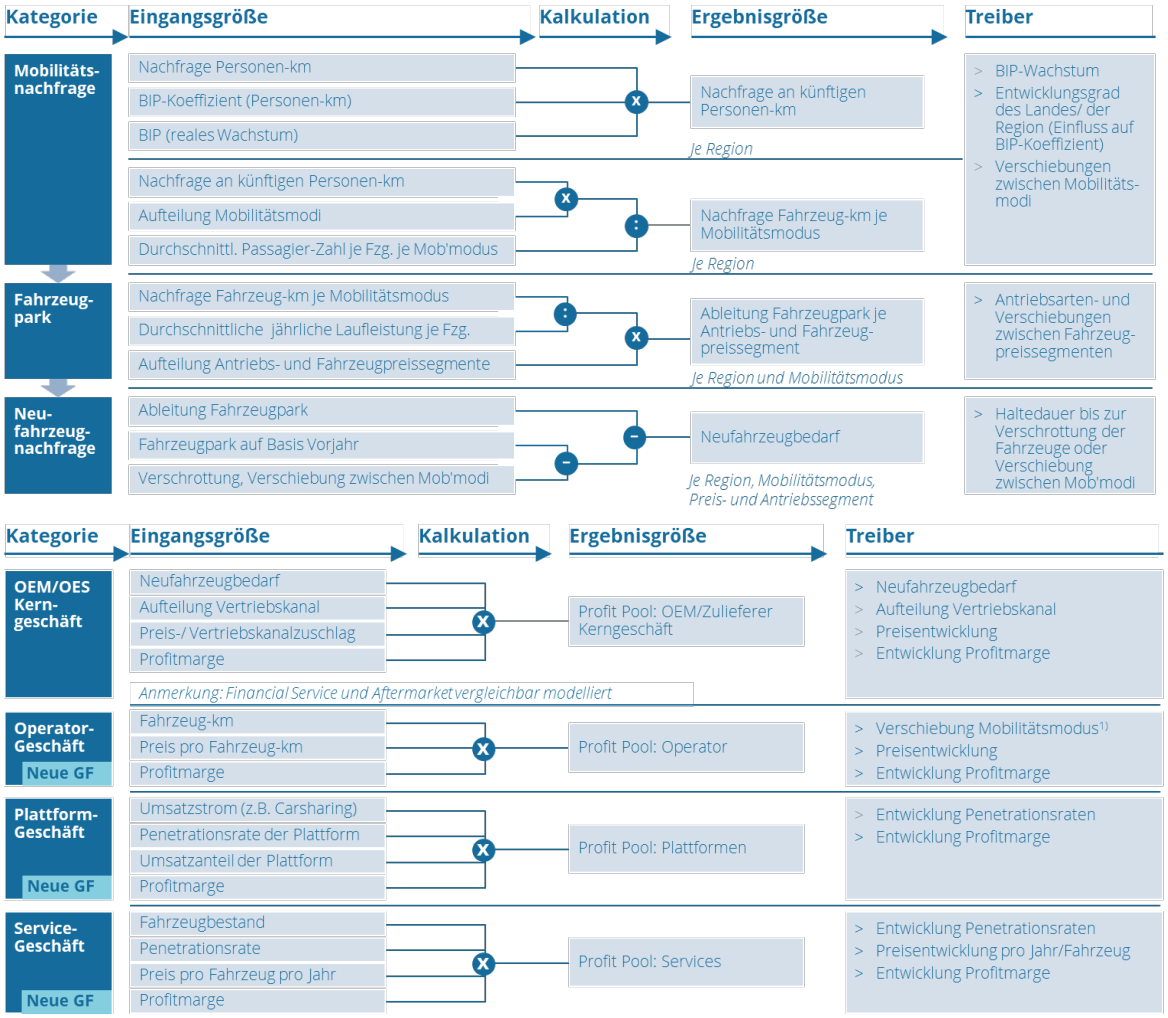
Gleichzeitig wird im Modell eine fahrzeugmodellspezifische Marktanalyse vorgenommen. Diese besteht aus einer Angebots- und Nachfrageseite, wobei die Nachfrageseite die oben beschriebene globale Mobilitätsnachfrage nach unterschiedlichen Fahrzeugmodellen ist. Das Fahrzeugangebot wiederum wird durch eine Transportkapazität abgeleitet. Diese wird durch den verfügbaren Fahrzeugpool pro Mobilitäts- bzw. Fahrzeugmodell („Kapazitätspool“) modelliert. Jeder dieser Kapazitätspools ist durch sogenannte Attribute beschrieben, wie beispielsweise Fahrzeugsegmente, Preis, Nutzung (km pro Jahr), Alter, Technologie (Verbrennungsmotor, Elektrofahrzeug, andere kostenrelevante Technologien), Verbrauch, Service- und Ersatzteilbedarf, Umsatz mit Finanzdienstleistungen, und dem genutzten Verkaufskanal. Die Fahrzeuge werden ggf. zwischen verschiedenen Kapazitätspools verschoben (z. B. werden Leasingfahrzeuge nach drei Jahren zu Gebrauchtfahrzeugen, was einen bestimmten Prozentsatz an „Umsatz mit Gebrauchtfahrzeugen“ für Händler generiert) oder verlassen die Kapazitätspools in Gänze, sobald deren spezifische Lebensdauer überschritten ist (definiert nach Alter oder km).

Dynamische Veränderungen im Fahrzeugangebot entstehen durch Diskrepanzen zwischen verfügbaren und benötigten Transportkapazitäten (pro Kapazitätspool). Diese führen zu einer Nachfrage an neuen oder gebrauchten Fahrzeugen (durch spezifische Verkaufskanäle) und hiermit zu spezifischen Umsätzen. Wenn die Nachfrage geringer ist als die Kapazität (Angebot), reduzieren sich die Gewinne der betroffenen Akteure und es kommt zu Anpassungen im Fahrzeugangebot.

Alle genutzten Informationen des Modells sind entweder öffentlich zugänglich oder basieren auf internem Roland Berger Fachwissen und spezifischen Annahmen, die bereits mit mehreren OEMs sowie führenden Zulieferern validiert wurden.

Abb. 78 gibt einen vereinfachten Überblick über die Modellstruktur.

Abb. 78: Roland Berger Automotive Profit Pool Modell: Modellstruktur



1) Auswirkungen auf die Fahrzeug-km Nachfrage

Quelle: Roland Berger. Eigene Darstellung. Anmerkung: Gebrauchtfahrzeugverkäufe durch Verkauf zwischen und innerhalb von Mobilitätsmodi im Modell abgebildet.

1) Auswirkungen auf Fahrzeug-km Nachfrage.

Tab. 13: Regionen des Automotive Profit Pool Modells

Region	Subregion
Afrika	Südafrika
	Sonstige Länder Afrika
Asien-Pazifik (inkl. Australien)	Südostasien
	China
	Indien
	Japan & Südkorea
	Sonstige Länder Asien-Pazifik
Osteuropa	Russland
	Sonstige Länder Osteuropa
Mittlerer Osten	Türkei
	Sonstige Länder mittlerer Osten
Nordamerika	Mexiko
	USA & Kanada
Südamerika	Brasilien
	Sonstige Länder Südamerika
Westeuropa	Frankreich, Vereinigtes Königreich, Italien, Spanien
	Deutschland
	Sonstige Länder Westeuropa

Quelle: Roland Berger. Eigene Darstellung.

3. Referenzfahrzeuge

Abb. 79: Technologieauswahl Fahrzeugkonfigurationen

Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Konv. | Micro-Hyb. | Mild-Hyb. | Full-Hyb. | Plug-in-Hyb. | BEV | FCEV
	Ottomotor [Leistung]	[Leistung in kW] | n.r.
	[Zylinder; Hubraum]	[Zylinder; Hubraum in l] | n.r.
	- Aufladung	Nein | Einfach | Erweitert | Elektrifiziert | n.r.
	- Direkteinspritzung	Nein | Ja | n.r.
	- Variabler Ventiltrieb	Nein | Ja | n.r
	- Zylinderabschaltung	Nein | Ja | n.r
	Abgasnachbeh. 1	Nein | 3-Wege-Katalysator | n.r.
	Abgasnachbeh. 2	Nein | Otto-Partikel-Filter | n.r.
	Dieselmotor [Leistung]	[Leistung in kW] | n.r.
	[Zylinder, Hubraum]	[Zylinder; Hubraum in l] | n.r.
	- Aufladung	Nein | Einfach | Erweitert | n.r
	- Zylinderabschaltung	Nein | Ja | n.r.
	Abgasnachbeh. 1	Oxidations-Katalysator* | Stickoxid-Speicherkatalysator*
	Abgasnachbeh. 2	Diesel-Partikel-Filter* | SCR-Katalysator*
	Allgemein	
	Getriebe	MT [Ganganz.] | DKG [Ganganz.] | AT [Ganganz.] | CVT [Ganganz.] | n.r.
	Nebenaggregate	Konventionell | Elektrifiziert | n.r.
	Elektr. Maschine [kW]	[Leistung in kW] | n.r.
	Traktionsbatterie	NiMH | Li-Ion | Li-O_2 | Li-S | Festkörper | n.r.
	- Kapazität [kWh]	[Brutto-Kapazität in kWh] | n.r.
	- Ladetechnologie	[maximale Ladeleistung in kW] | n.r.
	- Kühlkonzept	Passiv | Aktiv | n.r.
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 0 | Level 1 | Level 2 | Level 3 | Level 4 | Level 5
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 0 | Level 1 | Level 2 | Level 3 | Level 4 | Level 5
	Ultraschallsensorik	Nein | Ja
	Radarsensorik	Nein | Einfach | Mehrbereich
	Lidarsensorik	Nein | Statisch | 360°
	Kamerasensorik	Nein | Einfach | Stereo
	Connectivity	Nein | 5G* | Car2X*
	Rechner	Dediziert | Zentral
	Bordnetz	12 V | 48 V
Kaross.	Bauweise	Stahl | Multi-Material | Cfk | Kunststoff
	Sicherheitskonzept	Konventionell | Reduziert
	Aerodynamik	Passiv | Aktiv
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	[Anzahl] – konventionell | [Anzahl] – flexibel
	HMI	Konventionell | Fortgeschritten
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	(Konventionell | Elektrifiziert | Wärmepumpe) / (Konventionell | Elektrifiziert)
Fahrwerk	Felgen	Konventionell | Leichtbau
	Reifen	Konventionell | Rollwiderstandsreduziert
	Radaufhängung	Passiv | Adaptiv | Aktiv
	Lenksystem	Konventionell | By-Wire
	Bremssystem	Konventionell | By-Wire

*: Mehrfachauswahl technologischer Optionen möglich; n.r.: nicht relevant
Abkürzungen für Technologien: Konv. (Konventionell); Hyb. (Hybrid); BEV (Batterieelektrisches Fahrzeug); FCEV (Brennstoffzellenfahrzeug); MT (Handschaltgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); AT (Automatikgetriebe); CVT (stufenloses Getriebe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung.

Abb. 80: Status Quo der Referenzfahrzeuge SEG-1

		Konventionell	Hybrid	Batterieelektrisch
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Konv.	Full-Hybrid	Batterieelektrisch
	Ottomotor [Leistung]	55 kW	55 kW	n.r.
	[Zylinder; Hubraum]	3 Zyl.; 1,0 l	3 Zyl.; 1,0 l	n.r.
	- Aufladung	Nein	Nein	n.r.
	- Direkteinspritzung	Nein	Nein	n.r.
	- Variabler Ventiltrieb	Nein	Nein	n.r.
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	n.r.
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	n.r.
	Abgasnachbeh. 2	Nein	Nein	n.r.
	Dieselmotor [Leistung]	55 kW	n.r.	n.r.
	[Zylinder, Hubraum]	4 Zyl.; 1,2 l	n.r.	n.r.
	- Aufladung	Erweitert	n.r.	n.r.
	- Zylinderabschaltung	Nein	n.r.	n.r.
	Abgasnachbeh. 1	Oxy-Kat. + DeNOx	n.r.	n.r.
	Abgasnachbeh. 2	DPF	n.r.	n.r.
	Allgemein			
	Getriebe	MT (5-G.)	CVT	n.r.
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert
	Elektr. Maschine [kW]	n.r.	45 kW	60 kW
	Traktionsbatterie	n.r.	NiMH	Li-Ion
	- Kapazität [kWh]	n.r.	1 kWh	25 kWh
	- Ladetechnologie	n.r.	n.r.	<= 40 kW
	- Kühlkonzept	n.r.	Passiv	Passiv
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 0	Level 0	Level 0
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 0	Level 0	Level 0
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja
	Radarsensorik	Nein	Nein	Nein
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Nein
	Kamerasensorik	Nein	Nein	Nein
	Connectivity	Nein	Nein	Nein
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Dediziert
	Bordnetz	12 V	12 V	12 V
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Stahl
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.
	HMI	Konv.	Konv.	Konv.
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Konv. / Konv.	Konv. / Konv.	Elektr. / Elektr.
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv
	Lenksystem	Konv.	Konv.	Konv.
	Bremssystem	Konv.	Konv.	Konv.

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 81: Status Quo der Referenzfahrzeuge SEG-2

		Konventionell	Hybrid	Batterieelektrisch
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Micro-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Batterieelektrisch
	Ottomotor [Leistung]	100 kW	100 kW	n.r.
	[Zylinder; Hubraum]	4 Zyl.; 1,6 l	4-Zyl.; 1,6 l	n.r.
	- Aufladung	Einfach	Einfach	n.r.
	- Direkteinspritzung	Ja	Ja	n.r.
	- Variabler Ventiltrieb	Ja	Ja	n.r.
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	n.r.
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	n.r.
	Abgasnachbeh. 2	Nein	Nein	n.r.
	Dieselmotor [Leistung]	100 kW	n.r.	n.r.
	[Zylinder, Hubraum]	4 Zyl.; 2,0 l	n.r.	n.r.
	- Aufladung	Erweitert	n.r.	n.r.
	- Zylinderabschaltung	Nein	n.r.	n.r.
	Abgasnachbeh. 1	Oxy-Kat. + DeNOx	n.r.	n.r.
	Abgasnachbeh. 2	DPF	n.r.	n.r.
	Allgemein			
	Getriebe	MT (6-G.)	DKG (7-G.)	n.r.
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert
	Elektr. Maschine [kW]	n.r.	75 kW	100 kW
	Traktionsbatterie	n.r.	Li-Ion	Li-Ion
	- Kapazität [kWh]	n.r.	10 kWh	40 kWh
	- Ladetechnologie	n.r.	3 kW	<= 40 kW
	- Kühlkonzept	n.r.	Passiv	Passiv
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 1	Level 1	Level 1
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 1	Level 1
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja
	Radarsensorik	Einfach	Einfach	Einfach
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Nein
	Kamerasensorik	Einfach	Einfach	Einfach
	Connectivity	Nein	Nein	Nein
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Dediziert
	Bordnetz	12 V	12 V	12 V
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Stahl
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.
	HMI	Konv.	Konv.	Konv.
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Konv. / Konv.	Elektr. / Elektr.	Elektr. / Elektr.
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv
	Lenksystem	Konv.	Konv.	Konv.
	Bremssystem	Konv.	Konv.	Konv.

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 82: Status Quo der Referenzfahrzeuge SEG-3

		Konventionell	Hybrid	Batterieelektrisch
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Micro-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Batterieelektrisch
	Ottomotor [Leistung]	150 kW	130 kW	n.r.
	[Zylinder; Hubraum]	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	n.r.
	- Aufladung	Erweitert	Einfach	n.r.
	- Direkteinspritzung	Ja	Ja	n.r.
	- Variabler Ventiltrieb	Ja	Ja	n.r.
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	n.r.
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	n.r.
	Abgasnachbeh. 2	Nein	Nein	n.r.
	Dieselmotor [Leistung]	150 kW	n.r.	n.r.
	[Zylinder, Hubraum]	4 Zyl.; 2,0 l	n.r.	n.r.
	- Aufladung	Erweitert	n.r.	n.r.
	- Zylinderabschaltung	Nein	n.r.	n.r.
	Abgasnachbeh. 1	Oxy-Kat. + DeNOx	n.r.	n.r.
	Abgasnachbeh. 2	DPF + SCR-Kat.	n.r.	n.r.
	Allgemein			
	Getriebe	AT (8-G.)	AT (8-G.)	n.r.
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert
	Elektr. Maschine [kW]	n.r.	110 kW	250 kW
	Traktionsbatterie	n.r.	Li-Ion	Li-Ion
	- Kapazität [kWh]	n.r.	12 kWh	75 kWh
	- Ladetechnologie	n.r.	3 kW	<= 100 kW
	- Kühlkonzept	n.r.	Passiv	Aktiv
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 2	Level 2	Level 2
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 1	Level 1
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja
	Radarsensorik	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Nein
	Kamerasensorik	Stereo	Stereo	Stereo
	Connectivity	Nein	Nein	Nein
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Dediziert
	Bordnetz	12 V	12 V	12 V
Kaross.	Bauweise	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.
	HMI	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Konv. / Konv.	Elektr. / Elektr.	Elektr. / Elektr.
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.
	Radaufhängung	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv
	Lenksystem	Konv.	Konv.	Konv.
	Bremssystem	Konv.	Konv.	Konv.

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 83: Referenzszenario – SEG-1 – Konventioneller Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Konv.	Micro-Hybrid	Micro-Hybrid	Mild-H. (48 V)	Mild-H. (48 V)	
	Ottomotor [Leistung]	55 kW	55 kW	55 kW	55 kW	55 kW	
	[Zylinder; Hubraum]	3 Zyl.; 1,0 l	3 Zyl.; 1,0 l	3 Zyl.; 1,0 l	3 Zyl.; 1,0 l	3 Zyl.; 1,0 l	
	- Aufladung	Nein	Einfach	Einfach	Elektr.	Elektr.	
	- Direkteinspritzung	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Variabler Ventiltrieb	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	
	Abgasnachbeh. 2	Nein	OPF	OPF	OPF	OPF	
	Dieselmotor [Leistung]	55 kW	55 kW	55 kW	55 kW	55 kW	
	[Zylinder, Hubraum]	4 Zyl.; 1,2 l	4 Zyl.; 1,2 l	4 Zyl.; 1,2 l	3 Zyl.; 1,0 l	3 Zyl.; 1,0 l	
	- Aufladung	Erweitert	Erweitert	Erweitert	Elektr.	Elektr.	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	
	Abgasnachbeh. 2	DPF	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	
	Allgemein						
	Getriebe	MT (5-G.)	MT (5-G.)	MT (6-G.)	MT (6-G.)	MT (6-G.)	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Traktionsbatterie	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Kapazität [kWh]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Ladetechnologie	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Kühlkonzept	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 0	Level 1	Level 2	Level 2	Level 2	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 0	Level 1	Level 1	Level 2	Level 2	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Nein	Nein	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Kamerasensorik	Nein	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Dediziert	Dediziert	Dediziert	
	Bordnetz	12 V	12 V	12 V	12 V	12 V	
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	
	HMI	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Konv. / Konv.	Konv. / Konv.	Konv. / Konv.	Konv. / Elektr.	Konv. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 84: Referenzszenario – SEG-1 – Hybrider Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Full-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	
	Ottomotor [Leistung]	55 kW	50 kW	50 kW	40 kW	40 kW	
	[Zylinder; Hubraum]	3 Zyl.; 1,0 l	3 Zyl.; 1,0 l	3 Zyl.; 1,0 l	2 Zyl.; 0,8 l	2 Zyl.; 0,8 l	
	- Aufladung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	- Direkteinspritzung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	- Variabler Ventiltrieb	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	
	Abgasnachbeh. 2	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Allgemein						
	Getriebe	CVT	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	45 kW	50 kW	50 kW	60 kW	60 kW	
	Traktionsbatterie	NiMH	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	
	- Kapazität [kWh]	1 kWh	8 kWh	10 kWh	15 kWh	15 kWh	
	- Ladetechnologie	n.r.	3 kW	<=40 kW	<=40 kW	<=40 kW	
	- Kühlkonzept	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 0	Level 1	Level 2	Level 2	Level 2	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 0	Level 1	Level 1	Level 2	Level 2	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Nein	Nein	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Kamerasensorik	Nein	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Dediziert	Dediziert	Dediziert	
	Bordnetz	12 V	12 V	12 V	12 V	12 V	
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	
	HMI	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Konv. / Konv.	Elektr. / Elektr.	Elektr. / Elektr.	Elektr. / Elektr.	Elektr. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 85: Referenzszenario – SEG-1 – Batterieelektrischer Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	
	Ottomotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder; Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Direkteinspritzung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Variabler Ventiltrieb	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Allgemein						
	Getriebe	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	60 kW	60 kW	70 kW	70 kW	80 kW	
	Traktionsbatterie	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	
	- Kapazität [kWh]	25 kWh	40 kWh	50 kWh	60 kWh	60 kWh	
	- Ladetechnologie	<= 40 kW	<= 40 kW	<=120 kW	<=120 kW	<=120 kW	
	- Kühlkonzept	Passiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 0	Level 1	Level 2	Level 2	Level 2	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 0	Level 1	Level 1	Level 2	Level 2	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Nein	Nein	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Kamerasensorik	Nein	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Dediziert	Dediziert	Dediziert	
	Bordnetz	12 V	12 V	12 V	12 V	12 V	
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	
	HMI	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Elektr. / Elektr.	Elektr. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 86: Referenzszenario – SEG-2 – Konventioneller Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Micro-Hybrid	Micro-Hybrid	Mild-H. (48 V)	Mild-H. (48 V)	Mild-H. (48 V)	
	Ottomotor [Leistung]	100 kW	100 kW	100 kW	100 kW	100 kW	
	[Zylinder; Hubraum]	4 Zyl.; 1,6 l	4 Zyl.; 1,6 l	4 Zyl.; 1,6 l	4 Zyl.; 1,6 l	4 Zyl.; 1,6 l	
	- Aufladung	Einfach	Erweitert	Elektr.	Elektr.	Elektr.	
	- Direkteinspritzung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Variabler Ventiltrieb	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Ja	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	
	Abgasnachbeh. 2	Nein	OPF	OPF	OPF	OPF	
	Dieselmotor [Leistung]	100 kW	100 kW	100 kW	100 kW	100 kW	
	[Zylinder, Hubraum]	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 1,6 l	4 Zyl.; 1,6 l	4 Zyl.; 1,6 l	
	- Aufladung	Erweitert	Erweitert	Elektr.	Elektr.	Elektr.	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	
	Abgasnachbeh. 2	DPF	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	
	Allgemein						
	Getriebe	MT (6-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	n.r.	n.r.	10 kW	10 kW	10 kW	
	Traktionsbatterie	n.r.	n.r.	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	
	- Kapazität [kWh]	n.r.	n.r.	1 kWh	1 kWh	1 kWh	
	- Ladetechnologie	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Kühlkonzept	n.r.	n.r.	Passiv	Passiv	Passiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3	Level 4	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Einfach	360°	360°	
	Kamerasensorik	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	5G	5G	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	48 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.	
	HMI	Konv.	Konv.	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Konv. / Konv.	Konv. / Konv.	Konv. / Elektr.	Konv. / Elektr.	Konv. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 87: Referenzszenario – SEG-2 – Hybrider Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	
	Ottomotor [Leistung]	100 kW	100 kW	90 kW	90 kW	80 kW	
	[Zylinder; Hubraum]	4-Zyl.; 1,6 l	4 Zyl.; 1,6 l	3 Zyl.; 1,2 l	3 Zyl.; 1,2 l	3 Zyl.; 1,2 l	
	- Aufladung	Einfach	Einfach	Nein	Nein	Nein	
	- Direkteinspritzung	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	
	- Variabler Ventiltrieb	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	
	Abgasnachbeh. 2	Nein	OPF	Nein	Nein	Nein	
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Allgemein						
	Getriebe	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	75 kW	75 kW	85 kW	85 kW	95 kW	
	Traktionsbatterie	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	
	- Kapazität [kWh]	10 kWh	14 kWh	16 kWh	20 kWh	25 kWh	
	- Ladetechnologie	3 kW	3 kW	<=40 kW	<=40 kW	<=40 kW	
	- Kühlkonzept	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3	Level 4	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 1	Level 1	Level 3	Level 4	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Einfach	360°	360°	
	Kamerasensorik	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	5G	5G	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	12 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.	
	HMI	Konv.	Konv.	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Elektr. / Elektr.	Elektr. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 88: Referenzszenario – SEG-2 – Batterieelektrischer Antriebsstrang

		Status Quo 2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.
	Ottomotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	[Zylinder; Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	- Direkteinspritzung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	- Variabler Ventiltrieb	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Allgemein					
	Getriebe	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert
	Elektr. Maschine [kW]	100 kW	100 kW	110 kW	110 kW	120 kW
	Traktionsbatterie	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Festkörper
	- Kapazität [kWh]	40 kWh	60 kWh	80 kWh	90 kWh	90 kWh
	- Ladetechnologie	<=40 kW	<=40 kW	<=120 kW	<=120 kW	<=120 kW
	- Kühlkonzept	Passiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3	Level 4
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 1	Level 1	Level 3	Level 4
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	Radarsensorik	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Einfach	360°	360°
	Kamerasensorik	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo
	Connectivity	Nein	Nein	5G	5G	5G + Car2X
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral
	Bordnetz	12 V	12 V	12 V	48 V	48 V
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.
	HMI	Konv.	Konv.	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Elektr. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv
	Lenksystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire
	Bremssystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 89: Referenzszenario – SEG-2 – Brennstoffzellenfahrzeug

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Brennstoffzelle	Brennstoffzelle	Brennstoffzelle	Brennstoffzelle	Brennstoffzelle	
	Ottomotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder; Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Direkteinspritzung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Variabler Ventiltrieb	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Allgemein						
	Getriebe	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	100 kW	100 kW	110 kW	110 kW	120 kW	
	Traktionsbatterie	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	
	- Kapazität [kWh]	10 kWh	14 kWh	16 kWh	20 kWh	25 kWh	
	- Ladetechnologie	3 kW	3 kW	<=40 kW	<=40 kW	<=40 kW	
	- Kühlkonzept	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	
	Brennstoffzellensys. [kW]	80 kW	90 kW	100 kW	100 kW	100 kW	
	Wasserstoffspeicher [kg]	6,5 kg	6,5 kg	6,5 kg	6,5 kg	6,5 kg	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3	Level 4	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 1	Level 1	Level 3	Level 4	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Einfach	360°	360°	
	Kamerasensorik	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	5G	5G	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	12 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Multimaterial	Multimaterial	Multimaterial	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.	
	HMI	Konv.	Konv.	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Elektr. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 90: Referenzszenario – SEG-3 – Konventioneller Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Micro-Hybrid	Mild-H. (48 V)	Mild-H. (48 V)	Mild-H. (48 V)	Mild-H. (48 V)	Mild-H. (48 V)
	Ottomotor [Leistung]	150 kW	150 kW	150 kW	150 kW	150 kW	
	[Zylinder; Hubraum]	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	
	- Aufladung	Erweitert	Elektr.	Elektr.	Elektr.	Elektr.	
	- Direkteinspritzung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Variabler Ventiltrieb	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	
	Abgasnachbeh. 2	Nein	OPF	OPF	OPF	OPF	
	Dieselmotor [Leistung]	150 kW	150 kW	150 kW	150 kW	150 kW	
	[Zylinder, Hubraum]	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	
	- Aufladung	Erweitert	Elektr.	Elektr.	Elektr.	Elektr.	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	
	Abgasnachbeh. 2	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	
	Allgemein						
	Getriebe	AT (8-G.)	AT (9-G.)	AT (10-G.)	AT (10-G.)	AT (10-G.)	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	n.r.	10 kW	15 kW	15 kW	15 kW	
	Traktionsbatterie	n.r.	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	
	- Kapazität [kWh]	n.r.	1 kWh	2 kWh	2 kWh	2 kWh	
	- Ladetechnologie	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Kühlkonzept	n.r.	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 2	Level 3	Level 3	Level 4	Level 5	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3	Level 5	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Einfach	Einfach	360°	360°	
	Kamerasensorik	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	5G	5G + Car2X	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	48 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.	5 – Flex.	
	HMI	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Konv. / Konv.	Konv. / Elektr.	Konv. / Elektr.	Konv. / Elektr.	Konv. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 91: Referenzszenario – SEG-3 – Hybrider Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	
	Ottomotor [Leistung]	130 kW	100 kW	90 kW	70 kW	70 kW	
	[Zylinder; Hubraum]	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 1,6 l	3 Zyl.; 1,2 l	3 Zyl.; 1,2 l	
	- Aufladung	Einfach	Einfach	Einfach	Einfach	Einfach	
	- Direkteinspritzung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Variabler Ventiltrieb	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	
	Abgasnachbeh. 2	Nein	OPF	OPF	OPF	OPF	
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Allgemein						
	Getriebe	AT (8-G.)	AT (9-G.)	AT (9-G.)	AT (9-G.)	AT (9-G.)	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	110 kW	110 kW	120 kW	130 kW	130 kW	
	Traktionsbatterie	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	
	- Kapazität [kWh]	12 kWh	16 kWh	20 kWh	30 kWh	30 kWh	
	- Ladetechnologie	3 kW	3 kW	<=40 kW	<=40 kW	<=40 kW	
	- Kühlkonzept	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 2	Level 3	Level 3	Level 4	Level 5	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3	Level 5	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Einfach	Einfach	360°	360°	
	Kamerasensorik	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	5G	5G + Car2X	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	48 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.	5 – Flex.	
	HMI	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Elektr. / Elektr.	Elektr. / Elektr.	Elektr. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 92: Referenzszenario – SEG-3 – Batterieelektrischer Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	
	Ottomotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder; Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Direkteinspritzung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Variabler Ventiltrieb	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Allgemein						
	Getriebe	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	250 kW	250 kW	250 kW	250 kW	250 kW	
	Traktionsbatterie	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Festkörper	Festkörper	
	- Kapazität [kWh]	75 kWh	85 kWh	90 kWh	100 kWh	100 kWh	
	- Ladetechnologie	<= 100 kW	<= 120 kW	<=350 kW	<=350 kW	<=350 kW	
	- Kühlkonzept	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 2	Level 3	Level 3	Level 4	Level 5	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3	Level 5	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Einfach	Einfach	360°	360°	
	Kamerasensorik	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	5G	5G + Car2X	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	48 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.	5 – Flex.	
	HMI	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Elektr. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 93: Verstärkte Elektrifizierung – SEG-1 – Konventioneller Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Konv.	Micro-Hybrid	Micro-Hybrid	Micro-Hybrid	Micro-Hybrid	
	Ottomotor [Leistung]	55 kW	55 kW	55 kW	55 kW	55 kW	
	[Zylinder; Hubraum]	3 Zyl.; 1,0 l	3 Zyl.; 1,0 l	3 Zyl.; 1,0 l	3 Zyl.; 1,0 l	3 Zyl.; 1,0 l	
	- Aufladung	Nein	Einfach	Einfach	Einfach	Einfach	
	- Direkteinspritzung	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Variabler Ventiltrieb	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	
	Abgasnachbeh. 2	Nein	OPF	OPF	OPF	OPF	
	Dieselmotor [Leistung]	55 kW	55 kW	55 kW	55 kW	55 kW	
	[Zylinder, Hubraum]	4 Zyl.; 1,2 l	4 Zyl.; 1,2 l	4 Zyl.; 1,2 l	4 Zyl.; 1,2 l	4 Zyl.; 1,2 l	
	- Aufladung	Erweitert	Erweitert	Erweitert	Erweitert	Erweitert	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	
	Abgasnachbeh. 2	DPF	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	
	Allgemein						
	Getriebe	MT (5-G.)	MT (5-G.)	MT (5-G.)	MT (5-G.)	MT (5-G.)	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Traktionsbatterie	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Kapazität [kWh]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Ladetechnologie	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Kühlkonzept	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 0	Level 1	Level 2	Level 2	Level 2	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 0	Level 1	Level 1	Level 2	Level 2	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Nein	Nein	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Kamerasensorik	Nein	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Dediziert	Dediziert	Dediziert	
	Bordnetz	12 V	12 V	12 V	12 V	12 V	
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	
	HMI	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Konv. / Konv.	Konv. / Konv.	Konv. / Konv.	Konv. / Konv.	Konv. / Konv.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 94: Verstärkte Elektrifizierung – SEG-1 – Hybrider Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Full-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	
	Ottomotor [Leistung]	55 kW	50 kW	40 kW	40 kW	40 kW	
	[Zylinder; Hubraum]	3 Zyl.; 1,0 l	3 Zyl.; 1,0 l	2 Zyl.; 0,8 l	2 Zyl.; 0,8 l	2 Zyl.; 0,8 l	
	- Aufladung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	- Direkteinspritzung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	- Variabler Ventiltrieb	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	
	Abgasnachbeh. 2	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Allgemein						
	Getriebe	CVT	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	45 kW	55 kW	55 kW	65 kW	65 kW	
	Traktionsbatterie	NiMH	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Festkörper	
	- Kapazität [kWh]	1 kWh	12 kWh	14 kWh	16 kWh	25 kWh	
	- Ladetechnologie	n.r.	3 kW	<=40 kW	<=40 kW	<=120 kW	
	- Kühlkonzept	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Aktiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 0	Level 1	Level 2	Level 2	Level 2	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 0	Level 1	Level 1	Level 2	Level 2	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Nein	Nein	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Kamerasensorik	Nein	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Dediziert	Dediziert	Dediziert	
	Bordnetz	12 V	12 V	48 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	
	HMI	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Konv. / Konv.	Elektr. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 95: Verstärkte Elektrifizierung – SEG-1 – Batterieelektrischer Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	
	Ottomotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder; Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Direkteinspritzung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Variabler Ventiltrieb	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Allgemein						
	Getriebe	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	60 kW	70 kW	70 kW	80 kW	80 kW	
	Traktionsbatterie	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Festkörper	Festkörper	
	- Kapazität [kWh]	25 kWh	45 kWh	60 kWh	70 kWh	70 kWh	
	- Ladetechnologie	<= 40 kW	<=120 kW	<=120 kW	<=120 kW	<=120 kW	
	- Kühlkonzept	Passiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 0	Level 1	Level 2	Level 2	Level 2	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 0	Level 1	Level 1	Level 2	Level 2	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Nein	Nein	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Kamerasensorik	Nein	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Dediziert	Dediziert	Dediziert	
	Bordnetz	12 V	12 V	12 V	12 V	12 V	
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	
	HMI	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Elektr. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 96: Verstärkte Elektrifizierung – SEG-2 – Konventioneller Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Micro-Hybrid	Micro-Hybrid	Micro-Hybrid	Micro-Hybrid	Micro-Hybrid	Micro-Hybrid
	Ottomotor [Leistung]	100 kW	100 kW	100 kW	100 kW	100 kW	100 kW
	[Zylinder; Hubraum]	4 Zyl.; 1,6 l	4 Zyl.; 1,6 l	4 Zyl.; 1,6 l	4 Zyl.; 1,6 l	4 Zyl.; 1,6 l	4 Zyl.; 1,6 l
	- Aufladung	Einfach	Erweitert	Erweitert	Erweitert	Erweitert	Erweitert
	- Direkteinspritzung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	- Variabler Ventiltrieb	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.
	Abgasnachbeh. 2	Nein	OPF	OPF	OPF	OPF	OPF
	Dieselmotor [Leistung]	100 kW	100 kW	100 kW	100 kW	100 kW	100 kW
	[Zylinder, Hubraum]	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l
	- Aufladung	Erweitert	Erweitert	Erweitert	Erweitert	Erweitert	Erweitert
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
	Abgasnachbeh. 1	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx
	Abgasnachbeh. 2	DPF	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR
	Allgemein						
	Getriebe	MT (6-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert
	Elektr. Maschine [kW]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Traktionsbatterie	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	- Kapazität [kWh]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	- Ladetechnologie	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	- Kühlkonzept	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3	Level 4	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Einfach	360°	360°	
	Kamerasensorik	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	5G	5G	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	12 V	12 V	12 V	
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.	
	HMI	Konv.	Konv.	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Konv. / Konv.	Konv. / Konv.	Konv. / Konv.	Konv. / Konv.	Konv. / Konv.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 97: Verstärkte Elektrifizierung – SEG-2 – Hybrider Antriebsstrang

		Status Quo 2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid
	Ottomotor [Leistung]	100 kW	90 kW	80 kW	80 kW	80 kW
	[Zylinder; Hubraum]	4-Zyl.; 1,6 l	3 Zyl.; 1,2 l	3 Zyl.; 1,2 l	3 Zyl.; 1,2 l	3 Zyl.; 1,2 l
	- Aufladung	Einfach	Nein	Nein	Nein	Nein
	- Direkteinspritzung	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
	- Variabler Ventiltrieb	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.
	Abgasnachbeh. 2	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Allgemein					
	Getriebe	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert
	Elektr. Maschine [kW]	75 kW	85 kW	95 kW	95 kW	95 kW
	Traktionsbatterie	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Festkörper	Festkörper
	- Kapazität [kWh]	10 kWh	16 kWh	20 kWh	25 kWh	30 kWh
	- Ladetechnologie	3 kW	3 kW	<=40 kW	<=120 kW	<=120 kW
	- Kühlkonzept	Passiv	Passiv	Passiv	Aktiv	Aktiv
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3	Level 4
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 1	Level 1	Level 3	Level 4
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	Radarsensorik	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Einfach	360°	360°
	Kamerasensorik	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo
	Connectivity	Nein	Nein	5G	5G	5G + Car2X
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral
	Bordnetz	12 V	12 V	12 V	48 V	48 V
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.
	HMI	Konv.	Konv.	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Elektr. / Elekr.	Elektr. / Elekr.	Wärm. / Elekr.	Wärm. / Elekr.	Wärm. / Elekr.
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv
	Lenksystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire
	Bremssystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 98: Verstärkte Elektrifizierung – SEG-2 – Batterieelektrischer Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	
	Ottomotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder; Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Direkteinspritzung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Variabler Ventiltrieb	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Allgemein						
	Getriebe	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	100 kW	110 kW	110 kW	120 kW	120 kW	
	Traktionsbatterie	Li-Ion	Li-Ion	Festkörper	Festkörper	Festkörper	
	- Kapazität [kWh]	40 kWh	70 kWh	90 kWh	100 kWh	100 kWh	
	- Ladetechnologie	<= 40 kW	<= 120 kW	<=350 kW	<=350 kW	<=350 kW	
	- Kühlkonzept	Passiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3	Level 4	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 1	Level 1	Level 3	Level 4	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Einfach	360°	360°	
	Kamerasensorik	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	5G	5G	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	48 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.	
	HMI	Konv.	Konv.	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Elektr. / Elekr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 99: Verstärkte Elektrifizierung – SEG-2 – Brennstoffzellenfahrzeug

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Brennstoffzelle	Brennstoffzelle	Brennstoffzelle	Brennstoffzelle	Brennstoffzelle	
	Ottomotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder; Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Direkteinspritzung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Variabler Ventiltrieb	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Allgemein						
	Getriebe	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	100 kW	110 kW	110 kW	120 kW	120 kW	
	Traktionsbatterie	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Festkörper	Festkörper	
	- Kapazität [kWh]	10 kWh	14 kWh	16 kWh	25 kWh	25 kWh	
	- Ladetechnologie	3 kW	3 kW	<=40 kW	<=120 kW	<=120 kW	
	- Kühlkonzept	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	
	Brennstoffzellensys. [kW]	80 kW	90 kW	100 kW	100 kW	100 kW	
	Wasserstoffspeicher [kg]	6,5 kg	6,5 kg	6,5 kg	6,5 kg	6,5 kg	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3	Level 4	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 1	Level 1	Level 3	Level 4	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Einfach	360°	360°	
	Kamerasensorik	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	5G	5G	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	48 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Multimaterial	Multimaterial	Multimaterial	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.	
	HMI	Konv.	Konv.	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Elektr. / Elekr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 100: Verstärkte Elektrifizierung – SEG-3 – Konventioneller Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Micro-Hybrid	Mild-H. (48 V)	Mild-H. (48 V)	Mild-H. (48 V)	Mild-H. (48 V)	
	Ottomotor [Leistung]	150 kW	150 kW	150 kW	150 kW	150 kW	
	[Zylinder; Hubraum]	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	
	- Aufladung	Erweitert	Elektr.	Elektr.	Elektr.	Elektr.	
	- Direkteinspritzung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Variabler Ventiltrieb	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	
	Abgasnachbeh. 2	Nein	OPF	OPF	OPF	OPF	
	Dieselmotor [Leistung]	150 kW	150 kW	150 kW	150 kW	150 kW	
	[Zylinder, Hubraum]	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	
	- Aufladung	Erweitert	Elektr.	Elektr.	Elektr.	Elektr.	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	
	Abgasnachbeh. 2	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	
	Allgemein						
	Getriebe	AT (8-G.)	AT (9-G.)	AT (9-G.)	AT (9-G.)	AT (9-G.)	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	n.r.	10 kW	10 kW	10 kW	10 kW	
	Traktionsbatterie	n.r.	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	
	- Kapazität [kWh]	n.r.	1 kW	1 kW	1 kW	1 kW	
	- Ladetechnologie	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Kühlkonzept	n.r.	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 2	Level 3	Level 3	Level 4	Level 5	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3	Level 5	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Einfach	Einfach	360°	360°	
	Kamerasensorik	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	5G	5G + Car2X	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	48 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.	5 – Flex.	
	HMI	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Konv. / Konv.	Konv. / Elektr.	Konv. / Elektr.	Konv. / Elektr.	Konv. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 101: Verstärkte Elektrifizierung – SEG-3 – Hybrider Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	
	Ottomotor [Leistung]	130 kW	100 kW	90 kW	70 kW	70 kW	
	[Zylinder; Hubraum]	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 1,6 l	3 Zyl.; 1,2 l	3 Zyl.; 1,2 l	
	- Aufladung	Einfach	Einfach	Einfach	Nein	Nein	
	- Direkteinspritzung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Variabler Ventiltrieb	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	
	Abgasnachbeh. 2	Nein	OPF	OPF	OPF	OPF	
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Allgemein						
	Getriebe	AT (8-G.)	AT (8-G.)	AT (8-G.)	AT (8-G.)	AT (8-G.)	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	110 kW	120 kW	130 kW	140 kW	140 kW	
	Traktionsbatterie	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Festkörper	Festkörper	
	- Kapazität [kWh]	12 kWh	20 kWh	30 kWh	35 kWh	40 kWh	
	- Ladetechnologie	3 kW	<=40 kW	<=120 kW	<=120 kW	<=120 kW	
	- Kühlkonzept	Passiv	Passiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 2	Level 3	Level 3	Level 4	Level 5	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3	Level 5	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Einfach	Einfach	360°	360°	
	Kamerasensorik	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	5G	5G + Car2X	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	48 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.	5 – Flex.	
	HMI	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Elektr. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 102: Verstärkte Elektrifizierung – SEG-3 – Batterieelektrischer Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	
	Ottomotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder; Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Direkteinspritzung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Variabler Ventiltrieb	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Allgemein						
	Getriebe	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	250 kW	250 kW	250 kW	250 kW	250 kW	
	Traktionsbatterie	Li-Ion	Li-Ion	Festkörper	Festkörper	Festkörper	
	- Kapazität [kWh]	75 kWh	90 kWh	110 kWh	120 kWh	120 kWh	
	- Ladetechnologie	<= 100 kW	<= 120 kW	<=350 kW	<=350 kW	<=350 kW	
	- Kühlkonzept	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 2	Level 3	Level 3	Level 4	Level 5	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3	Level 5	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Einfach	Einfach	360°	360°	
	Kamerasensorik	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	5G	5G + Car2X	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	48 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.	5 – Flex.	
	HMI	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Elektr. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 103: Verstärkte Automatisierung – SEG-1 – Konventioneller Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Konv.	Micro-Hybrid	Micro-Hybrid	Mild-H. (48 V)	Mild-H. (48 V)	
	Ottomotor [Leistung]	55 kW	55 kW	55 kW	55 kW	55 kW	
	[Zylinder; Hubraum]	3 Zyl.; 1,0 l	3 Zyl.; 1,0 l	3 Zyl.; 1,0 l	3 Zyl.; 1,0 l	3 Zyl.; 1,0 l	
	- Aufladung	Nein	Einfach	Einfach	Elektr.	Elektr.	
	- Direkteinspritzung	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Variabler Ventiltrieb	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	
	Abgasnachbeh. 2	Nein	OPF	OPF	OPF	OPF	
	Dieselmotor [Leistung]	55 kW	55 kW	55 kW	55 kW	55 kW	
	[Zylinder, Hubraum]	4 Zyl.; 1,2 l	4 Zyl.; 1,2 l	4 Zyl.; 1,2 l	3 Zyl.; 1,0 l	3 Zyl.; 1,0 l	
	- Aufladung	Erweitert	Erweitert	Erweitert	Elektr.	Elektr.	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	
	Abgasnachbeh. 2	DPF	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	
	Allgemein						
	Getriebe	MT (5-G.)	MT (5-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Traktionsbatterie	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Kapazität [kWh]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Ladetechnologie	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Kühlkonzept	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 0	Level 1	Level 2	Level 2	Level 4	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Nein	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Einfach	Einfach	360°	
	Kamerasensorik	Nein	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	5G	5G + Car2X	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	12 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Flex.	
	HMI	Konv.	Konv.	Konv.	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Konv. / Konv.	Konv. / Konv.	Konv. / Konv.	Konv. / Elektr.	Konv. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 104: Verstärkte Automatisierung – SEG-1 – Hybrider Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Full-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	
	Ottomotor [Leistung]	55 kW	50 kW	50 kW	40 kW	40 kW	
	[Zylinder; Hubraum]	3 Zyl.; 1,0 l	3 Zyl.; 1,0 l	3 Zyl.; 1,0 l	2 Zyl.; 0,8 l	2 Zyl.; 0,8 l	
	- Aufladung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	- Direkteinspritzung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	- Variabler Ventiltrieb	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	
	Abgasnachbeh. 2	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Allgemein						
	Getriebe	CVT	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	45 kW	50 kW	50 kW	60 kW	60 kW	
	Traktionsbatterie	NiMH	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	
	- Kapazität [kWh]	1 kWh	8 kWh	10 kWh	15 kWh	15 kWh	
	- Ladetechnologie	n.r.	3 kW	<=40 kW	<=40 kW	<=40 kW	
	- Kühlkonzept	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 0	Level 1	Level 2	Level 2	Level 4	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Nein	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Einfach	Einfach	360°	
	Kamerasensorik	Nein	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	5G	5G + Car2X	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	12 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Flex.	
	HMI	Konv.	Konv.	Konv.	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Konv. / Konv.	Elektr. / Elektr.	Elektr. / Elektr.	Elektr. / Elektr.	Elektr. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 105: Verstärkte Automatisierung – SEG-1 – Batterieelektrischer Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	
	Ottomotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder; Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Direkteinspritzung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Variabler Ventiltrieb	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Allgemein						
	Getriebe	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	60 kW	60 kW	70 kW	70 kW	80 kW	
	Traktionsbatterie	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	
	- Kapazität [kWh]	25 kWh	40 kWh	50 kWh	60 kWh	60 kWh	
	- Ladetechnologie	<= 40 kW	<= 40 kW	<=120 kW	<=120 kW	<=120 kW	
	- Kühlkonzept	Passiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 0	Level 1	Level 2	Level 2	Level 4	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Nein	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Einfach	Einfach	360°	
	Kamerasensorik	Nein	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	5G	5G + Car2X	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	12 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Flex.	
	HMI	Konv.	Konv.	Konv.	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Elektr. / Elektr.	Elektr. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 106: Verstärkte Automatisierung – SEG-2 – Konventioneller Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Micro-Hybrid	Micro-Hybrid	Mild-H. (48 V)	Mild-H. (48 V)	Mild-H. (48 V)	
	Ottomotor [Leistung]	100 kW	100 kW	100 kW	100 kW	100 kW	
	[Zylinder; Hubraum]	4 Zyl.; 1,6 l	4 Zyl.; 1,6 l	4 Zyl.; 1,6 l	4 Zyl.; 1,6 l	4 Zyl.; 1,6 l	
	- Aufladung	Einfach	Erweitert	Elektr.	Elektr.	Elektr.	
	- Direkteinspritzung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Variabler Ventiltrieb	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Ja	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	
	Abgasnachbeh. 2	Nein	OPF	OPF	OPF	OPF	
	Dieselmotor [Leistung]	100 kW	100 kW	100 kW	100 kW	100 kW	
	[Zylinder, Hubraum]	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 1,6 l	4 Zyl.; 1,6 l	4 Zyl.; 1,6 l	
	- Aufladung	Erweitert	Erweitert	Elektr.	Elektr.	Elektr.	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	
	Abgasnachbeh. 2	DPF	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	
	Allgemein						
	Getriebe	MT (6-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	n.r.	n.r.	10 kW	10 kW	10 kW	
	Traktionsbatterie	n.r.	n.r.	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	
	- Kapazität [kWh]	n.r.	n.r.	1 kWh	1 kWh	1 kWh	
	- Ladetechnologie	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Kühlkonzept	n.r.	n.r.	Passiv	Passiv	Passiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 4	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Einfach	360°	360°	
	Kamerasensorik	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	5G + Car2X	5G + Car2X	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	48 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.	
	HMI	Konv.	Konv.	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Konv. / Konv.	Konv. / Konv.	Konv. / Elektr.	Konv. / Elektr.	Konv. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 107: Verstärkte Automatisierung – SEG-2 – Hybrider Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	
	Ottomotor [Leistung]	100 kW	100 kW	90 kW	90 kW	80 kW	
	[Zylinder; Hubraum]	4-Zyl.; 1,6 l	4 Zyl.; 1,6 l	3 Zyl.; 1,2 l	3 Zyl.; 1,2 l	3 Zyl.; 1,2 l	
	- Aufladung	Einfach	Einfach	Nein	Nein	Nein	
	- Direkteinspritzung	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	
	- Variabler Ventiltrieb	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	
	Abgasnachbeh. 2	Nein	OPF	Nein	Nein	Nein	
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Allgemein						
	Getriebe	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	75 kW	75 kW	85 kW	85 kW	95 kW	
	Traktionsbatterie	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	
	- Kapazität [kWh]	10 kWh	14 kWh	16 kWh	20 kWh	25 kWh	
	- Ladetechnologie	3 kW	3 kW	<=40 kW	<=40 kW	<=40 kW	
	- Kühlkonzept	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 4	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Einfach	360°	360°	
	Kamerasensorik	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	5G + Car2X	5G + Car2X	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	12 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.	
	HMI	Konv.	Konv.	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Elektr. / Elekr.	Elektr. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 108: Verstärkte Automatisierung – SEG-2 – Batterieelektrischer Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	
	Ottomotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder; Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Direkteinspritzung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Variabler Ventiltrieb	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Allgemein						
	Getriebe	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	100 kW	100 kW	110 kW	110 kW	120 kW	
	Traktionsbatterie	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Festkörper	
	- Kapazität [kWh]	40 kWh	60 kWh	80 kWh	90 kWh	90 kWh	
	- Ladetechnologie	<=40 kW	<=40 kW	<=120 kW	<=120 kW	<=120 kW	
	- Kühlkonzept	Passiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 4	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Einfach	360°	360°	
	Kamerasensorik	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	5G + Car2X	5G + Car2X	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	12 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.	
	HMI	Konv.	Konv.	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Elektr. / Elekr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 109: Verstärkte Automatisierung – SEG-2 – Brennstoffzellenfahrzeug

		Status Quo 2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Brennstoffzelle	Brennstoffzelle	Brennstoffzelle	Brennstoffzelle	Brennstoffzelle
	Ottomotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	[Zylinder; Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	- Direkteinspritzung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	- Variabler Ventiltrieb	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Allgemein					
	Getriebe	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert
	Elektr. Maschine [kW]	100 kW	100 kW	110 kW	110 kW	120 kW
	Traktionsbatterie	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion
	- Kapazität [kWh]	10 kWh	14 kWh	16 kWh	20 kWh	25 kWh
	- Ladetechnologie	3 kW	3 kW	<=40 kW	<=40 kW	<=40 kW
	- Kühlkonzept	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv
	Brennstoffzellensys. [kW]	80 kW	90 kW	100 kW	100 kW	100 kW
	Wasserstoffspeicher [kg]	6,5 kg	6,5 kg	6,5 kg	6,5 kg	6,5 kg
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 4
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 1	Level 2	Level 4	Level 4
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	Radarsensorik	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich
	Lidarsensorik	Nein	Nein	360°	360°	360°
	Kamerasensorik	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo
	Connectivity	Nein	Nein	5G + Car2X	5G + Car2X	5G + Car2X
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral
	Bordnetz	12 V	12 V	12 V	48 V	48 V
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Multimaterial	Multimaterial	Multimaterial
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.
	HMI	Konv.	Konv.	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Elektr. / Elekr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv
	Lenksystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire
	Bremssystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 110: Verstärkte Automatisierung – SEG-3 – Konventioneller Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Micro-Hybrid	Mild-H. (48 V)	Mild-H. (48 V)	Mild-H. (48 V)	Mild-H. (48 V)	
	Ottomotor [Leistung]	150 kW	150 kW	150 kW	150 kW	150 kW	
	[Zylinder; Hubraum]	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	
	- Aufladung	Erweitert	Elektr.	Elektr.	Elektr.	Elektr.	
	- Direkteinspritzung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Variabler Ventiltrieb	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	
	Abgasnachbeh. 2	Nein	OPF	OPF	OPF	OPF	
	Dieselmotor [Leistung]	150 kW	150 kW	150 kW	150 kW	150 kW	
	[Zylinder, Hubraum]	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	
	- Aufladung	Erweitert	Elektr.	Elektr.	Elektr.	Elektr.	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	
	Abgasnachbeh. 2	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	
	Allgemein						
	Getriebe	AT (8-G.)	AT (9-G.)	AT (10-G.)	AT (10-G.)	AT (10-G.)	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	n.r.	10 kW	15 kW	15 kW	15 kW	
	Traktionsbatterie	n.r.	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	
	- Kapazität [kWh]	n.r.	1 kWh	2 kWh	2 kWh	2 kWh	
	- Ladetechnologie	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Kühlkonzept	n.r.	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 5	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 2	Level 4	Level 5	Level 5	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Einfach	360°	360°	360°	
	Kamerasensorik	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	5G	5G + Car2X	5G + Car2X	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	48 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.	5 – Flex.	5 – Flex.	
	HMI	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Konv. / Konv.	Konv. / Elektr.	Konv. / Elektr.	Konv. / Elektr.	Konv. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 111: Verstärkte Automatisierung – SEG-3 – Hybrider Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	
	Ottomotor [Leistung]	130 kW	100 kW	90 kW	70 kW	70 kW	
	[Zylinder; Hubraum]	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 1,6 l	3 Zyl.; 1,2 l	3 Zyl.; 1,2 l	
	- Aufladung	Einfach	Einfach	Einfach	Einfach	Einfach	
	- Direkteinspritzung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Variabler Ventiltrieb	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	
	Abgasnachbeh. 2	Nein	OPF	OPF	OPF	OPF	
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Allgemein						
	Getriebe	AT (8-G.)	AT (9-G.)	AT (9-G.)	AT (9-G.)	AT (9-G.)	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	110 kW	110 kW	120 kW	130 kW	130 kW	
	Traktionsbatterie	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	
	- Kapazität [kWh]	12 kWh	16 kWh	20 kWh	30 kWh	30 kWh	
	- Ladetechnologie	3 kW	3 kW	<=40 kW	<=40 kW	<=40 kW	
	- Kühlkonzept	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 5	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 2	Level 4	Level 5	Level 5	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Einfach	360°	360°	360°	
	Kamerasensorik	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	5G	5G + Car2X	5G + Car2X	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	48 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.	5 – Flex.	5 – Flex.	
	HMI	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Elektr. / Elektr.	Elektr. / Elektr.	Elektr. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 112: Verstärkte Automatisierung – SEG-3 – Batterieelektrischer Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	
	Ottomotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder; Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Direkteinspritzung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Variabler Ventiltrieb	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Allgemein						
	Getriebe	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	250 kW	250 kW	250 kW	250 kW	250 kW	
	Traktionsbatterie	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Festkörper	Festkörper	
	- Kapazität [kWh]	75 kWh	85 kWh	90 kWh	100 kWh	100 kWh	
	- Ladetechnologie	<= 100 kW	<= 120 kW	<=350 kW	<=350 kW	<=350 kW	
	- Kühlkonzept	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 5	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 2	Level 4	Level 5	Level 5	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Einfach	360°	360°	360°	
	Kamerasensorik	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	5G	5G + Car2X	5G + Car2X	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	48 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.	5 – Flex.	5 – Flex.	
	HMI	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Elektr. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 113: Progressives Szenario – SEG-1 – Konventioneller Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Konv.	Micro-Hybrid	Micro-Hybrid	Micro-Hybrid	Micro-Hybrid	
	Ottomotor [Leistung]	55 kW	55 kW	55 kW	55 kW	55 kW	
	[Zylinder; Hubraum]	3 Zyl.; 1,0 l	3 Zyl.; 1,0 l	3 Zyl.; 1,0 l	3 Zyl.; 1,0 l	3 Zyl.; 1,0 l	
	- Aufladung	Nein	Einfach	Einfach	Einfach	Einfach	
	- Direkteinspritzung	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Variabler Ventiltrieb	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	
	Abgasnachbeh. 2	Nein	OPF	OPF	OPF	OPF	
	Dieselmotor [Leistung]	55 kW	55 kW	55 kW	55 kW	55 kW	
	[Zylinder, Hubraum]	4 Zyl.; 1,2 l	4 Zyl.; 1,2 l	4 Zyl.; 1,2 l	4 Zyl.; 1,2 l	4 Zyl.; 1,2 l	
	- Aufladung	Erweitert	Erweitert	Erweitert	Erweitert	Erweitert	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	
	Abgasnachbeh. 2	DPF	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	
	Allgemein						
	Getriebe	MT (5-G.)	MT (5-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Traktionsbatterie	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Kapazität [kWh]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Ladetechnologie	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Kühlkonzept	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 0	Level 1	Level 2	Level 2	Level 4	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Nein	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Einfach	Einfach	360°	
	Kamerasensorik	Nein	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	5G	5G + Car2X	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	12 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Flex.	
	HMI	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Konv. / Konv.	Konv. / Konv.	Konv. / Konv.	Konv. / Elektr.	Konv. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 114: Progressives Szenario – SEG-1 – Hybrider Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Full-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	
	Ottomotor [Leistung]	55 kW	50 kW	40 kW	40 kW	40 kW	
	[Zylinder; Hubraum]	3 Zyl.; 1,0 l	3 Zyl.; 1,0 l	2 Zyl.; 0,8 l	2 Zyl.; 0,8 l	2 Zyl.; 0,8 l	
	- Aufladung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	- Direkteinspritzung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	- Variabler Ventiltrieb	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	
	Abgasnachbeh. 2	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Allgemein						
	Getriebe	CVT	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	45 kW	55 kW	55 kW	65 kW	65 kW	
	Traktionsbatterie	NiMH	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Festkörper	
	- Kapazität [kWh]	1 kWh	12 kWh	14 kWh	16 kWh	25 kWh	
	- Ladetechnologie	n.r.	3 kW	<=40 kW	<=40 kW	<=120 kW	
	- Kühlkonzept	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Aktiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 0	Level 1	Level 2	Level 2	Level 4	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Nein	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Einfach	Einfach	360°	
	Kamerasensorik	Nein	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	5G	5G + Car2X	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	48 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Flex.	
	HMI	Konv.	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Konv. / Konv.	Elektr. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 115: Progressives Szenario – SEG-1 – Batterieelektrischer Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebsstrang	Antriebstr.-Typ	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	
	Ottomotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder; Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Direkteinspritzung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Variabler Ventiltrieb	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Allgemein						
	Getriebe	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	60 kW	70 kW	70 kW	80 kW	80 kW	
	Traktionsbatterie	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Festkörper	Festkörper	
	- Kapazität [kWh]	25 kWh	35 kWh	35 kWh	45 kWh	45 kWh	
	- Ladetechnologie	<= 40 kW	<=120 kW	<=120 kW	<=120 kW	<=120 kW	
	- Kühlkonzept	Passiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 0	Level 2	Level 2	Level 3	Level 4	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 0	Level 1	Level 1	Level 2	Level 3	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Nein	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Nein	Einfach	360°	
	Kamerasensorik	Nein	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	5G	5G + Car2X	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	48 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Konv.	4 – Flex.	
	HMI	Konv.	Konv.	Konv.	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Elektr. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 116: Progressives Szenario – SEG-2 – Konventioneller Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Micro-Hybrid	Micro-Hybrid	Micro-Hybrid	Micro-Hybrid	Micro-Hybrid	
	Ottomotor [Leistung]	100 kW	100 kW	100 kW	100 kW	100 kW	
	[Zylinder; Hubraum]	4 Zyl.; 1,6 l	4 Zyl.; 1,6 l	4 Zyl.; 1,6 l	4 Zyl.; 1,6 l	4 Zyl.; 1,6 l	
	- Aufladung	Einfach	Erweitert	Erweitert	Erweitert	Erweitert	
	- Direkteinspritzung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Variabler Ventiltrieb	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	
	Abgasnachbeh. 2	Nein	OPF	OPF	OPF	OPF	
	Dieselmotor [Leistung]	100 kW	100 kW	100 kW	100 kW	100 kW	
	[Zylinder, Hubraum]	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	
	- Aufladung	Erweitert	Erweitert	Erweitert	Erweitert	Erweitert	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	
	Abgasnachbeh. 2	DPF	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	
	Allgemein						
	Getriebe	MT (6-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Traktionsbatterie	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Kapazität [kWh]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Ladetechnologie	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Kühlkonzept	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 4	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Einfach	360°	360°	
	Kamerasensorik	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	5G + Car2X	5G + Car2X	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	48 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.	
	HMI	Konv.	Konv.	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Konv. / Konv.	Konv. / Konv.	Konv. / Elektr.	Konv. / Elektr.	Konv. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 117: Progressives Szenario – SEG-2 – Hybrider Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	
	Ottomotor [Leistung]	100 kW	90 kW	80 kW	80 kW	80 kW	
	[Zylinder; Hubraum]	4-Zyl.; 1,6 l	3 Zyl.; 1,2 l	3 Zyl.; 1,2 l	3 Zyl.; 1,2 l	3 Zyl.; 1,2 l	
	- Aufladung	Einfach	Nein	Nein	Nein	Nein	
	- Direkteinspritzung	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	
	- Variabler Ventiltrieb	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	
	Abgasnachbeh. 2	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Allgemein						
	Getriebe	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	DKG (7-G.)	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	75 kW	85 kW	95 kW	95 kW	95 kW	
	Traktionsbatterie	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Festkörper	Festkörper	
	- Kapazität [kWh]	10 kWh	16 kWh	20 kWh	25 kWh	30 kWh	
	- Ladetechnologie	3 kW	3 kW	<=40 kW	<=120 kW	<=120 kW	
	- Kühlkonzept	Passiv	Passiv	Passiv	Aktiv	Aktiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 4	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Einfach	360°	360°	
	Kamerasensorik	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	5G + Car2X	5G + Car2X	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	48 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.	
	HMI	Konv.	Konv.	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Elektr. / Elekr.	Elektr. / Elekr.	Wärm. / Elekr.	Wärm. / Elekr.	Wärm. / Elekr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 118: Progressives Szenario – SEG-2 – Batterieelektrischer Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.
	Ottomotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	[Zylinder; Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	- Direkteinspritzung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	- Variabler Ventiltrieb	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Allgemein						
	Getriebe	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert
	Elektr. Maschine [kW]	100 kW	110 kW	110 kW	120 kW	120 kW	
	Traktionsbatterie	Li-Ion	Li-Ion	Festkörper	Festkörper	Festkörper	
	- Kapazität [kWh]	40 kWh	70 kWh	90 kWh	100 kWh	100 kWh	
	- Ladetechnologie	<= 40 kW	<= 120 kW	<=350 kW	<=350 kW	<=350 kW	
	- Kühlkonzept	Passiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 4	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Nein	Einfach	360°	360°	
	Kamerasensorik	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	5G + Car2X	5G + Car2X	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	48 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.	
	HMI	Konv.	Konv.	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Elektr. / Elekr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 119: Progressives Szenario – SEG-2 – Brennstoffzellenfahrzeug

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Brennstoffzelle	Brennstoffzelle	Brennstoffzelle	Brennstoffzelle	Brennstoffzelle	
	Ottomotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder; Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Direkteinspritzung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Variabler Ventiltrieb	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Allgemein						
	Getriebe	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	100 kW	110 kW	110 kW	120 kW	120 kW	
	Traktionsbatterie	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Festkörper	Festkörper	
	- Kapazität [kWh]	10 kWh	14 kWh	16 kWh	25 kWh	25 kWh	
	- Ladetechnologie	3 kW	3 kW	<=40 kW	<=120 kW	<=120 kW	
	- Kühlkonzept	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	
	Brennstoffzellensys. [kW]	80 kW	90 kW	100 kW	100 kW	100 kW	
	Wasserstoffspeicher [kg]	6,5 kg	6,5 kg	6,5 kg	6,5 kg	6,5 kg	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 4	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 1	Level 2	Level 4	Level 4	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Einfach	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Nein	360°	360°	360°	
	Kamerasensorik	Einfach	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	Nein	5G + Car2X	5G + Car2X	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	48 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Stahl	Stahl	Multimaterial	Multimaterial	Multimaterial	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.	
	HMI	Konv.	Konv.	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Elektr. / Elekr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 120: Progressives Szenario – SEG-3 – Konventioneller Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Micro-Hybrid	Mild-H. (48 V)	Mild-H. (48 V)	Mild-H. (48 V)	Mild-H. (48 V)	
	Ottomotor [Leistung]	150 kW	150 kW	150 kW	150 kW	150 kW	
	[Zylinder; Hubraum]	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	
	- Aufladung	Erweitert	Elektr.	Elektr.	Elektr.	Elektr.	
	- Direkteinspritzung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Variabler Ventiltrieb	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	
	Abgasnachbeh. 2	Nein	OPF	OPF	OPF	OPF	
	Dieselmotor [Leistung]	150 kW	150 kW	150 kW	150 kW	150 kW	
	[Zylinder, Hubraum]	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	
	- Aufladung	Erweitert	Elektr.	Elektr.	Elektr.	Elektr.	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	Oxy + DeNOx	
	Abgasnachbeh. 2	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	DPF + SCR	
	Allgemein						
	Getriebe	AT (8-G.)	AT (9-G.)	AT (9-G.)	AT (9-G.)	AT (9-G.)	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	n.r.	10 kW	10 kW	10 kW	10 kW	
	Traktionsbatterie	n.r.	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	
	- Kapazität [kWh]	n.r.	1 kW	1 kW	1 kW	1 kW	
	- Ladetechnologie	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Kühlkonzept	n.r.	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 5	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 2	Level 4	Level 5	Level 5	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Einfach	360°	360°	360°	
	Kamerasensorik	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	5G	5G + Car2X	5G + Car2X	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	48 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.	5 – Flex.	5 – Flex.	
	HMI	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Konv. / Konv.	Konv. / Konv.	Konv. / Elektr.	Konv. / Elektr.	Konv. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)
Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 121: Progressives Szenario – SEG-3 – Hybrider Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebstrang	Antriebstr.-Typ	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	Plug-in-Hybrid	
	Ottomotor [Leistung]	130 kW	100 kW	90 kW	70 kW	70 kW	
	[Zylinder; Hubraum]	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 2,0 l	4 Zyl.; 1,6 l	3 Zyl.; 1,2 l	3 Zyl.; 1,2 l	
	- Aufladung	Einfach	Einfach	Einfach	Nein	Nein	
	- Direkteinspritzung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Variabler Ventiltrieb	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	- Zylinderabschaltung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
	Abgasnachbeh. 1	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	3-Wege-Kat.	
	Abgasnachbeh. 2	Nein	OPF	OPF	OPF	OPF	
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Allgemein						
	Getriebe	AT (8-G.)	AT (8-G.)	AT (8-G.)	AT (8-G.)	AT (8-G.)	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	110 kW	120 kW	130 kW	140 kW	140 kW	
	Traktionsbatterie	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Festkörper	Festkörper	
	- Kapazität [kWh]	12 kWh	20 kWh	30 kWh	35 kWh	40 kWh	
	- Ladetechnologie	3 kW	<=40 kW	<=120 kW	<=120 kW	<=120 kW	
	- Kühlkonzept	Passiv	Passiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 5	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 2	Level 4	Level 5	Level 5	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Einfach	360°	360°	360°	
	Kamerasensorik	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	5G	5G + Car2X	5G + Car2X	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	48 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.	5 – Flex.	5 – Flex.	
	HMI	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Elektr. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.

Abb. 122: Progressives Szenario – SEG-3 – Batterieelektrischer Antriebsstrang

		Status Quo	2021	2028	2035	2042	2049
Antriebsstrang	Antriebstr.-Typ	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	Batterieelekt.	
	Ottomotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder; Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Direkteinspritzung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Variabler Ventiltrieb	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Dieselmotor [Leistung]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	[Zylinder, Hubraum]	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Aufladung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	- Zylinderabschaltung	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 1	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Abgasnachbeh. 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Allgemein						
	Getriebe	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
	Nebenaggregate	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	Elektrifiziert	
	Elektr. Maschine [kW]	250 kW	250 kW	250 kW	250 kW	250 kW	
	Traktionsbatterie	Li-Ion	Li-Ion	Festkörper	Festkörper	Festkörper	
	- Kapazität [kWh]	75 kWh	90 kWh	110 kWh	120 kWh	120 kWh	
	- Ladetechnologie	<= 100 kW	<= 120 kW	<=350 kW	<=350 kW	<=350 kW	
	- Kühlkonzept	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	
Elektrik / Elektronik	Autom. Fahrfunkt. BAB	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 5	
	Autom. Fahrfunkt. Urban	Level 1	Level 2	Level 4	Level 5	Level 5	
	Ultraschallsensorik	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
	Radarsensorik	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	Mehrbereich	
	Lidarsensorik	Nein	Einfach	360°	360°	360°	
	Kamerasensorik	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	Stereo	
	Connectivity	Nein	5G	5G + Car2X	5G + Car2X	5G + Car2X	
	Rechner	Dediziert	Dediziert	Zentral	Zentral	Zentral	
	Bordnetz	12 V	12 V	48 V	48 V	48 V	
Kaross.	Bauweise	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	Multi-Material	
	Sicherheitskonzept	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Aerodynamik	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	Passiv	
Inter.	Sitze [Anzahl, Kon.]	5 – Konv.	5 – Konv.	5 – Flex.	5 – Flex.	5 – Flex.	
	HMI	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Fortgeschritten	
	Klimat. (Heizen / Kühlen)	Elektr. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	Wärm. / Elektr.	
Fahrwerk	Felgen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Reifen	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	Konv.	
	Radaufhängung	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	Adaptiv	
	Lenksystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	
	Bremssystem	Konv.	Konv.	By-Wire	By-Wire	By-Wire	

Abkürzungen: Batterieelekt. (Batterieelektrisch); Zyl. (Zylinder); Oxy (Oxydationskatalysator); DeNOx (NOx-Speicherkat); OPF (Ottopartikelfilter); DPF (Dieselpartikelfilter); MT (Handschaltgetriebe); AT (Automatikgetriebe); DKG (Doppelkupplungsgetriebe); Konv. (Konventionell); Flex. (Flexibel); Elektr. (Elektrifiziert); Wärm. (Wärmepumpe)

Quelle: fka. Eigene Darstellung. Abkürzungen: n.r.: nicht relevant.