Gesamtwirtschaftliche Wirkungen durch die Transformation zu nachhaltiger Mobilität

Arbeitspapier aus AP5 des Projektes:

Beschäftigungseffekte nachhaltiger Mobilität: Eine systemische Analyse der Perspektiven in Deutschland bis 2035

Karlsruhe, 31.01.2020

M-Five GmbH
Mobility, Futures, Innovation, Economics
Bahnhofstr. 46, 76137 Karlsruhe

Dr. Wolfgang Schade
Wissenschaftliche Leitung
Tel: +49 721 82481890
wolfgang.schade@m-five.de
www.m-five.de

Hans Böckler Stiftung
Mitbestimmung · Forschung · Stipendien

© M-Five 2020

Bearbeitung durch:

M-Five GmbH Mobility, Futures, Innovation, Economics, Karlsruhe

M.A. Daniel Berthold

M.Sc. Simon Mader

Dr. Wolfgang Schade

Dr. Christian Scherf

M.Sc. Meike Stich

M.A. Udo Wagner

Vorgeschlagene Zitierweise:

Schade W., Berthold D., Mader S., Scherf C., Stich M., Wagner U. (2020): *Gesamtwirtschaftliche Wirkungen durch die Transformation zu nachhaltiger Mobilität*. Arbeitspapier im Auftrag der Hans-Böckler-Stiftung, Karlsruhe.

Diese Veröffentlichung entstand im Rahmen des von der Hans-Böckler-Stiftung geförderten Projekts „Beschäftigungseffekte nachhaltiger Mobilität“ (Projekt-Nr. 2016-974-1):

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 14

2 Die gesamtwirtschaftliche Analyse ... 16

3 ASTRA-HBS Modellierung – die Methodik ... 18

3.1 Module des makroökonomischen Modells ... 20

3.1.1 Bruttoinlandsprodukt aus Angebots- und Nachfragesicht ... 23

3.1.2 Produktionspotential ... 24

3.1.3 Endnachfrage ... 25

3.1.4 Konsum ... 26

3.1.5 Export-Import-Bilanz ... 29

3.1.6 Investitionen ... 30

3.1.7 Input-Output Modul ... 34

3.1.8 Beschäftigungsmodul ... 35

3.1.9 Verknüpfung des makroökonomischen Modells mit dem Verkehrsnachfragemodell ... 37

3.2 Module des Verkehrsnachfragemodells ... 38

3.3 Module des Flottenmodells ... 41

3.3.1 Modellierung des Bestandes und der Technologiediffusion ... 41

3.3.2 Entwicklung der Komponenten und Fahrzeugkosten ... 44

3.4 Module des Umweltmodells ... 48

4 Die Szenarien nachhaltiger Mobilität ... 50

4.1 Szenario-Design ... 50

4.2 Investitions-Impulse und Zeitpfade der Investitionen ... 53

4.2.1 Varianten zur Abschätzung von Investitionsimpulsen ... 53

4.2.2 Indikatorik zur Analyse der Modellergebnisse ... 55

4.3 Politikprogramm zur Realisierung der Szenarien ... 56

4.3.1 Bereits ergriffene Instrumente ... 58

4.3.2 Instrumente für den Schienenverkehr ... 58

4.3.3 Instrumente zur Stärkung des ÖPNV plus neue Mobilitätsdienste ... 59

4.3.4 Instrumente zur Stärkung des Radverkehrs ... 69

4.3.5 Instrumente mit Lenkungs- und Einnahmewirkung ... 69

4.4 Wirkung auf Energieverbrauch und THG-Emission ... 71

5 Gesamtwirtschaftliche Effekte der Transformation ... 73

5.1 Ökonomische Impulse der Szenarien: das Investitionsprogramm ... 74

5.1.1 Impulse durch Verkehrsinfrastrukturinvestitionen ... 74

5.1.2 Impulse durch Auf- und Ausbau Energieinfrastruktur für Verkehr ... 79

5.1.3 Impulse durch Digitalisierung und Mobilitätsdienstleistungen ... 87

5.1.4 Investitionsprogramm: Summe der Impulse ... 94

5.2 Bruttoinlandsprodukt und Gesamtbeschäftigung ... 98

5.3 Aggregierte Investitionen in der Volkswirtschaft ... 103

5.4 Konsumausgaben für die Mobilität ... 107

5.5 Sektorale Endnachfrage und Pkw-Komponenten 111
5.6 Sektorale Entwicklung der Beschäftigung 118
5.7 Beschäftigung auf Pkw-Komponentenebene 128
5.8 Beschäftigung in neuen Mobilitätsdienstleistungen 132
5.9 Wirkungen auf den Staatshaushalt 135
5.10 Sensitivitätsanalysen 142
5.11 Synthese der gesamtwirtschaftlichen Analyse 147
5.11.1 Gesamtwirtschaftliche Wirkungen 147
5.11.2 Differenzierte Wirkungen auf die Beschäftigung 156
5.11.3 Methodische Reflexion 164
5.12 Weiterer Forschungsbedarf 165
6 Automatisierung, künstliche Intelligenz und digitale Autonomie 168
6.1 Investitionen und Industriepolitik 169
6.2 Regulierung und technologische Richtungsentscheidungen 170
6.3 Datenschutz 171
6.4 Schlussfolgerung: Effektiver Interessenausgleich 174
7 Vergleich mit anderen Studien 176
7.1 Gesamtwirtschaftliche Analysen zu Mobilität und Klimaschutz 176
7.2 Beschäftigungsanalysen der Transformation der E-Mobilität 183
8 Schlussfolgerungen und Ausblick 189
Anhang 196
Referenzen 199

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 2-1: Begrifflichkeiten und Abgrenzung der dynamischen, gesamtwirtschaftlichen Analyse 17

Abbildung 3-1: Komponenten des dynamischen, gesamtwirtschaftlichen Modells ASTRA-HBS sowie Eingangsgrößen der Szenarien (Inputs) 19

Abbildung 3-2: Konzeptionelle Übersicht des makroökonomischen Kreislaufs im ökonomischen Modell von ASTRA-HBS 21

Abbildung 3-3: Drei Haupt-Module des ökonomischen Moduls von ASTRA-HBS und Ankopplung des Verkehrssystems an die Ökonomie (blaue Ellipsen) ... 22

Abbildung 3-4: Einkommen im Rahmen der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung 27

Abbildung 3-5: Übersicht über die Importentwicklung in ASTRA-HBS 29

Abbildung 3-6: Übersicht über die Exportentwicklung in ASTRA-HBS 30

Abbildung 3-7: Übersicht des Beschäftigungsmoduls in ASTRA-HBS 36

Abbildung 3-8: Ablauf der Modellierung der Personenverkehrsnachfrage 39

Abbildung 3-9: Treiber, Modellstufen und Entscheidungsfunktionen des Pkw-Kaufmodells 43

Abbildung 3-10: Kohortenbasierte Modellierung des Pkw-Flottenmodells und Szenario-Parameter 44

Abbildung 3-11: Anteile der Segmente Mittel, Ober, Gelände und Van an Neuzulassungen in Deutschland 47

Abbildung 3-12: Preisentwicklung ausgewählter Komponenten für Mittelklasse Pkw – Vergleich Diesel mit BEV 47

Abbildung 3-13: Treiber, Modellstufen und Entscheidungsfunktionen des Pkw-Kaufmodells 49

Abbildung 4-1: Verkehrsmittelanteile der Szenarien 52

Abbildung 4-2: Varianten der Abschätzung von Investitionen in ASTRA-HBS 54

Abbildung 4-3: Methoden zur Analyse der Ergebnisse der Szenarien 56

Abbildung 4-4: Reduktion der Treibhausgasemission aus dem Personenverkehr gegenüber 2018 (links), kumulierte THG-Emission aus Personenverkehr (rechts) 72

Abbildung 4-5: Reduktion des Endenergieverbrauchs (EEV) aus dem Personenverkehr gegenüber 2018 (links), kumulierter EEV aus Personenverkehr (rechts) 72

Abbildung 5-1: Zusammenhang von Szenario-Spezifikation mit verkehrlicher und ökonomischer Modellierung 73

Abbildung 5-2: In MM-35 unterstellte Entwicklung der GFVG-Mittel (inkl. Dynamisierung) 76

Abbildung 5-3: Schema zur Kalkulation der Investitionskosten zur Errichtung von Mobilitätsstationen (ohne Betriebskosten) 79

Abbildung 5-4: Investitionshochlauf für Ladestationen in ES-35 und MM-35 82

Abbildung 5-5: Stromnachfrage und zugebaute Kapazität an EE-Anlagen im Personenverkehr in den Szenarien 83

Abbildung 5-6: Spezifische Investitionskosten für EE-Anlagen für EE-Strom im Personenverkehr 84

Abbildung 5-7: Investitionen in EE-Anlagen für EE-Strom im Personenverkehr in ES-35 und MM-35 84

Abbildung 5-8: Investitionen in den Netzausbau für E-Pkw in ES-35 und MM-35 86

Abbildung 5-9: Schema zur Kalkulation der VAF-Kosten für die Errichtung und den Betrieb von Roadside Units 90

Abbildung 5-10: Hochlaufkurven neuer Verkehrsmodi 91

Abbildung 5-11: Veränderung der Investitionen mit Fokus Personenverkehr in ES-35 gegen REF-2015 (ohne Pkw) 95

Abbildung 5-12: Kumulierte Investition in Verkehrszwecke in ES-35 (ohne Pkw) 96

Abbildung 5-13: Veränderung der Investitionen mit Fokus Personenverkehr in MM-35 gegen REF-2015 (ohne Pkw) 97

Abbildung 5-14: Kumulierte Investition in Verkehrszwecke in MM-35 (ohne Pkw) 98

Abbildung 5-15: Veränderung des BIPs durch die beiden Szenarien - gegen Referenz . 99

Abbildung 5-16: Vergleich Erwerbstätige in ASTRA-HBS und in Statistik sowie REF-Dyn bis 2035 100

Abbildung 5-17: Vergleich Bevölkerung und Arbeitskräftepotenzial in ASTRA-HBS und in der Statistik bis 2035 101

Abbildung 5-18: Veränderung der Erwerbstätigenzahl in den beiden Szenarien - gegen REF-Dyn 102

Abbildung 5-19: Veränderung der Erwerbstätigenzahl in den beiden Szenarien - gegen REF-2018 103

Abbildung 5-20: Hochlauf der Investitionen im Vergleich mit dem Niveau von 2017 104

Abbildung 5-21: Veränderung der Investitionen in den beiden Szenarien - gegen Referenz 104

Abbildung 5-22: Veränderung der Investitionen in Fahrzeuge gegenüber dem Niveau von 2018 105

Abbildung 5-23: Veränderung der Investitionen für Verkehrsinfrastruktur gegenüber dem Niveau von 2018 106

Abbildung 5-24: Veränderung der Investitionen für Verkehr gegenüber dem Niveau von 2018 106

Abbildung 5-25: Veränderung der Investitionen in Energieinfrastruktur für Verkehr gegenüber dem Niveau von 2018 107

Abbildung 5-26: Veränderung des Konsums der privaten Haushalten gegenüber der Referenz 108

Abbildung 5-27: Veränderung der gesamten Konsumausgaben gegenüber dem Niveau von 2018 109

Abbildung 5-28: Veränderung der Konsumausgaben für Energie im Verkehr gegenüber dem Niveau von 2018 109

Abbildung 5-29: Veränderung der Konsumausgaben für Verkehr gegenüber dem Niveau von 2018 110

Abbildung 5-30: Veränderung der Konsumausgaben für Verkehrsdienstleistungen gegenüber dem Niveau von 2018 111

Abbildung 5-31: Verteilung der Konsum- und Investitionsnachfrage auf Sektor „Sonstige Dienstleistungen“ und Hauptsektoren – REF-Dyn 112

Abbildung 5-32: Veränderung der letzten Verwendung von Gütern in den Hauptsektoren – ES-35 gegen REF-2015 113

Abbildung 5-33: Veränderung der letzten Verwendung von Gütern in den Hauptsektoren – MM-35 gegen REF-2015 113

Abbildung 5-34: Veränderung des Produktionswertes in den Hauptsektoren – ES-35 gegen REF-2015 114

Abbildung 5-35: Veränderung des Produktionswertes in den Hauptsektoren – MM-35 gegen REF-2015 114

Abbildung 5-36: Veränderung der Umsätze der deutschen Automobilindustrie gegenüber 2018 nach Märkten 116

Abbildung 5-37: Veränderung der Umsätze der deutschen Automobilindustrie nach Fahrzeugkomponenten in ES-35 gegen REF-2018 116

Abbildung 5-38: Veränderung der Umsätze der deutschen Automobilindustrie nach Fahrzeugkomponenten in MM-35 gegen REF-2018 117

Abbildung 5-39: Entwicklung der Erwerbstätigenzahl in den Hauptsektoren in ES-35 .. 120

Abbildung 5-40: Veränderung der Erwerbstätigenzahl in den Hauptsektoren in ES-35 im Vergleich zum Niveau in 2015 (REF-2015) 121

Abbildung 5-41: Entwicklung der Erwerbstätigenzahl in den Hauptsektoren in MM-35 . 121

Abbildung 5-42: Veränderung der Erwerbstätigenzahl in den Hauptsektoren in MM-35 im Vergleich zum Niveau in 2015 (REF-2015) 122

Abbildung 5-43: Veränderung der Erwerbstätigenzahl im Bausektor in den beiden Szenarien - gegen REF-2015 123

Abbildung 5-44: Veränderung der Erwerbstätigenzahl im Sektor Elektrik (inkl. Batterien) in den beiden Szenarien - gegen REF-2015 124

Abbildung 5-45: Veränderung der Erwerbstätigenzahl im Elektroniksektor (inkl. FAS) in den beiden Szenarien - gegen REF-2015 124

Abbildung 5-46: Veränderung der Erwerbstätigenzahl im Sektor Kraftwagenbau in den beiden Szenarien - gegen REF-2015 125

Abbildung 5-47: Veränderung der Erwerbstätigenzahl im Sektor Sonstige Fahrzeuge in den beiden Szenarien - gegen REF-2015 126

Abbildung 5-48: Veränderung der Erwerbstätigenzahl im Landverkehr in den beiden Szenarien - gegen REF-2015 127

Abbildung 5-49: Veränderung der Erwerbstätigenzahl in den Sektoren mit direktem Verkehrsbezug - gegen REF-2018 128

Abbildung 5-50: Veränderung der Beschäftigung in der Pkw-Herstellung aus Komponentenmodell - gegen REF-2018 130

Abbildung 5-51: Veränderung der Beschäftigung in der deutschen Automobilindustrie nach Fahrzeugkomponenten in ES-35 gegen REF-2018 131

Abbildung 5-52: Veränderung der Beschäftigung in der deutschen Automobilindustrie nach Fahrzeugkomponenten in MM-35 gegen REF-2018 132

Abbildung 5-53: Veränderung der Erwerbstätigenzahl in den Mobilitätsdienstleistungen – ES-35 gegen REF-2015 133

Abbildung 5-54: Veränderung der Erwerbstätigenzahl in den Mobilitätsdienstleistungen – MM-35 gegen REF-2015 134

Abbildung 5-55: Entwicklung der staatlichen Einnahmen abzgl. Transfers gegen 2018 136

Abbildung 5-56: Entwicklung der indirekten Steuern und Abgaben inklusive der Verkehrssteuern und -abgaben gegen 2018 136

Abbildung 5-57: Entwicklung der staatlichen Steuer- und Gebühreneinnahmen aus dem Verkehrssektor gegen 2018 137

Abbildung 5-58: Entwicklung wichtiger Kategorien der Verkehrssteuern mit sinkenden Einnahmen gegen REF-2018 138

Abbildung 5-59: Entwicklung der MwSt.-Einnahmen aus dem Verkehrssektor gegen 2018 139

Abbildung 5-60: Entwicklung der Einnahmen aus der CO_2-Bepreisung (Pkw) 140

Abbildung 5-61: Entwicklung der Einnahmen aus der Pkw-Maut 141

Abbildung 5-62: Entwicklung wichtiger Indikatoren aus der Sensitivitätsrechnung in ES-35 142

Abbildung 5-63: Sensitivitätsrechnung für BIP und Gesamtbeschäftigung - in ES-35 gegen REF-2015 144

Abbildung 5-64: Sensitivitätsrechnung für die sektorale Beschäftigung ausgewählter Sektoren - in ES-35 gegen REF-2015 146

Abbildung 5-65: Veränderung der jährlichen Investitionen für Personenverkehr in den Szenarien gegen REF-2015 (ohne Pkw) 149

Abbildung 5-66: Veränderung der kumulierten Investitionen für Personenverkehr in den Szenarien gegen REF-2015 (ohne Pkw) 150

Abbildung 5-67: Veränderung von BIP und Zahl der Erwerbstätigen (VZÄ) in den Szenarien gegen 2018 151

Abbildung 5-68: Veränderung des Konsums insgesamt und für den Verkehr in den Szenarien gegen 2018 153

Abbildung 5-69: Veränderung der Konsumausgaben für Verkehrsdienstleistungen und Pkw-Versicherungen in den Szenarien gegen 2018 154

Abbildung 5-70: Veränderung der Staatseinnahmen aus Verkehr in den Szenarien gegen 2018 155

Abbildung 5-71: Entwicklung der Einnahmen aus der CO_2-Bepreisung 156

Abbildung 5-72: Veränderung der Beschäftigung in den Hauptsektoren in beiden Szenarien gegen 2018 158

Abbildung 8-73: Veränderung der Erwerbstätigen in Sektoren mit Verkehrsbezug in ES-35 gegen REF-2018 191

Abbildung 8-74: Veränderung der Erwerbstätigen in Sektoren mit Verkehrsbezug in MM-35 gegen REF-2018 192

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Übersicht über Sektoren, die Investitionsgüter und -dienstleistungen produzieren und nachfragen 32

Tabelle 2: Eckwerte der beiden Szenarien nachhaltiger Mobilität 51

Tabelle 3: Bedarf an Ladestationen und Kosten in ES-35 und in MM-35 81

Tabelle 4: Verteilung der Investitionen in EE-Anlagen auf verschiedene Sektoren 85

Tabelle 5: Zusammenfassung der prozentualen Abweichungen von ES-35 in 2035 durch die Sensitivitätsrechnungen 147

Tabelle 6: Investitionsprogramm für Personenverkehr 2019 bis 2035 nach Bereichen 148

Tabelle 7: Gesamtbeschäftigungs-Shift in den Szenarien gegenüber dem Niveau von 2015 159

Tabelle 8: Änderung der Beschäftigung nach Pkw-Komponente im Bottom-up Modell gegenüber dem Niveau von 2015 (REF-2015) 161

Tabelle 9: Änderung der Erwerbstätigkeit in Mobilitätsdienstleistungen im Bottom-up Modell gegenüber dem Niveau von 2015 (REF-2015) 162

Tabelle 10: Ergebnis der fünf Sensitivitätsrechnungen im Vergleich mit ES-35 164

Tabelle 11: Übersicht der Studienergebnisse zu gesamtwirtschaftlichen Wirkungen von Klimaschutz, teils mit Fokus auf Mobilität 182

Tabelle 12: Übersicht der Studienergebnisse zu Wirkung der E-Mobilität auf Erwerbstätigkeit im Automobilbereich 187

Tabelle 13: Sektoren der sektoral disaggregierten Module in ASTRA-HBS 197

Tabelle 14: Zu Hauptsektoren zusammengefasste Sektoren für Darstellung der Ergebnisse aus ASTRA-HBS 198

Verzeichnis der Abkürzungen

AP	Arbeitspaket
AST	Antriebsstrang (Pkw-Komponente)
ASTRA	Assessment of Transport Strategies, Modell
BDI	Bundesverband der deutschen Industrie
BEV	Battery electric vehicle
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BM	Bonus-Malus System zur Steuerung der Pkw-Käufe
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BTM	Bundesverband Taxi und Mietwagen e.V.
BVWP	Bundesverkehrswegeplan
BWS	Bruttowertschöpfung
DB	Deutsche Bahn
EE	Erneuerbare Energien
EE-Strom	Strom erzeugt aus Erneuerbaren Energien
EEV	Endenergieverbrauch
ELE	Elektronik ohne Fahrerassistenzsysteme (Pkw-Komponente)
EMO	Elektrische Antriebe & Aggregate (Pkw-Komponente)
ES-35	Szenario ES-2035
ESVG	Europäisches System Volkswirtschaftlicher Gesamtrechnungen
ETCS	European Train Control System
EW	Einwohner
EWT	Erwerbstätige
EXT	Exterieur (Pkw-Komponente)
F&E	Forschung und Entwicklung
FAS	Fahrerassistenzsysteme (Pkw-Komponente)
FWK	Fahrwerk (Pkw-Komponente)
Fz-km	Fahrzeugkilometer
GFZ	Integration der Komponenten in das Gesamtfahrzeug / Fahrzeug-montage (Pkw-Komponente)
GHD	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
GVFG	Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz
H2-BZ	Wasserstoffbrennstoffzellen Pkw
HBS-NM	Die vorliegende Studie zu Nachhaltiger Mobilität im Auftrag der Hans-Böckler-Stiftung
ICE	Verbrennungsmotor & Aggregate (Pkw-Komponente)

ILO	Internationale Arbeitsorganisation
INT	Interieur (Pkw-Komponente)
KAR	Karosserie (Pkw-Komponente)
KBA	Kraftfahrtbundesamt
Mio.	Millionen
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MM-35	Szenario Multi-Modalität-2035
Mrd.	Milliarden
NPE	Nationale Plattform Elektromobilität
NPM	Nationale Plattform Zukunft der Mobilität
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖV	Öffentlicher Personenverkehr
PBefG	Personenbeförderungsgesetz
PHEV	Plug-in hybrid electric vehicle
Pkm	Personenkilometer
REF-2015	Szenario Referenz – Bezugszeitpunkt 2015
REF-2018	Vergleich eines Szenarios mit dem Niveau von 2018
RegG	Regionalisierungsgesetz
RSU	Roadside Unit
SAE	Society of Automotive Engineers (SAE-Level, Norm für Straßenfahrzeuge mit Systemen zum autonomen Fahren)
SNA	System of National Accounts (siehe auch VGR)
StVO	Straßenverkehrsordnung
TCO	Total cost of ownership - Gesamtbetriebskosten
TFP	Total factor productivity - Gesamtfaktorproduktivität
THG	Treibhausgas-Emission
Tkm	Tonnenkilometer
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change – UN Klimarahmenkonvention
VAF	Vernetztes und automatisiertes Fahren
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen
Verdi	Vereinte Dienstleistungsgewerkschaft
VGR	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung (siehe auch SNA)
VZÄ	Vollzeit-Äquivalente
WLAN	Wireless Local Area Network

1 Einleitung

In diesem Arbeitspaket untersuchte M-Five im Auftrag der Hans-Böckler-Stiftung die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen einer Transformation zu nachhaltiger Mobilität in Deutschland bis zum Jahre 2035.

Ziel des durch M-Five und das Fraunhofer ISI bearbeiteten Gesamtvorhabens war die Analyse der Beschäftigungseffekte nachhaltiger Mobilität in Deutschland bis 2035. Im Kern steht dabei die Quantifizierung der Beschäftigungseffekte in disaggregierter Form, d.h. (1) in regionaler Auflösung, (2) nach Wirtschaftszweigen und (3) zugeordnet zu verschiedenen Verkehrsträgern sowie verbundenen Industrien wie der IT-Branche. Dabei kam ein Methoden-Mix zur Anwendung. Neben der in diesem Bericht vorgestellten gesamtwirtschaftlichen Analyse waren dies eine regionale Analyse auf Ebene der 402 Kreise Deutschlands (AP3) und eine tief disaggregierte sektorale Analyse mit einem Input-Output-Modell (AP4).

Das Gesamtvorhaben ist in sieben Arbeitspakete unterteilt. In Arbeitspaket 1 (AP1) wurden die der Analyse zugrunde liegenden Szenarien wie folgt definiert:

- Szenario Referenz für 2015 (**REF-2015)**: verkehrliches und ökonomisches Mengengerüst für Deutschland im Jahr 2015 (Beschreibung des Status quo).
- Szenario **Multi-Modalität-2035** (**MM-35**): Multi-Modalität mit Bahn im Fern- und Regionalverkehr intermodal und flexibel kombiniert mit dem Fahrrad entwickelt sich zum dominanten Verkehrsverhalten. Die Schiene verdreifacht ihre Verkehrsleistung.
- Szenario **E-Straße-2035** (**ES-35**): deutliche Stärkung des Umweltverbundes und massive Elektrifizierung des Straßenverkehrs, wodurch dieser bei zentralen Handlungsfeldern (Klima, Luftbelastung, Lärm) ebenfalls nachhaltig wird, aber seine dominante Rolle als Verkehrsmittel behält. Im ÖPNV nimmt der Busverkehr eine deutlich stärkere Rolle ein als heute bzw. als in MM-35.

Inhalt des Arbeitspakets 2 (AP2) war die Beschreibung und Quantifizierung der Beschäftigung und Wertschöpfung durch Mobilität in Deutschland heute beziehungsweise im Jahr 2015 (Status quo).

Arbeitspaket 3 (AP3) lieferte eine erste Quantifizierung der für Mobilität und Beschäftigung relevanten Rahmendaten in den Szenarien E-Straße 2035 (ES-35) und Multi-Modalität 2035 (MM-35) sowie eine Aussage zur Beschäftigungswirkung bis 2035 mit Fokus auf die regionale Verteilung der Beschäftigung auf die 402 Kreise Deutschlands.

Im Arbeitspaket 4 (AP4) wurde mit einem auf 92 Sektoren erweiterten Input-Output Modell und damit einem tief disaggregierten sektoralen Ansatz die sektorale Verschiebung der Beschäftigung zwischen Wirtschaftssektoren quantifiziert und analysiert.

Die beiden in AP3 und AP4 angewandten Methoden liefern Ergebnisse zu den Beschäftigungswirkungen für das Jahr 2035, d.h. ausgehend von REF-2015 für einen

Zeithorizont von 20 Jahren. Teilweise wurde das Jahr 2025 als Stützjahr ebenfalls quantifiziert.

In diesem Bericht des Arbeitspaketes 5 (AP5) liegt der Fokus der Analyse auf den gesamtwirtschaftlichen Wirkungen nachhaltiger Mobilität in der dynamischen Betrachtung der Pfadentwicklung von 2019 bis 2035. Im Gegensatz zu den regionalen und sektoralen Analysen (AP3 und AP4) wird hier der gesamte Entwicklungspfad von 2019 bis 2035 modelliert und quantifiziert. Damit gelingt es auch Pfadabhängigkeiten aufzuzeigen. Der Kenntnisstand der Arbeiten zu AP5 endet im vierten Quartal 2019.

In den beiden abschließenden Arbeitspaketen 6 und 7 erfolgt eine Synthese der Ergebnisse der drei verschiedenen genutzten Methoden zur Quantifizierung der Beschäftigungswirkungen (AP6). Davon ausgehend sind industrie- und arbeitsmarktpolitische Empfehlungen für Politik und Wirtschaft entwickelt worden (AP7). Diese sind in unserem Arbeitspapier *Synthese und Handlungsempfehlungen zu Beschäftigungseffekten nachhaltiger Mobilität* (M-Five/ ISI 2020) veröffentlicht.

2 Die gesamtwirtschaftliche Analyse

Gesamtwirtschaftliche Analysen verfolgen das Ziel, die indirekten, ökonomischen Effekte einer Politik, eines Politikprogramms, eines Szenarios oder einer Strategie auf die gesamte Volkswirtschaft abzubilden bzw. zu erfassen (siehe Abbildung 2-1). In der Abgrenzung zu mesoökonomischen Analysen, die auf die Erfassung sektoraler meist nur statisch betrachteter Wirkungen hinzielen, können sie auch als makroökonomische Analysen bezeichnet werden.

Im Allgemeinen erfordert die makroökonomische Analyse den Einsatz eines vollständigen mathematischen Modells einer Volkswirtschaft oder mehrerer durch Handel und ggf. weitere Austauschbeziehungen (z.B. Verkehrsflüsse, Migration von Arbeitskräften) miteinander verflochtener Volkswirtschaften. Ziel des mathematischen Modells ist die Berechnung von:

- Nettoeffekten und
- dynamischen Effekten.

Der **Nettoeffekt** kann verstanden werden als der Saldo aus den positiven ökonomischen Effekten in Gewinnerbranchen und den negativen Effekten in Verliererbranchen. Studien zur Ermittlung der Bruttoeffekte untersuchen häufig nur die direkt betroffenen Sektoren und damit die Gewinnerbranchen (beispielsweise in den 2000er Jahren die Ermittlung der Beschäftigungswirkung der erneuerbaren Energien). Typischerweise werden als (sektorale) Nettoeffekte - sowohl in statischen mesoökonomischen Analyse unter Einschluss der Betrachtung der induzierten Effekte als auch in makroökonomischen Analysen - die Ergebnisse in Form von veränderten Produktionswerten, Wertschöpfung oder Beschäftigten ausgewiesen.

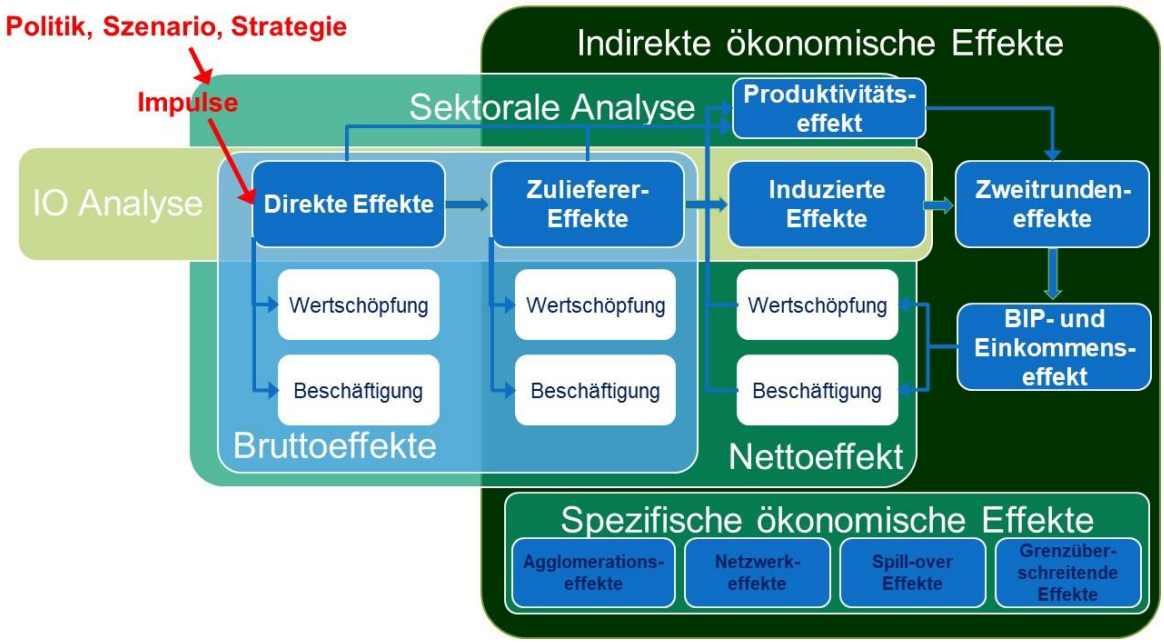
Neben der gezielten Ermittlung der Nettoeffekte sollen die **dynamischen, gesamtwirtschaftlichen Wirkungen** berücksichtigt und in der makroökonomischen Analyse abgeschätzt werden. Ein dynamischer Effekt ist zu verstehen als Wirkung z.B. eines Politik-Impulses im Jahr zwei oder in späteren Jahren nach Einführung einer Politik. Im Jahr der Politikeinführung (Jahr eins) werden direkte Effekte ausgelöst in Sektoren, die direkt von der Politik adressiert werden. Ebenfalls in Jahr 1 werden indirekte Effekte bei Zulieferern (Zulieferer-Effekte) ausgelöst und es können in sektoralen Analysen bereits induzierte Effekte verursacht werden, wenn das verfügbare Einkommen einer Volkswirtschaft durch den Impuls und die anschließende Wirkungskette im Jahr eins verringert oder erhöht wird. Die dynamische Analyse berücksichtigt nun für Jahr 2 (und folgende), dass die Volkswirtschaft auf ein anderes Niveau gehoben wurde (höher oder niedriger) und führt über sogenannte Zweitrundeneffekte, ausgelöst durch zum Ende von Jahr 1 verändertes BIP oder Einkommen, zu weiteren sektoralen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten im Jahr 2 (und folgenden Jahren, d.h. es könnte dann auch Dritt- und Viertrundeneffekte usw. geben). Die erste Kategorie von Nettoeffekten im Jahr eins kann in statischen mesoökonomischen Analysen ebenfalls berücksichtigt werden, während die zweite Kategorie, verursacht durch dynamische Zweitrundeneffekte, nur in den dynamischen, gesamtwirtschaftlichen Analysen Berücksichtigung findet.

Neben den Zweitrundeneffekten durch verändertes Einkommen in Folgejahren können die dynamischen, gesamtwirtschaftlichen Analysen über Investitions- und Produktivitätseffekte (auch als Spill-over Effekte bezeichnet) zu weiteren indirekten Effekten führen.

Dadurch unterscheiden sie sich von den sektoralen, mesoökonomischen Analysen, die nur statische Effekte abbilden, d.h. ohne die beschriebene Wachstums- oder Kontraktionswirkung einer Maßnahme auf das BIP, Einkommen oder die Produktivität.

Abbildung 2-1 verdeutlicht die beschriebenen Begrifflichkeiten. Ausgehend von einer Politik, einem Szenario oder einer Strategie wird ein ökonomischer Impuls ausgelöst. Dieser führt über den Wirkungspfad von direkten und Zulieferer-Effekten[1] zu induzierten Effekten im Jahr eins und über die Zweitrundeneffekte zu indirekten, sektoralen Effekten in den Folgejahren (Jahre 2+).

Abbildung 2-1: Begrifflichkeiten und Abgrenzung der dynamischen, gesamtwirtschaftlichen Analyse



Quelle: M-Five, eigene Darstellung in Anlehnung an Schade et al. 2018

Dynamische, gesamtwirtschaftliche Analysen entfalten ihre Stärken besonders in Analysen von mittel- und langfristig angelegten Szenarien, Strategien oder Politikprogrammen, die zu einem deutlichen Strukturwandel und damit umfangreichen indirekten, ökonomischen Effekten führen können. Der Ansatz der integrierten Modellierung für den Verkehrssektor und die Ökonomie mit einem System Dynamics Modell wird hier als geeignet gesehen (siehe Rothengatter 2017).

1 Wir haben hier den Begriff der *Zulieferer-Effekte* genutzt, da dies bei beteiligten Akteuren geläufig ist. In der ökonomischen Literatur werden diese als „*indirekte Effekte*“ bezeichnet.

3 ASTRA-HBS Modellierung – die Methodik

Die dynamische, gesamtwirtschaftliche Analyse erfolgt mit dem Modell ASTRA-HBS, welches die System Dynamics Methode nutzt und für dieses Projekt aus Vorgängermodellen der europäischen und deutschen ASTRA-Projektfamilie (ASTRA-D in Schade et al. 2005, ASTRA-EC in Fermi et al. 2014, ISI et al. 2017) als erweiterte deutsche ASTRA-Version fortentwickelt und als ASTRA-HBS ausdifferenziert wurde. Die ASTRA Modellfamilie lässt sich auch als Prognose- und Simulationsmodell einordnen.

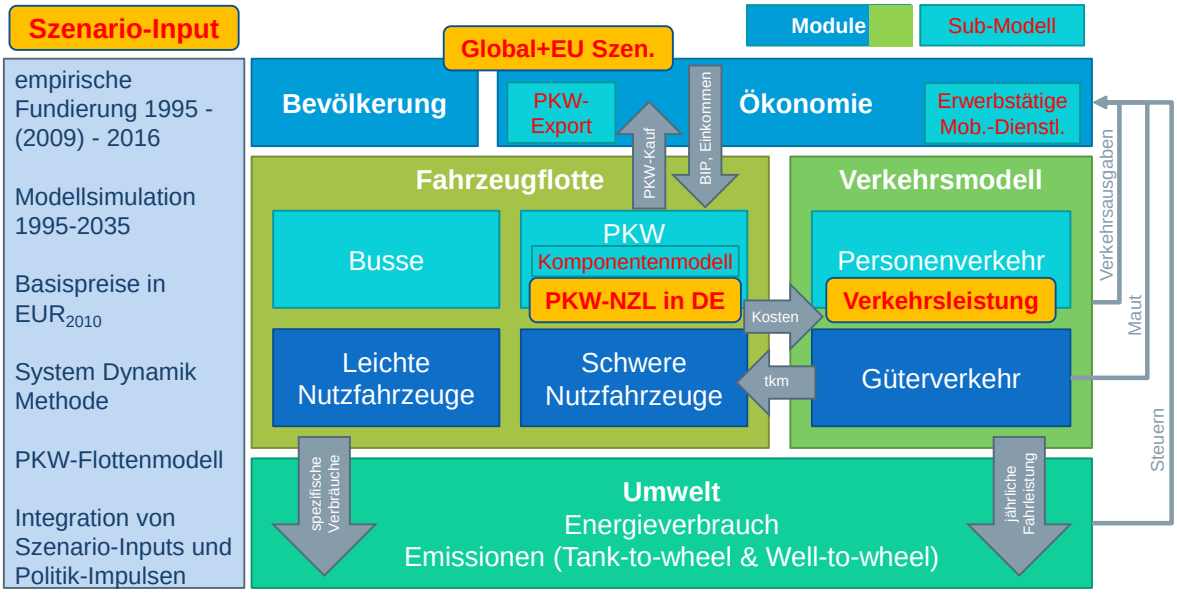
Das ASTRA-Modell wurde ursprünglich für die integrative Analyse der europäischen Verkehrspolitik entwickelt. In zahlreichen europäischen und nationalen Anwendungen wurde es seither aber auch für andere ökonomische Fragestellungen der nachhaltigen Entwicklung und des Klimaschutzes angewendet. Dazu gehören z.B. sektorübergreifende Analysen der europäischen Klimaschutzstrategie für den Kopenhagener Klimaschutzgipfel in 2009 (Schade et al. 2009a), die Bewertung der Beschäftigungswirkung der europäischen Energiepolitik zur Förderung von erneuerbaren Energien (Ragwitz et al. 2009, Duscha et al. 2016) oder die makroökonomische Bewertung von Energieeffizienzpolitiken in Deutschland (Schade et al. 2009b, Braungardt et al. 2015).

Abbildung 3-1 gibt einen Überblick über die **Komponenten** von ASTRA-HBS, die in blau und grün dargestellt sind. Neben dem makroökonomischen Modell sind alterskohortenbasierte und technologiedifferenzierte Fahrzeugflotten der Pkw, Busse und Nutzfahrzeuge modelliert sowie die multimodale Verkehrsnachfrage und die korrespondierende Fahrleistung im Personen- und Güterverkehr. Die Ergebnisse der Flotten- und Fahrleistungsmodelle liefern die Eingangsgrößen für die Umweltmodellierung. Außerdem werden aus den Flotten- und Verkehrsmodellen Ergebnisvariablen an die ökonomische Modellierung zurückübergeben, wie z.B. die staatlichen Einnahmen aus dem Verkehrssystem (z.B. Maut, Steuern) und die Ausgaben für Verkehr der Haushalte[2] und der Unternehmen. Die Darstellung soll einen Überblick über die Zusammenhänge im Modell liefern. Tiefergehende Details sind in den folgenden Abschnitten erläutert.

Die **Szenario-Spezifikation** (in den gelben Kästchen) beeinflusst unterschiedliche Modell-Komponenten, wie z.B. die Neuzulassungen von Pkw im Zeitraum 2019 bis 2035, die durch die Festlegung der Pkw-Besitzrate als Teil der Szenarien definiert wurde, oder die modale Verkehrsnachfrage, die durch die Anteile der einzelnen Verkehrsmittel ebenfalls als Bestandteil der Szenarien spezifiziert wurde.

2 In diesem Arbeitspapier bezeichnet der Begriff *Haushalte* die privaten Haushalte. Wenn nicht die privaten Haushalte gemeint sind, sondern der Staat, wird der Begriff staatliche Haushalte bzw. Staatshaushalt verwendet.

Abbildung 3-1: Komponenten des dynamischen, gesamtwirtschaftlichen Modells ASTRA-HBS sowie Eingangsgrößen der Szenarien (Inputs)



Quelle: M-Five, eigene Darstellung

Die Modellierung von nachhaltiger Mobilität im ASTRA-HBS-Modell führt zu direkten **ökonomischen Impulsen** (1) innerhalb des Verkehrsmodells, (2) innerhalb des Flottenmodells, und (3) im ökonomischen Modell.

Im **Verkehrsmodell** ändern sich z.B. die Verkehrskosten und beeinflussen so die Wahlentscheidungen für Ziele und Verkehrsmittel. Bei Kostenerhöhungen motorisierter Verkehrsmittel werden nähere Ziele und kürzere Distanzen mit effizienteren oder nicht-motorisierten Verkehrsmitteln bevorzugt. Diese Änderung kann entweder als Ergebnis der Szenario-Definition im Modell eingeführt (exogen), oder direkt mit Instrumenten hinterlegt werden (z.B. einer Erhöhung der Mineralölsteuern, der Einführung einer CO_2-Bepreisung etc.), die den gewünschten Wandel zu nachhaltiger Mobilität triggern (modell-endogen).

In den **Flottenmodellen** führen Kostenänderungen oder Regulierungen (z.B. CO_2-Standards) für den Zeitraum 2019 bis 2035 ebenfalls zu geändertem Kaufverhalten und anderen Neuzulassungen an Pkw (oder anderen Straßenfahrzeugen). Beispielsweise können als Reaktion auf politische Instrumente oder Setzungen in den Szenarien (z.B. Batteriepreisentwicklung) kleinere Pkw gekauft, insgesamt weniger Pkw oder mehr Pkw mit alternativen Antrieben zugelassen werden. Auch hier kann dies durch die Szenario-Definition gegeben sein (exogen), oder über Instrumente (z.B. Bonus-Malus-Systeme beim Neuwagenkauf, Förderung multimodaler Mobilität und Car-sharing, etc.) induziert werden (modell-endogen).

Im makroökonomischen Modell wirken die Impulse aus den Verkehrs- und Flottenmodellen direkt und indirekt. Durch Anpassung der Mineralölsteuersätze ändern sich die Steuereinnahmen und die Haushalte verfügen über ein geringeres oder größeres Budget für den übrigen Konsum. Hinzu kommen Änderungen bei der Verteilung der Verkehrsausgaben. Ändert sich die Modalwahl, nimmt der Pkw-Anteil ab und der ÖPNV und

die Fahrradnutzung gewinnen, so dass mehr Konsumausgaben auf diese Verkehrsmittel entfallen.

In vielen Fällen hat der Wandel zu nachhaltiger Mobilität eine Neujustierung der **Investitionen** als Voraussetzung. Diese Investitionspfade können ebenfalls für den Zeitraum 2019 bis 2035 in Abhängigkeit von bzw. passend zum Szenario definiert werden. Beispiele sind die Investitionen in die ÖPNV-Infrastruktur, die Ladeinfrastruktur für E-Pkw oder die Errichtung multimodaler Hubs. Teilweise kann hierfür auf endogene Berechnungen in ASTRA-HBS zurückgegriffen werden. Z.B. führen die gewerblichen Pkw-Neuzulassungen zu den entsprechenden Pkw-Investitionen oder die E-Pkw-Neuzulassungen triggern den Hochlaufpfad der Installation von Ladeinfrastruktur für Pkw. In anderen Fällen wird auf Abschätzung aus anderen Studien zurückgegriffen oder beide Ansätze werden kombiniert.

Der Vorteil der Nutzung von ASTRA-HBS für die Abschätzung der Effekte der Transformation zu nachhaltiger Mobilität wird deutlich: sehr viele Facetten der neuen, nachhaltigen Mobilität können mit dem Modell integrativ abgebildet werden und liefern in einer systemischen Modellierung auch Aussagen zu den ökonomischen Effekten inklusive der Veränderung der Beschäftigung.

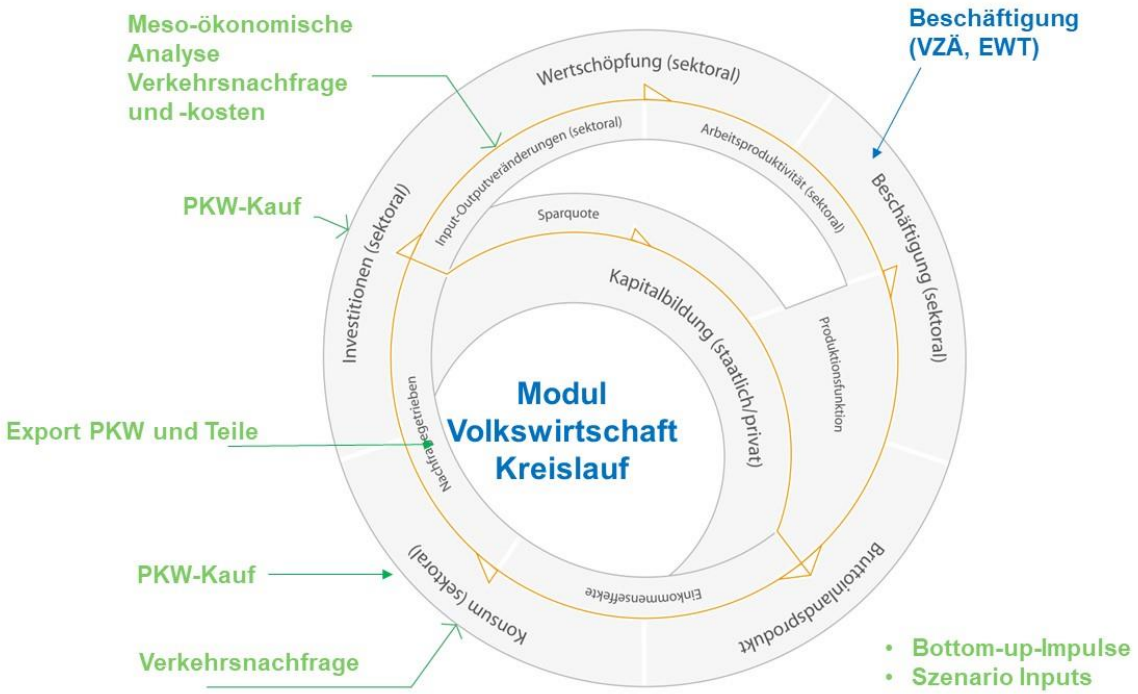
3.1 Module des makroökonomischen Modells

Das gesamtwirtschaftliche Modell von ASTRA-HBS liefert den nationalen makroökonomischen Rahmen. Die Modellierung basiert dabei auf verschiedenen ökonomischen Theorien und greift auf Elemente der keynesianischen Nachfragetheorie, auf die neoklassische Produktionsfunktion sowie auf funktionelle Zusammenhänge der endogenen Wachstumstheorie zurück. Die verschiedenen Konzepte werden zu einem möglichst konsistenten Bild des Wirtschaftskreislaufes zusammengeführt, ggf. unter Berücksichtigung von zeitlichen Verzögerungen bei Abhängigkeiten zwischen zwei Variablen. Aufgrund der Implementierung mit Hilfe von System Dynamics wird die in vielen anderen makroökonomischen Modellen typische Gleichgewichtsannahme nicht erhoben (Schade 2005, Hartwig et al. 2012).

In Abbildung 3-2 wird ein konzeptioneller Überblick über die Komponenten des makroökonomischen Modells gegeben. Konsum, Investitionen und Exporte bilden die Treiber der Wertschöpfung aus der wiederum die sektorale Beschäftigung für die 57 betrachteten Sektoren[3] abgeleitet werden kann. In grün ist die Einführung möglicher Impulse aus den Szenarien bzw. von politischen Instrumenten in den ökonomischen Kontext dargestellt.

3 Die erste deutsche ASTRA-Version aus 2010/11 nutzte die WZ-2003 Klassifikation, verzichtet aber auf zwei Sektoren ohne Bedeutung (deswegen 57 statt 59 Sektoren). In diesem Projekt wurden die sektoralen Daten aktualisiert und dafür Daten in der WZ-2008 Klassifikation genutzt, da die sektoralen Daten des Statistischen Bundesamtes mittlerweile in dieser Klassifikation angeboten werden. Die angewendete sektorale Klassifikation findet sich in Tabelle 13 im Anhang.

Abbildung 3-2: Konzeptionelle Übersicht des makroökonomischen Kreislaufs im ökonomischen Modell von ASTRA-HBS

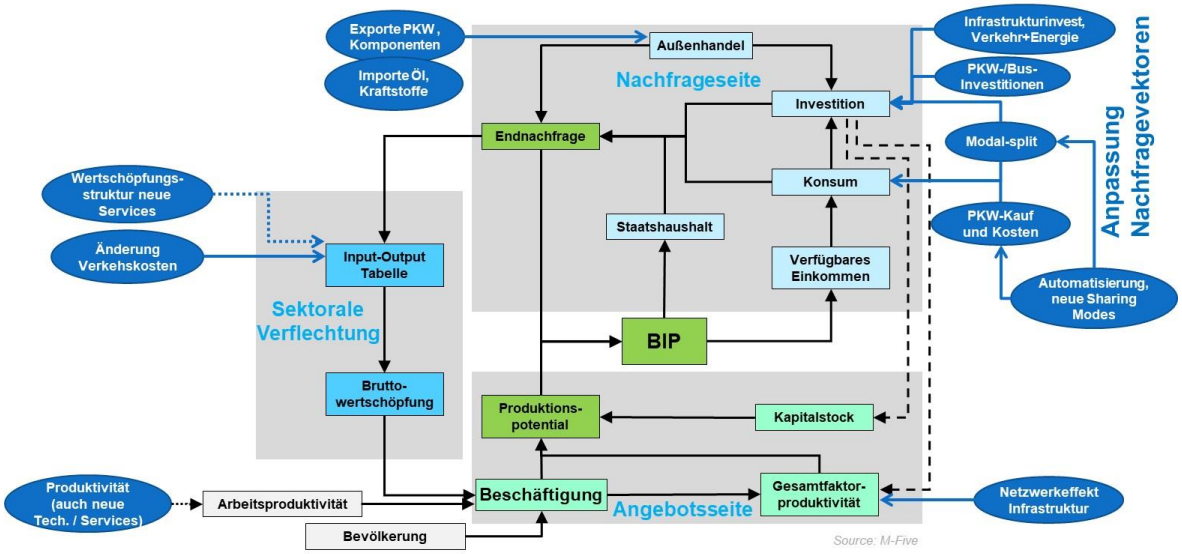


Quelle: M-Five, Darstellung in Anlehnung an Hartwig et al. 2012

Zur Berechnung des Bruttoinlandsproduktes (BIP) werden Angebots- und Nachfrageseite zusammengeführt und ausgeglichen (siehe auch Abbildung 3-3). Die Nachfrageseite beinhaltet die vier Hauptkomponenten der Endnachfrage: privater Konsum, staatlicher Konsum, Investitionen sowie den Außenhandelsbeitrag. Die Berechnung des angebotsseitigen BIPs erfolgt mittels der Produktionsfunktion über die beiden Produktionsfaktoren Kapital und Arbeit (tatsächliche Beschäftigung und Arbeitskräftepotential) sowie den Einfluss des technologischen Fortschritts, der als Gesamtfaktorproduktivität (TFP) endogen modelliert wird. Die endogenisierte Gesamtfaktorproduktivität hängt von Investitionen, dem Netzwerkeffekt von veränderten Transportzeiten im Güterverkehr und Änderungen der sektoralen Arbeitsproduktivität ab. Ausgehend vom BIP wird das verfügbare Einkommen der Haushalte berechnet, dessen Höhe wiederum den Konsum (die Nachfrage der Haushalte) beeinflusst. Über den Kapitalstock und die Gesamtfaktorproduktivität (TFP) einer Volkswirtschaft führt eine Zunahme von Investitionen zu einem steigenden Produktionspotenzial und einem steigenden BIP, Einkommen und Konsum. Ein Anstieg im Konsum regt wiederum die Nachfrage nach Investitionsgütern an, um den neuen Konsum zu befriedigen (Schade 2005, Hartwig et al., 2012). Diese Rückkopplungseffekte zwischen BIP, Einkommen, Konsum und Investitionen sind ein wesentliches Merkmal von ASTRA und ermöglichen die Modellierung indirekter Auswirkungen, die sich aus der Umsetzung von politischen Maßnahmen und Instrumenten ergeben (Braungardt et al., 2015).

Die blauen Ovale in Abbildung 3-3 bilden die Ankopplung an das Verkehrssystem ab. Sie stellen gleichzeitig auch die durch die untersuchten Strategien bzw. Politikprogramme ausgelösten Impulse aus Abbildung 2-1 dar.

Abbildung 3-3: Drei Haupt-Module des ökonomischen Moduls von ASTRA-HBS und Ankopplung des Verkehrssystems an die Ökonomie (blaue Ellipsen)



Quelle: M-Five, eigene Darstellung

Darüber hinaus werden in ASTRA Wirkungsketten berücksichtigt, die sowohl zu Wachstum als auch zu Kontraktion der Wirtschaft führen können. Politische Maßnahmen setzen an einer Größe an und müssen auf der entsprechenden Seite gegenbilanziert sein. Mehrinvestitionen in einem Sektor werden entweder durch Minderinvestitionen in anderen Sektoren, durch Erhöhung von Kosten für den Nutzer zur Finanzierung der Investition, durch Erhöhung von staatlichen Abgaben und Steuern oder mittels Vergrößerung des Staatsdefizits finanziert. Dabei können kreditfinanzierte staatliche Maßnahmen aufgrund eines dadurch gesteigerten allgemeinen Zinsniveaus private Investitionstätigkeiten verdrängen („crowding out“). Unterschiedliche Wachstumsraten zwischen der Angebotsseite (Produktionspotenzial) und der Nachfrageseite (Endnachfrage) einer Volkswirtschaft verändern die Kapazitätsauslastung und beeinflussen Investitionsentscheidungen. Wenn die Nachfrage langsamer wächst als das Angebot, sinkt die Auslastung, was wiederum Investitionsentscheidungen negativ beeinflusst. Dies ist in ASTRA-HBS über die Berücksichtigung des Verhältnisses zwischen Produktionspotential und Endnachfrage realisiert.

Ein weiterer zentraler Bestandteil sind die Input-Output-Tabellen für die verschiedenen Wirtschaftssektoren auf Basis der Wirtschaftszweigklassifikation des Statistischen Bundesamtes (2003). Die Input-Output-Rechnung spiegelt die Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen Wirtschaftssektoren wieder. Über die Input-Output-Veränderungen wirken sich Investitionen und andere Bestandteile der Endnachfrage auf die Wertschöpfung aus. Die Bruttowertschöpfung dient zusammen mit der sektoralen Arbeitsproduktivität als zentraler Treiber für die Beschäftigung. Die Beschäftigung wird differenziert in Erwerbstätige mit vollzeitäquivalenter Beschäftigung und Gesamtbeschäftigung als Kopfzahl der Erwerbstätigen angegeben. Dies trägt der wachsenden Bedeutung von Teilzeitbeschäftigung Rechnung (Schade und Krail, 2006).

Zu beachten ist, dass das makroökonomische Modell keine Preisentwicklung abbildet. Daher basieren alle Geldwerte auf dem Realwert und werden in konstanten Preisen des Jahres 2010 ausgedrückt.

3.1.1 Bruttoinlandsprodukt aus Angebots- und Nachfragesicht

Basierend auf dem Ursprungsmodell (ASTRA-D in Schade et al. 2005), bildet auch im ASTRA-HBS Modell das **Bruttoinlandsprodukt (BIP)** einen der wichtigsten Indikatoren im makroökonomischen Teil.

Nach der neoklassischen Wachstumstheorie entspricht das Produktionspotential der tatsächlichen Leistung oder, mit anderen Worten, dem BIP. Die Annahme effizienter Produktionsprozesse führt zu diesem Gleichgewicht. Ein Eckpfeiler der neoklassischen Wachstumstheorie ist das exogene Wachstumsmodell von Solow und Swan (Solow, 1956). Anders als im klassischen Solow-Modell ist der technische Fortschritt in ASTRA-HBS ein endogener Treiber für das Wachstum des BIPs.

Eine weitere wichtige Theorie zur Erklärung des BIP-Wachstums liefert das Modell von Samuelson und Hicks (Allen, 1968). Es betont den keynesianischen Multiplikator- sowie Akzelerator-Prozess und erklärt mittels der Einführung zeitlicher Verzögerungen, warum das wirtschaftliche Wachstum typischerweise einem Konjunkturzyklus folgt.

System Dynamics als der ASTRA-Familie zugrundeliegende Methodik erlaubt es, beide Theorien zu kombinieren. Dadurch können die kritischen Annahmen des Solow-Modells überwunden werden. Das BIP entspricht an sich nicht dem realitätsnahen Produktionspotenzial. Im Gegensatz zu berechenbaren allgemeinen Gleichgewichtsmodellen (CGE) wird das BIP von der Nachfrage- und Angebotsseite einer Volkswirtschaft bestimmt (Fermi et al., 2014). Sowohl die Endnachfrage als auch das Produktionspotenzial werden zur Berechnung des Bruttoinlandsprodukts (BIP) herangezogen. Die folgende Gleichung zeigt die Abhängigkeit beider Seiten.

$$GDP(t) = FD(t) * (1 - wPO) + PO(t) * wPO \qquad (1)$$

mit	GDP	=	Bruttoinlandsprodukt
	FD	=	Endnachfrage
	PO	=	Produktionspotential
	wPO	=	Gewicht des Produktionspotentials im Verhältnis zur Endnachfrage
	(t)	=	Zeitpunkt der Berechnung (1995 bis 2035)

Das Gleichgewicht zwischen Angebots- und Nachfrageseite kann im Modell angepasst werden. Bei ASTRA-HBS werden beide Seiten mit dem ungefähr gleichen Gewicht behandelt, da $wPO = 0{,}48$. Ein Wert von 1 würde ein vollständig Angebots-getriebenes BIP bedeuten, ein Wert von 0 ein vollständig Nachfrage-orientiertes BIP.

3.1.2 Produktionspotential

Auf der Angebotsseite wird mittels einer Produktionsfunktion nach Cobb-Douglas das **Produktionspotential** berechnet und die drei Hauptproduktionsfaktoren Arbeitskräfteangebot, Kapitalbestand und natürliche Ressourcen sowie der technische Fortschritt (totale Faktorproduktivität, TFP) berücksichtigt. Arbeitsangebot, Kapitalbestand und TFP werden endogen berechnet. Der Einfluss natürlicher Ressourcen wird bislang exogen betrachtet. Arbeitskräfteangebot, Kapitalbestand und in geringerem Maße TFP entwickeln sich im Vergleich zu den unregelmäßigeren Einflüssen der Endnachfrage, wie Investitionen oder Exporten, gleichmäßiger und bilden demnach ein stabilisierendes Element im Modell. Des Weiteren hängt der langfristige Trend des Modells in hohem Maße von der Angebotsseite ab, da es mit dem Kapitalstock, der totalen Faktorproduktivität und der Bevölkerung mittels Arbeitskräfteangebot drei der wichtigsten Bestandsvariablen von ASTRA enthält (Fermi et al., 2014).

Die resultierende (erweiterte) Cobb-Douglas-Funktion lautet wie folgt:

$$PO(t) = bPO + cPO * TFP(t) * L(t)^{\alpha} * CS(t)^{\beta} * NR(t)^{\gamma} \quad (2)$$

mit	PO	=	Produktionspotential
	bPO	=	(kalibriertes) Ausgangsniveau des Produktionspotentials
	cPO	=	(kalibrierter) Trend des Porduktionspotentials
	TFP	=	Totale Faktorproduktivität
	L	=	Arbeitskräfteangebot in Arbeitsstunden
	CS	=	Kapitalstock
	NR	=	Natürliche Ressourcen
	α	=	(kalibrierte) Elastizität des Arbeitskräfteangebots
	β	=	(kalibrierte) Elastizität des Kapitals
	γ	=	(kalibrierte) Elastizität der natürlichen Ressourcen
	(t)	=	Zeitpunkt der Berechnung (1995 bis 2035)

Im Gegensatz zu herkömmlichen Cobb-Douglas-Funktionen muss die Summe der Elastizitäten von Kapital und Arbeit nicht genau 1 ergeben. Die Kalibrierung wird nicht durch Regressionen, sondern mit Hilfe des Vensim® optimiser durchgeführt. Dieser weist keine Einschränkungen hinsichtlich der funktionalen Form von Gleichungen auf.

Der **Kapitalbestand** ist abhängig vom Bruttoanlagevermögen, Investitionen (Investitionsgüter inklusive Transportinvestitionen) und Abschreibungen bzw. Verschrottung von Wirtschaftsgütern. Für eine detailliertere Beschreibung zur Modellierung des Kapitalbestandes in der ASTRA-Modellfamilie, siehe Schade (2005) und Fermi et al. (2014).

Der zweite wichtige Produktionsfaktor bei der Berechnung des Produktionspotenzials ist das **Arbeitskräfteangebot**. Das Arbeitskräfteangebot wird in geleisteten Stunden pro Jahr für alle Erwerbstätigen und Selbständigen ausgedrückt. Es wird bestimmt durch die Gesamtheit der aktiven Erwerbsbevölkerung aus dem Bevölkerungsmodell und der jährlichen Arbeitsstunden. Letztere basieren auf der Gesamtbeschäftigung, berechnet im

Beschäftigungsmodell, und der Anzahl der statistischen durchschnittlichen Arbeitsstunden pro Jahr. Insbesondere in Krisenzeiten enthält das Arbeitskräfteangebot mehr Informationen über den Arbeitsmarkt als nur die Beschäftigung. Arbeitszeitverkürzung als Strategie in Zeiten sinkender Nachfrage kann über diesen Produktionsfaktor wiedergegeben werden (Fermi et al., 2014).

Die **totale Faktorproduktivität** steht in ASTRA für eine aggregierte Produktivitätszahl einer Volkswirtschaft. Drei endogene Variable werden als Einflussfaktoren auf die Gesamtfaktorproduktivität modelliert: Die sektorale Arbeitsproduktivität gewichtet mit der sektoralen Bruttowertschöpfung, sektorale Investitionen und Änderungen der Güterverkehrszeiten für verschiedene Güter-Kategorien (Fermi et al., 2014).

Der erste Einflussfaktor der totalen Faktorproduktivität (TFP) ist die sektorale Arbeitsproduktivität unter Berücksichtigung der sektoralen Bruttowertschöpfung. Ein Sektor mit hoher Produktivität, aber geringer Relevanz für die Volkswirtschaft, ausgedrückt durch seinen Anteil an der nationalen Bruttowertschöpfung, sollte die TFP weniger beeinflussen als ein Sektor mit geringer Produktivität, aber einem hohen Anteil an der nationalen Bruttowertschöpfung. Die sektorale Bruttowertschöpfung wird endogen von ASTRA-HBS als Ergebnis der sektoralen Input-Output-Rechnung bereitgestellt und zur Berechnung einer gewichteten sektoralen Arbeitsproduktivität verwendet.

Der zweite Einflussfaktor sind Investitionen, da Produktivitätsverbesserungen durch eine verbesserte Produktionstechnologie (im weitesten Sinne) hervorgerufen werden. Sowohl neue Technologien als auch organisatorische Veränderungen, die häufig auf Beratungsunterstützung beruhen, erfordern Investitionen. Mittels einer sektoralen Gewichtung für den Einfluss von Investitionen auf technischen Fortschritt werden Investitionen der einzelnen Sektoren zu einem nationalen Gesamtfaktorproduktivitäts-indikator zusammengefasst.

Zeitersparnis beim Transport der Wirtschaftsgüter wird als dritter Inputfaktor für die totale Faktorproduktivität (TFP) verwendet. Produktionsprozesse werden heutzutage häufig in einer Abfolge von Produktionsschritten an verschiedenen Standorten auf der ganzen Welt durchgeführt. Daher ist ein Güterverkehrssystem, das diese Produktionsstandorte verbindet, Teil des gesamten Produktionsprozesses und der allgemeinen Produktivität, die das Produktionspotenzial einer Volkswirtschaft bestimmt.

3.1.3 Endnachfrage

Nachfrageseitig ist die **Endnachfrage** die Summe aus Konsum der privaten Haushalte, Investitionen, Staatsverbrauch und Export-Import Bilanz. Der grundlegende Ansatz besteht darin, diese Variablen auf Sektorebene zu berechnen und zu aggregieren (Fermi et al., 2014).

$$FD_S(t) = C_S(t) + I_S(t) + GC_S(t) + (EX_S(t) - IM_S(t)) \quad (3)$$

mit FD = Endnachfrage

C	=	Privater Konsum der Haushalte
I	=	Investitionen
GC	=	Staatlicher Konsum
EX	=	Exporte
IM	=	Importe
S	=	Index der 57 Sektoren
(t)	=	Zeitpunkt der Berechnung (1995 bis 2035)

Konsum und Investition beinhalten einen transportunabhängigen Anteil und einen Anteil, der von der Entwicklung der Transportmärkte abhängt und in den Transportmodulen und Umweltmodulen (z.B. Kraftstoffverbrauch) modelliert wird.

Investitionen sind eine der wichtigsten Faktoren für die langfristige Modellierung mit ASTRA und entweder durch Entscheidungen im Verkehrssystem oder durch makroökonomische Entwicklungen beeinflusst.

Der öffentliche Konsum wird innerhalb des staatlichen Moduls berechnet und wird vom BIP und der Bevölkerungsentwicklung getrieben. Das Staatsmodul modelliert das Verhalten der Regierung und berücksichtigt alle Einnahmen, wie Steuern und Abgaben von Bürgern und Transport- und Verkehrswegegebühren sowie Ausgaben des Staates, z.B. soziale Transferleistungen, Staatskonsum und Zinszahlungen. Für eine detailliertere Beschreibung siehe Schade et al. (2005) für ASTRA-D oder Fermi et al. (2014), ISI et al. (2017) für ASTRA-EC.

Exporte und Importe werden in ASTRA-HBS unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus dem Flottenmodell hauptsächlich exogen behandelt.

Im Folgenden werden die nachfrageseitigen Module privater Konsum, Investitionen und Importe-Exporte genauer vorgestellt.

3.1.4 Konsum

Das Konsummodul in ASTRA-HBS zielt darauf ab, die Konsumausgaben der privaten Haushalte für Güter und Dienstleistungen in jedem der erfassten Sektoren zu simulieren.

Grundlage für die Modellierung des privaten Konsums ist die Berechnung des **verfügbaren Einkommens** der privaten Haushalte, die den Grundsätzen der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung folgt (siehe Abbildung 3-4). Zieht man den exogenen Saldo der Primäreinkommen mit der übrigen Welt von Bruttoinlandsprodukt ab, erhält man das Bruttonationaleinkommen. Im folgenden Schritt berechnet man das Nettosozialprodukt, indem die im Kapitalmodul endogen berechneten Abschreibungen subtrahiert werden. Abzüglich der indirekten Steuern (einschließlich Mehrwertsteuer, Kraftstoffsteuer und sonstiger Steuern) und zuzüglich der Subventionen wird das Volkseinkommen berechnet. Anschließend werden die von Arbeitnehmern und Arbeitgebern gezahlten direkten Steuern und Sozialleistungen abgezogen und die Transferzahlungen an die privaten Haushalte hinzugerechnet, um das verfügbare Einkommen der privaten Haushalte abzubilden. Schließlich ergibt sich aus dem verfügbaren Einkommen und den Beschäftigungszahlen ein

durchschnittliches persönliches Einkommen pro Mitarbeiter, das zum Beispiel für die Berechnung der Fahrzeugflotte verwendet wird (Fermi et al., 2014).

Abbildung 3-4: Einkommen im Rahmen der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung

	Bruttoinlandsprodukt (Inlandskonzept)
+	Saldo der Primäreinkommen mit der übrigen Welt
=	Bruttonationaleinkommen (Inländerkonzept)
-	Abschreibungen
=	Nettonationaleinkommen (Primäreinkommen)
-	Produktions- und Importabgaben an den Staat
+	Subventionen aus der Staatskasse
=	Volkseinkommen
-	Direkte Steuern
-	Sozialversicherungsbeiträge
+	Transfereinkommen an private Haushalte
=	**Verfügbares Einkommen der privaten Haushalte**

Quelle: M-Five, eigene Darstellung

Das verfügbare Einkommen fließt in die Berechnung des möglichen **privaten Konsums** abzüglich des Anteils am Einkommen, der nicht für den Inlandsverbrauch verwendet wird, z.B. Ersparnisse, Rückzahlungen von Schulden, Überweisungen ins Ausland oder Konsum im Ausland (Tourismus).

Privater Konsum wird in nicht-verkehrsbezogene Zwecke und Konsum für Transportzwecke aufgeschlüsselt, z.B. Konsum von Mineralölerzeugnissen, Fahrzeugen und Transportdienstleistungen. Bei diesem Ansatz werden Substitutionseffekte zwischen nicht-verkehrsbezogenem und verkehrsbezogenem Konsum berücksichtigt. Ein Rückgang des Konsums im Verkehrssektor führt zu einem nicht zu vernachlässigenden Anstieg des Konsums in Nicht-Verkehrssektoren und vice versa. Aufgrund der Komplementarität zwischen Verkehr und anderen Aktivitäten sowie aufgrund von Anreizeffekten gibt es keine zwangsläufig vollständige Umlegung. Da alle Variablen im Konsummodul Nettowerte ohne Steuern darstellen, ist zu berücksichtigen, dass verkehrsbezogener Konsum anders besteuert wird als der nicht-verkehrsbezogene Konsum.

Eingangsgrößen in den privaten **Konsum verkehrsbezogener Güter und Dienstleistungen** werden im Verkehrsnachfrage-, Flotten- und Umweltmodell auf der Grundlage der Modal-Split- und Pkw-Kaufentscheidungen der Personenverkehrsnutzer ermittelt und im Konsummodul auf gesamtstaatlicher Ebene verwendet. Darunter fallen Autokäufe, Kraftstoffverbrauch, Ausgaben für Transportdienstleistungen, für Versicherungen sowie für die Wartung von Pkw.

$$TC(t) = \sum_{seg} CPa_{seg}(t) + \sum_{seg} CPn_{seg}(t) + \sum_{seg} CI_{seg}(t) + \sum_{seg} CM_{seg}(t) + \sum_{m}(TP_m(t) * TCost_m(t)) + (1 - shBT) * \sum_{f}(CF_f(t) * PF_m(t)) \quad (4)$$

mit	TC	=	Nettokonsumausgaben für Transport
	shBT	=	Anteil an Geschäftsreisen an Gesamtreisen mit dem Pkw
	CPa	=	Privater Konsum herkömmlicher Pkw-Komponenten
	CPn	=	Privater Konsum innovativer Pkw-Komponenten (z.B. Batterie, Schaltelemente, Sensorik, Regeltechnik)
	CI	=	Pkw-Versicherungsausgaben
	CM	=	Pkw-Instandhaltungsausgaben
	TP	=	Personenverkehrsleistung [pkm]
	TCost	=	Nettokosten Personenverkehrsleistungen [EURO2010/pkm]
	CF	=	Kraftstoffverbrauch
	PF	=	Netto Kraftstoffpreis
	seg	=	Index der Pkw-Segmente
	m	=	Index der Personenverkehrs-Modi
	f	=	Index der Kraftstoffe
	(t)	=	Zeitpunkt der Berechnung (1995 bis 2035)

Der **nicht-verkehrsbezogene Konsum** umfasst den gesamten inländischen privaten Konsum, ausgenommen aller Verbrauchsausgaben für den privaten Verkehr. Zuallererst wird ein Delta zwischen dem Konsum verkehrsbezogener Güter und Dienstleistungen in der aktuellen Periode und der vorherigen Periode berechnet. Dieser Indikator muss dann um die Steuerdifferenz zwischen den beiden Verbrauchszwecken angepasst werden, die durch Multiplikation mit dem Verhältnis der Gesamtsteuer auf den Transportverbrauch und der Gesamtsteuer auf den Nichttransportverbrauch erzielt wird. Der erste Term der folgenden Gleichung berechnet den nicht-verkehrsbezogenen Konsum auf der Grundlage des Anteils am Gesamtverbrauch. Wenn sich die Transportnachfrage nicht ändert, entspricht dieser Term dem aktuellen Konsum außerhalb des Verkehrs.

$$nTC(t) = \frac{nTC(t)}{C(t)} * pC(t) + \ [TC(t-dt) - TC(t)] * rTnT(t) \qquad (5)$$

mit	nTC	=	Inländischer Konsum außerhalb des Verkehrs
	C	=	Gesamter inländischer Konsum
	pC	=	Konsumpotential
	rTnT	=	Steuerverhältnis Konsum Verkehr zu Nicht-Verkehr
	(t)	=	Zeitpunkt der Berechnung (1995 bis 2035)

Schließlich wird der Verbrauch außerhalb des Verkehrssektors anhand endogen berechneter Sektoranteile in die Wirtschaftssektoren aufgeteilt.

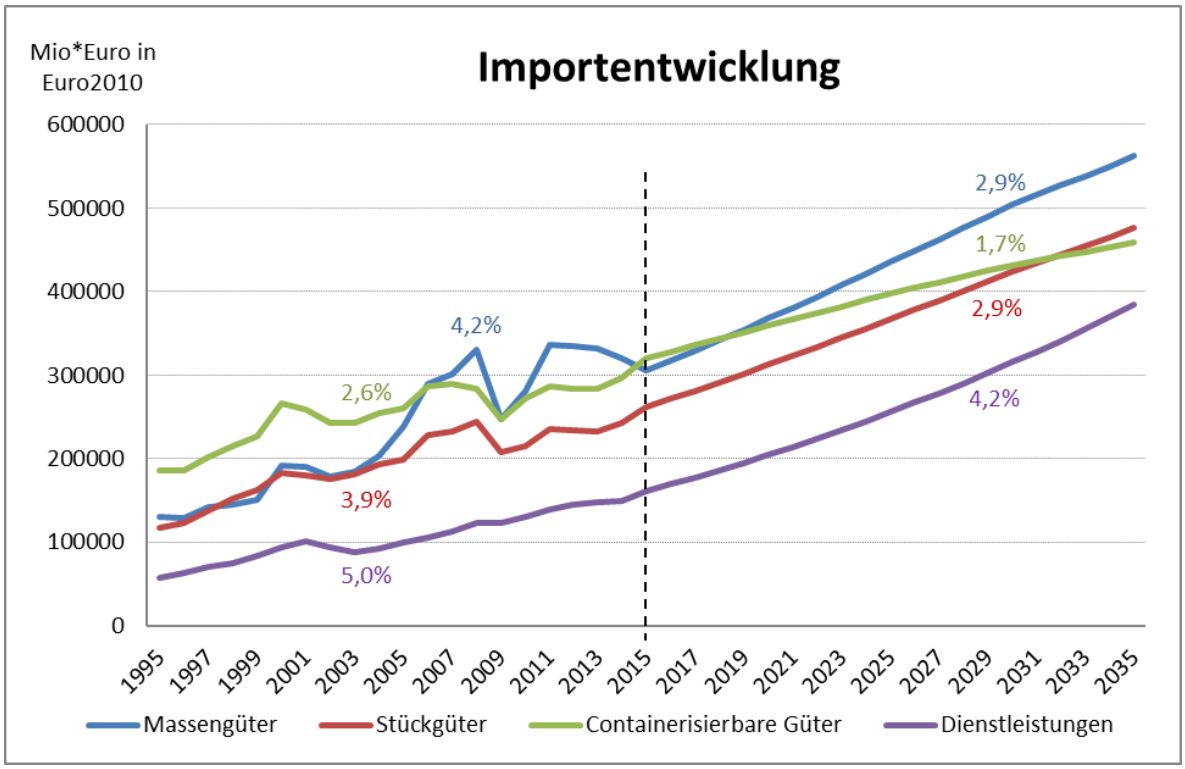
Der letzte Schritt im Konsummodul besteht darin, den gesamten sektoralen Verbrauch aus den beiden Elementen zusammenzusetzen: Sektoraler Konsum außerhalb des Verkehrs und verschiedene Kategorien des Verkehrskonsums. Letztere betreffen Sektoren, die direkt vom Verkehr beeinflusst werden, wie den Energiesektor einschließlich Kraftstoffprodukte, den Kraftwagensektor einschließlich Automobilherstellung und die Transportdienst-leistungssektoren.

3.1.5 Export-Import-Bilanz

Expertenerwartungen bestätigen, dass das künftige Wirtschaftswachstum stark vom Außenhandel beeinflusst wird. Im Gegensatz zur endogenen Modellierung eines Handelsmoduls in ASTRA-EC (Siehe Fermi et al., 2014), werden Exporte und Importe in ASTRA-HBS überwiegend exogen behandelt.

Sektorale Importe sind in ASTRA-HBS den Input-Output-Tabellen des Statistischen Bundesamts (Destatis) für die Jahre 1995 bis 2015 entnommen. Ab 2016 werden die jährlichen Wachstumsraten der Importe für die einzelnen Sektoren auf Basis der Kategorisierung in die Güterkategorien Massengüter, Stückgüter, Containerisierbare Güter und Dienstleistungen geschätzt. Abbildung 3-5 zeigt die Importentwicklung über die gesamte Zeitspanne inklusive der mittleren Wachstumsraten für die historischen Werte von 1995 bis 2015 sowie die Prognosewerte 2016 bis 2035. Für alle Güterkategorien sowie für Dienstleistungen nehmen die für die Zukunft angenommenen Import-Wachstumsraten ab.

Abbildung 3-5: Übersicht über die Importentwicklung in ASTRA-HBS

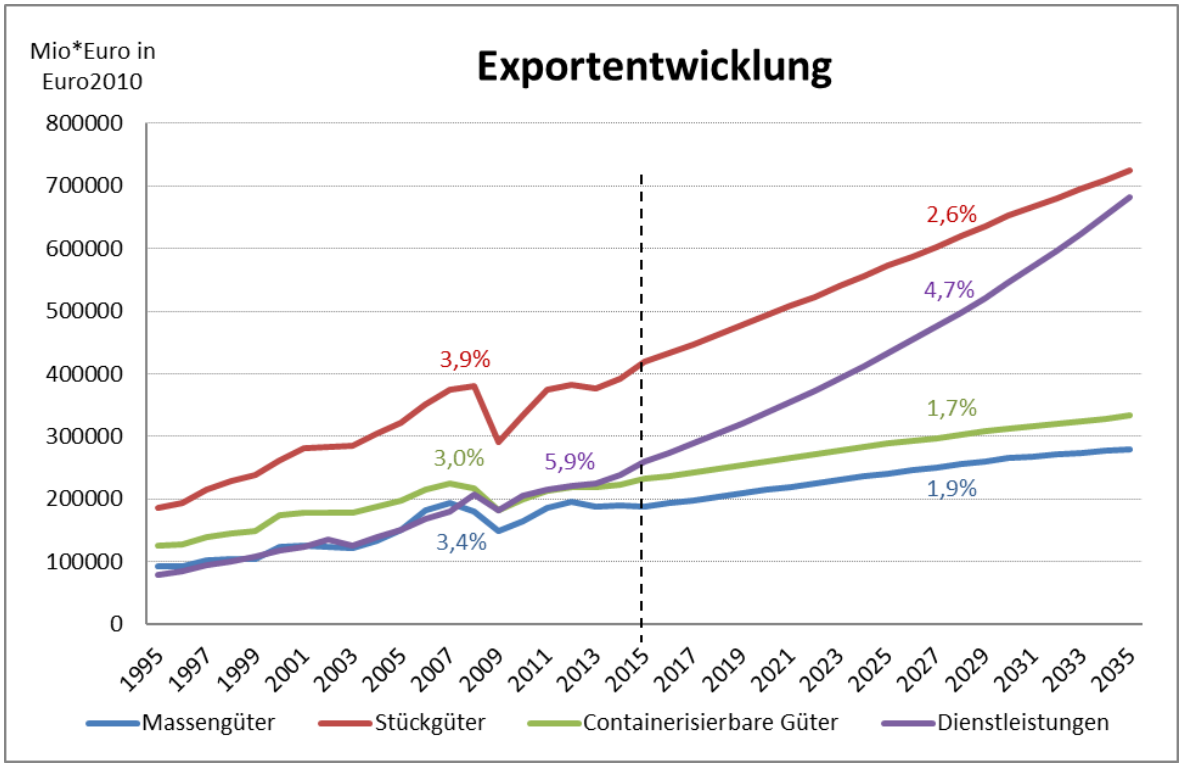


Quelle: M-Five, eigene Darstellung

Die jährlichen Import- und Exportwachstumsraten sind häufig erheblich höher als die Wachstumsraten aller anderen wichtigen makroökonomischen Indikatoren.

Sektorale Exporte folgen dem Vorgehen für Importe anhand der Input-Output Tabellen des Statistischen Bundesamts für die Mehrzahl der Sektoren. Abbildung 3-6 zeigt die Exportentwicklung über die gesamte Zeitspanne inklusive der mittleren Wachstumsraten für die historischen Werte von 1995 bis 2015 sowie die Prognosewerte 2016 bis 2035. Für alle Güterkategorien sowie für Dienstleistungen nehmen auch die für die Zukunft angenommenen Export-Wachstumsraten ab.

Abbildung 3-6: Übersicht über die Exportentwicklung in ASTRA-HBS



Quelle: M-Five, eigene Darstellung

Endogenen Einflüsse auf den sektoralen Export aus dem Flottenmodell werden für den Sektor Kraftwagen modelliert, indem Exporte von fertigen Pkw und einzelnen Pkw-Modulen berücksichtigt werden. Beide Größen werden auch zur endogenen Berechnung der Exporte in den drei Sektoren Elektrik, Kommunikation und Elektronik hinzugezogen.

3.1.6 Investitionen

Investitionen bilden eines der wichtigsten Module für die langfristige Entwicklung von ASTRA-HBS. Investitionen werden entweder durch Entscheidungen im Verkehrssystem oder durch makroökonomische Faktoren beeinflusst.

Das Investitionsmodell berechnet die Investitionen von Unternehmen und Staat. Eine Aufteilung wird anhand der 57 Sektoren vorgenommen, so dass das sektorale Niveau der Investitionen mit den Daten aus volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) und hier aus der Input-Output-Tabelle abgeglichen werden kann.[4] Das Vorgehen der Abschätzung der jährlichen Höhe der Investitionen unterscheidet sich für verkehrsbezogene und nicht verkehrsbezogene Investitionen.

4 ASTRA baut auf statistischen Grundlagen auf, die durch das System of National Accounts (SNA) von 2008 vorgegeben werden, und für die Mitgliedsstaaten der EU über das Europäische System Volkswirtschaftlicher Gesamtrechnungen (ESVG) zur Nutzung vereinheitlicht und vorgeschrieben werden. Damit stammt beispielsweise die Struktur der Differenzierung der Investitionen in ASTRA in 57 Sektoren über die Nutzung der deutschen Input-Output-Tabelle und der ESVG vom internationalen und global angewendeten System of National Accounts (UN et al. 2009).

Verkehrsbezogene Investitionen beschreiben die Investitionen in Fahrzeuge für den Personen- und für den Frachtverkehr. Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur können privat (z. B. für Ladeeinrichtungen) oder öffentlich sein (z. B. Großteile des Verkehrsinfrastrukturnetzes).

Diverse transportbezogenen Investitionen werden im ASTRA-HBS Modell berücksichtigt:

- Investitionen in Transportfahrzeuge (Geschäftsfahrzeuge, Busse, Nutzfahrzeuge, Züge, Flugzeuge, Schiffe)
- Investitionen in neue Verkehrstechnologien (z.B. ETCS - European Train Control System, Bus-Leit- und Steuerungssysteme)
- Investitionen in Verkehrseinrichtungen wie Bahnhöfe, Terminals, Binnenhäfen, Umschlageanlagen
- Verkehrsnetzinvestitionen als Teil staatlicher Investitionen, inklusive Investitionen in den Öffentlichen Verkehr, den Radverkehr und multi-modale Hubs
- Verkehrsinfrastrukturinvestitionen zur Digitalisierung des Verkehrs und der Produktion von Komponenten zum automatisierten und vernetzten Fahren, z.B. Halbleiter
- Investitionen aus dem Verkehr in die Energieinfrastruktur, wie dem Aufbau von Ladestationen und Infrastruktur zur Erzeugung und -verteilung von Strom aus erneuerbaren Energien für die direkte Nutzung im Verkehr
- F&E-Investitionen und dazugehörige Produktionsanlagen neuer Technologien, z.B. zur Herstellung und Entsorgung von Batterien

Für die Modi Schiene und Schiff bestimmt die Verkehrsnachfrage die erforderlichen Investitionen in Fahrzeuge. Dieser Ansatz setzt voraus, dass Kapazitätsengpässe durch Investitionen behoben werden und vernachlässigt Kapazitätsanpassungen durch organisatorische Verbesserungen oder die Möglichkeit von Kapazitätsreserven. Für den Modus Straße wird ein ähnlicher Ansatz verfolgt, der die benötigte Fahrzeugflotte von der Nachfrage abhängig macht. Die benötigten Investitionen werden dann jedoch unter Berücksichtigung der Verschrottung von Fahrzeugen berechnet, um die im Flottenmodell berechneten neuen Gesamtzulassungen abzuschätzen. Investitionen in Flugzeuge sind exogen gegeben. Investitionen in Verkehrseinrichtungen folgen demselben Ansatz für alle Verkehrsträger und hängen von der Verkehrs- oder Fahrleistung ab. Die Verkehrsnachfrage wird als Treiber verwendet und mit einem spezifischen Investitionsfaktor multipliziert. Netzinvestitionen dagegen werden von der BIP-Entwicklung und der Verkehrspolitik abgeleitet.

Für **nicht-verkehrsbezogene Investitionen** leitet sich die Entwicklung aus dem privaten Konsum und Exporten im jeweiligen Sektor, aus der Staatsverschuldung über den Einfluss auf die Zinsentwicklung sowie aus der Auslastung des Produktionsbestands ab.

Die sektorale Nachfrage nach Investitionen und die sektorale Produktion von Investitionsgütern und -dienstleistungen sind ungleichmäßig auf die Sektoren verteilt. ASTRA-HBS betrachtet daher 20 wichtige Wirtschaftssektoren, die hauptsächlich die Nachfrage nach Investitionen in Waren und Dienstleistungen antreiben und 10 Sektoren,

die den größten Teil an Investitionsgütern und -dienstleistungen produzieren. Diese Sektoren sind in Tabelle 1 gelistet.

Tabelle 1: Übersicht über Sektoren, die Investitionsgüter und -dienstleistungen produzieren und nachfragen

Sektoren, die den größten Teil an Investitionen produzieren	Sektoren, die Investitionsgüter und -dienstleistungen stark nachfragen
Metall-Produkte	Landwirtschaft
Maschinen	Chemie
Elektrik	Maschinen
Elektronik	Kraftwagen
Bausektor	Energie
Kfz-Handel	Großhandel
Großhandel	Einzelhandel
Datenverarbeitung	Landverkehr
Forschung	Verkehrsdienstleistungen
Unternehmensbezogene Dienstleistungen	Nachrichten
[Kraftwagen]	Immobilien
[sonstige Fahrzeuge]	Vermietung
	Datenverarbeitung
	Forschung
	Unternehmensbezogene Dienstleistungen
	Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung
	Erziehung
	Gesundheit und Soziales
	Abwasser und Entsorgung
	Kultur

Quelle: M-Five, eigene Darstellung

Die oben gelisteten 10 Sektoren, die die Produktion von Investitionsgütern und -dienstleistungen antreiben, werden in einem detaillierten Investment-Modell berechnet, während Beiträge zu Investitionen aus den anderen 45 Sektoren mittels einer Aggregation modelliert werden. Beide Ansätze werden im Folgenden erläutert und anschließend zusammengeführt. Fahrzeuginvestitionen werden in Abhängigkeit des Verkehrsnachfrage- und des Flottenmodells bestimmt.

Der private Konsum fließt unter Berücksichtigung von Konsumtrends der Sektoren mit der höchsten Investitionsnachfrage und einer Matrix aus kalibrierten Koeffizienten in die Investitionsrechnung ein. Die resultierenden Änderungsmatrizen werden aggregiert für die Sektoren, die Investitionsgüter und -dienstleistungen herstellen. Schade (2005) beschreibt diesen Vorgang ausführlich.

$$tCI_{S10}(t) = \sum_{S20} \left[e^{\left[10 * \left[\frac{dC_{S20}(t)}{dT} - trC\right]\right]} \right] * CIM_{S20,S10} \tag{6}$$

mit tCI = Trendeinfluss von Konsum auf Investitionen für Sektoren, die Investitionsgüter produzieren

dC/dT = Änderung des sektoralen Konsums im vergangenen Jahr

trC = Minimale Veränderung, die benötigt wird, um einen positiven Einfluss von Konsumänderungen auf Investitionen zu erreichen

CIM = Matrix kalibrierter Koeffizienten zur Verknüpfung von Konsumänderungen in Sektoren, die Investitionen nachfragenden mit den Sektoren, die Investitionen bereitstellen

S10 = Index der Sektoren, die Investitionsgüter und -dienstleistungen produzieren

S20 = Index der Sektoren, die Investitionen stark nachfragen

(t) = Zeitpunkt der Berechnung (1995 bis 2035)

Der zweite wichtige Einfluss des Investitionsmoduls ist der Export. Analog zum privaten Konsum werden die Exporttrends der Sektoren mit der höchsten Investitionsnachfrage mit einer Matrix aus kalibrierten Koeffizienten multipliziert, um die aggregierte Änderung der Investitionen für die investitionserzeugenden Sektoren zu berechnen.

$$tEI_{S10}(t) = \sum_{S20} \left[\frac{dE_{S20}(t)}{dT}\right] * EIM_{S20,S10} \tag{7}$$

mit tEI = Trendeinfluss von Exporten auf Investitionen für Sektoren, die Investitionsgüter produzieren

dE/dT = Änderung der sektoralen Exporte im vergangenen Jahr

EIM = Matrix kalibrierter Koeffizienten zur Verknüpfung von Exportänderungen in Investitionen nachfragenden Sektoren mit den Sektoren, die die Produktion von Investitionen treiben

S10 = Index der Sektoren, die Investitionsgüter und -dienstleistungen produzieren

S20 = Index der Sektoren, die Investitionen stark nachfragen

(t) = Zeitpunkt der Berechnung (1995 bis 2035)

Die Investitionsänderungen der verbleibenden Sektoren ergeben sich aus den Trends der Gesamtentwicklungen für privaten Konsum und Exporte multipliziert mit kalibrierten Koeffizienten pro Sektor. Die Trends für Konsumeinflüsse werden für ein halbes Jahr in die Zukunft extrapoliert, um zu berücksichtigen, dass Investitionsentscheidungen in gewissem Maße von den zukünftigen Erwartungen der Anleger abhängen, die maßgeblich von Konsum beeinflusst werden. Folgende Funktionen für nicht-verkehrsbezogene Investitionen je Sektor (außer den Fahrzeugsektoren) resultieren:

$$nvI_{S55}(t) = \tag{8}$$

$$I(t-dt) * \begin{cases} EXT\big(tCI_{S10}(t)\big) + tEI_{S10}(t) & \rightarrow S10 \in S55 \\ EXT\left(\frac{dC_{S45}(t)}{dT}\right) * cCI_{S45} + \frac{dE_{S45}(t)}{dT} * cEI_{S45} & \rightarrow S45 \in S55 \end{cases}$$

mit

nvI	=	nicht-verkehrsbezogene Investitionen
EXT	=	Funktion um den gegebenen Trend ein halbes Jahr in dies Zukunft zu extrapolieren
tCI	=	Trendeinfluss von Konsum auf Investitionen für S10
tEI	=	Trendeinfluss von Exporten auf Investitionen für S10
dt	=	Integrationsperiode in ASTRA (Vierteljahr)
T	=	Simulationsperiode in ASTRA (ein Jahr)
dC/dT	=	Änderung des sektoralen Konsums im vergangenen Jahr
dE/dT	=	Änderung der sektoralen Exporte im vergangenen Jahr
cCI	=	kalibrierte Koeffizienten zur Verknüpfung von Änderungen des Gesamtkonsums mit den 45 Sektoren, die Investitionsgüter in geringerem Maße produzieren
cEI	=	kalibrierte Koeffizienten zur Verknüpfung von Änderungen der Gesamtexporte mit den 45 Sektoren, die Investitionsgüter in geringerem Maße produzieren
S10	=	Index der Sektoren, die Investitionsgüter und -dienstleistungen produzieren
S45	=	Index der Sektoren, die Investitionsgüter in geringerem Maße produzieren
S55	=	Index aller Sektoren ohne die beiden Sektoren Kraftwagen und sonstige Fahrzeuge
(t)	=	Zeitpunkt der Berechnung (1995 bis 2035)

Schließlich werden in den nicht-verkehrsbezogenen Investitionen noch Staatsverschuldung über den Einfluss auf die Zinsentwicklung sowie die Auslastung des Produktionsbestands berücksichtigt und mit den verkehrsbezogenen Investitionen im jeweiligen Sektor addiert, um die Gesamtinvestitionen pro Sektor zu erhalten.

3.1.7 Input-Output Modul

Die Input-Output Rechnung spiegelt die Verflechtungen zwischen den 57 Wirtschaftssektoren wider. Die Input-Output Rechnung basiert auf inländischen Input-Output-Tabellen des Statistischen Bundesamts (Destatis). Die erste deutsche ASTRA-Version aus 2010/11 nutzte die WZ-2003 Klassifikation, verzichtet aber auf zwei Sektoren ohne Bedeutung (deswegen 57 statt 59 Sektoren). In diesem Projekt wurden die sektoralen Daten aktualisiert und dafür Daten in der WZ-2008 Klassifikation genutzt, da die sektoralen Daten des Statistischen Bundesamtes mittlerweile in dieser Klassifikation angeboten werden. Die angewendete sektorale Klassifikation findet sich in Tabelle 13 im Anhang. Der ab 2008 genutzte Datensatz für das Input-Output-Modul nach Klassifikation der Wirtschaftszweige 2008 wird unter Berücksichtigung der neuen Gliederungsstruktur und

entsprechend der historischen Verläufe auf die in ASTRA-HBS genutzte Sektoreneinteilung umverteilt. Das Hauptziel der Input-Output-Rechnungen besteht darin, direkte und indirekte Auswirkungen von Entwicklungen in den modellierten Wirtschaftssektoren zu simulieren. Verschiebungen zwischen Konsum- und Investitionssektoren wirken sich auf die sektorale Verflechtung aus, so dass die Input-Output-Tabellen im Zeitverlauf nicht konstant gehalten werden.

Matrizen quantifizieren die Vorleistungen und Wertströme zwischen den verschiedenen Wirtschaftssektoren. Es werden (1) Vorleistungsmatrizen, (2) Endnachfragematrizen und (3) Primäraufwandsmatrizen unterschieden. Die Vorleistungsmatrix bildet die Verflechtungen der Sektoren ab und zeigt, welcher Sektor an welchen Sektor liefert. In der Endnachfragematrix werden diejenigen Wertströme beschrieben, die im Rahmen der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung aus dem inländischen Kreislauf ausscheiden, wie Konsum, Anlage- und Vorratsinvestitionen sowie Exporte. Die Primäraufwandsmatrix beinhaltet neben der Summe der Primärinputs der einzelnen Sektoren vor allem Abschreibungen, Arbeitnehmerentgelte, Steuern, Importe sowie Überschüsse und ist dementsprechend die heterogenste Matrix (Hartwig et al., 2012).

Änderungen der sektoralen Endnutzung, die sich aus dem sektoralen Konsum von Haushalten und Regierung, sektoralen Investitionen und Exporten zusammensetzen, sowie Änderungen der Transport- und Energiepreise beeinflussen die Struktur der Input-Output-Tabellen. So ermöglicht die sektorale Aufteilung es, die direkten Auswirkungen von Änderungen des Verkehrssystems auf andere Wirtschaftssektoren sowie die indirekten Auswirkungen von Änderungen auf die Sektoren, die Zwischenprodukte für den Verkehrssektor bereitstellen, darzustellen (Fermi et al., 2014).

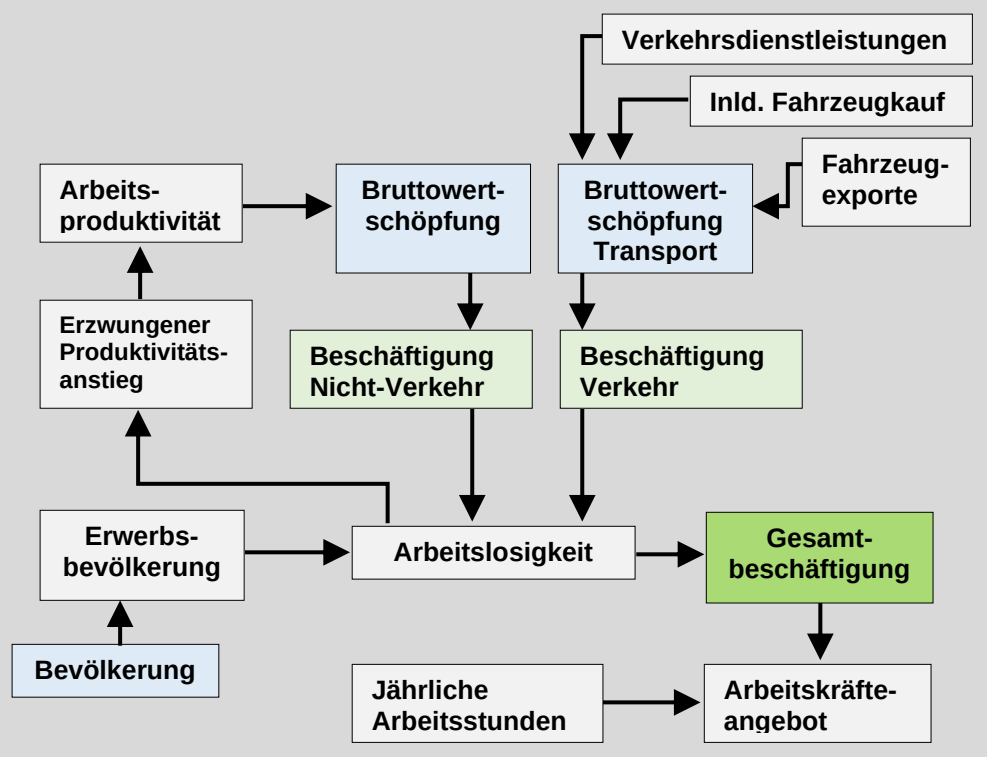
Aus dem sektoralen Input-Output-Modell ergeben sich zwei wesentliche Variable: die sektorale Bruttowertschöpfung, die zur Berechnung der Beschäftigung verwendet wird, und der sektorale Produktionswert, der als Input für die Güterverkehrserzeugung dient. Der Produktionswert setzt sich aus der sektoralen Endnutzung und der sektoralen Produktion von Zwischenprodukten zusammen. Dementsprechend wird die Bruttowertschöpfung aus dem Produktionswert abgeleitet abzüglich des Einsatzes von intermediären Inputs aus zuliefernden Sektoren in jedem Sektor.

3.1.8 Beschäftigungsmodul

Das Beschäftigungsmodul simuliert die Entwicklung des nationalen Arbeitsmarktes, gibt sektorale Beschäftigungsentwicklungen wieder, unterscheidet zwischen Vollzeit- und Teilzeitbeschäftigung und berechnet die Arbeitslosigkeit. Es liefert wertvolle Informationen an mehrere andere Module. Beschäftigungs- und Arbeitslosenzahlen werden u.a. zur Berechnung von Sozialabgaben und direkten Steuern und Leistungen für Arbeitslose im Staatsmodul benötigt. Wie oben beschrieben, werden die gesamten Erwerbsstunden (Arbeitskräfteangebot) als Input für die Produktionsfunktion verwendet.

Die Struktur des Beschäftigungsmodells ist in Abbildung 3-7 dargestellt und im Folgenden erläutert.

Abbildung 3-7: Übersicht des Beschäftigungsmoduls in ASTRA-HBS



Quelle: M-Five, eigene Darstellung

Der wichtigste Input für das Beschäftigungsmodul ist die Bruttowertschöpfung der Input-Output-Tabelle. Mittels der Bruttowertschöpfung und der exogenen Arbeitsproduktivität wird die Anzahl der Vollzeitäquivalente (FZÄ) berechnet:

$$FTE_S(t) = \frac{GVA(t)*1000000}{LP(t)} \tag{9}$$

mit FTE = Vollzeitäquivalente Beschäftigung [Personen]
GVA = Bruttowertschöpfung [Mio EURO2010]
LP = Arbeitsproduktivität [EURO2010/Vollzeitäquivalent angestellte Personen]
S = Index der 57 Sektoren
(t) = Zeitpunkt der Berechnung (1995 bis 2035)

Die Arbeitsproduktivität pro Sektor wird aus statistischen Zahlen für Beschäftigung und Bruttowertschöpfung pro Sektor abgeleitet. Für die künftige Entwicklung der Arbeitsproduktivität wird ein exogener Trend angenommen. Neben dem exogenen Trend zur Arbeitsproduktivität wird in dem Modell auch ein endogener Treiber in Abhängigkeit von der Arbeitslosenquote berücksichtigt. Wenn die Arbeitslosenquote unter 5% liegt, geht das ASTRA-Modell von einer stärkeren zukünftigen Steigerung der Arbeitsproduktivität aus, um den wahrscheinlichen Mangel an Arbeitnehmern auszugleichen. Diese Reaktion war in der Vergangenheit zu beobachten und wird von großer Bedeutung sein, wenn die Zahl der Arbeitskräfte aufgrund der Alterung der Gesellschaft sinken wird (Fermi et al., 2014).

Statistische Trends für Teilzeit- und Vollzeitbeschäftigte pro Sektor ermöglichen die Schätzung der Gesamtbeschäftigung in Vollzeit- und Teilzeitbeschäftigten pro Sektor. Dies erfordert eine Aufteilung der Beschäftigung in einen Teil an Vollzeitbeschäftigten, d.h.

Beschäftigte mit einem 5-Tage-Job mit einer (im Zeitverlauf sinkenden) durchschnittlichen wöchentlichen Arbeitszeit und einen Teil an Teilzeitbeschäftigten mit einer geringeren durchschnittlichen wöchentlichen Arbeitszeit.

Folgende Gleichung beschreibt die gesamte sektorale Beschäftigung:

$$EMP_S(t) = FTE_S(t) * sPT_S * PTF_S + FTE_S(t) * (1 - sPT_S) \quad (10)$$

mit	EMP	=	Gesamtbeschäftigung
	FTE	=	Vollzeitäquivalente Beschäftigung
	sPT	=	Anteil Teilzeitbeschäftigung
	PTF	=	Teilzeitfaktor (Anzahl Teilzeitbeschäftigter pro FTE Beschäftigter)
	(t)	=	Zeitpunkt der Berechnung (1995 bis 2035)

Schließlich leitet das Beschäftigungsmodell die Arbeitslosigkeit als Differenz der Gesamtbeschäftigung von der aktiven Erwerbsbevölkerung, die im Bevölkerungsmodul kalibriert werden, ab.

Im ASTRA-HBS Modell hängt die **Beschäftigung in den verkehrsbezogenen Sektoren** (Kraftwagen, sonst. Fahrzeuge, Landverkehr) von den Verkehrsausgaben ab, die entweder für den Kauf von im Inland hergestellten Fahrzeugen, für den Fahrzeugexport oder für inländische Verkehrsdienstleistungen gezahlt werden. Die Werte für bodengebundene Verkehrsdienstleistungen werden vom Verkehrsnachfragemodell bereitgestellt. Für jeden Modus wird eine spezifische Beschäftigungsproduktivität verwendet, um die in den verschiedenen Modi erzeugte Beschäftigung zu berechnen. Dieses Vorgehen ermöglicht die Erfassung von Beschäftigungsverschiebungen, z.B. verursacht durch Änderungen im Modal Split oder den Einfluss von fortschreitender Automatisierung.

3.1.9 Verknüpfung des makroökonomischen Modells mit dem Verkehrsnachfragemodell

Der ursprünglichen Vision der Entwicklung des ASTRA-Modells — die Bewertung von Verkehrsstrategien — folgend, kann das makroökonomische Modul Auswirkungen von Geldströmen und Kompensationsmechanismen simulieren, die durch die Verkehrspolitik hervorgerufen werden. Diese Auswirkungen können durch neue Verkehrsinfrastrukturinvestitionen, zusätzliche Straßennutzungsgebühren, Energiepreis-entwicklungen, Steueränderungen usw. ausgelöst werden.

Mikro-Makrobrücken verbinden alle Modelle auf Mikro- und Mesoebene, bspw. das Verkehrsnachfragemodell oder das Fahrzeugflottenmodell mit dem makroökonomischen Modell und umgekehrt (Fermi et al., 2014).

Die Verknüpfung der ökonomischen Module mit den Verkehrsmodulen erfolgt auf vielfältige Weise. Der Personenverkehr wird einerseits aus der endogen modellierten Bevölkerungsentwicklung abgeleitet, andererseits durch ökonomische Rahmenbedingungen wie BIP, Beschäftigungs- und Einkommensentwicklung getrieben. Ein Teil des verfügbaren Einkommens wird zum Konsum von Verkehrsleistungen genutzt

(Schade, 2008). Im Güterverkehr bestimmt der Bruttoproduktionswert, der aus der Befriedigung der Endnachfrage sowie den dafür notwendigen Vorleistungen im Input-Output-Modell berechnet wird, das Transportaufkommen. Des Weiteren wird die Im- sowie Exportentwicklung zur Berechnung der Transportströme verwendet (Schade et al., 2016).

Im Gegenzug fließen die im Verkehrsmodell entstehenden Verkehrsausgaben zurück in das makroökonomische Modell und nehmen dort Einfluss auf diverse ökonomische Größen wie Investitionen, Konsumausgaben oder den Staatshaushalt. Verkehrsbezogene Investitionen leiten sich direkt aus dem Verkehrsnachfrage- und dem Flottenmodell ab. Eine Rückkopplung von der Personenverkehrsnachfrage zu den ökonomischen Modulen erfolgt auch über eine Konsumveränderung bei Veränderung der Nachfrage nach Pkw oder des Benzinverbrauchs. Dementsprechend passen sich auch Konsumausgaben für Nicht-Verkehrssektoren an, d.h. Mehrkonsum im Verkehrsbereich führt zu Minderkonsum in anderen Bereichen und umgekehrt. Diese Impulse werden in die Input-Output-Rechnungen integriert und lösen durch die entstehenden Vorleistungen eine veränderte wirtschaftliche Aktivität aus. Schließlich bestimmt die Veränderung der Verkehrsnachfrage auch das Produktionspotential. Die totale Faktorproduktivität wird sowohl durch Investitionen beeinflusst, welche sektoral eine unterschiedliche Produktivitätswirkung entfalten, als auch durch Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur. Änderungen der Frachttransportzeiten beeinflussen ebenfalls die Gesamtfaktorproduktivität und werden auf das entsprechende makroökonomische Modul übertragen.

3.2 Module des Verkehrsnachfragemodells

Das **Verkehrssystem des Personen- und Güterverkehrsmoduls** ist jeweils mittels eines integrierten 4-Stufen Verkehrsmodells implementiert (Abbildung 3-8).Die vierte Stufe, die Routenwahl, kann nur sehr abstrahiert modelliert werden, da in ASTRA-HBS kein Netzwerk-Modell hinterlegt ist, sondern nur Quelle-Ziel-Matrizen, die von detaillierten Verkehrs-Modellen übernommen wurden. Modelliert wird in ASTRA-HBS auf Ebene der 39 NUTS2-Zonen, d.h. z.B. für Baden-Württemberg auf der Ebene der vier Regierungsbezirke. Hier zeigt sich ein deutlicher Unterschied zur regionalen Analyse (Wagner et al. 2019), die den Verkehr und die Beschäftigung auf der Ebene von 402 Kreisen modelliert.

Die individuell realisierte Verkehrsnachfrage im Personenverkehr ist das Ergebnis mehrerer Wahlentscheidungen bestimmt vom individuellen Mobilitätsverhalten, die klassisch in die Entscheidung zur Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung (Zielwahl), Modalwahl und der Routenwahl unterschieden werden. Als Ergebnis der Wahlentscheidungen resultieren Ortsveränderungen zu einem bestimmten Aktivitätszweck mit einem bestimmten Modus. Als Messgröße für diese Verkehrsnachfrage wird die Verkehrsleistung in Personenkilometern (pkm) im Personenverkehr bzw. in Tonnenkilometern (tkm) im Güterverkehr sowie die Fahrleistung (in Fahrzeugkilometern) je gewähltem Verkehrsmittel angegeben.

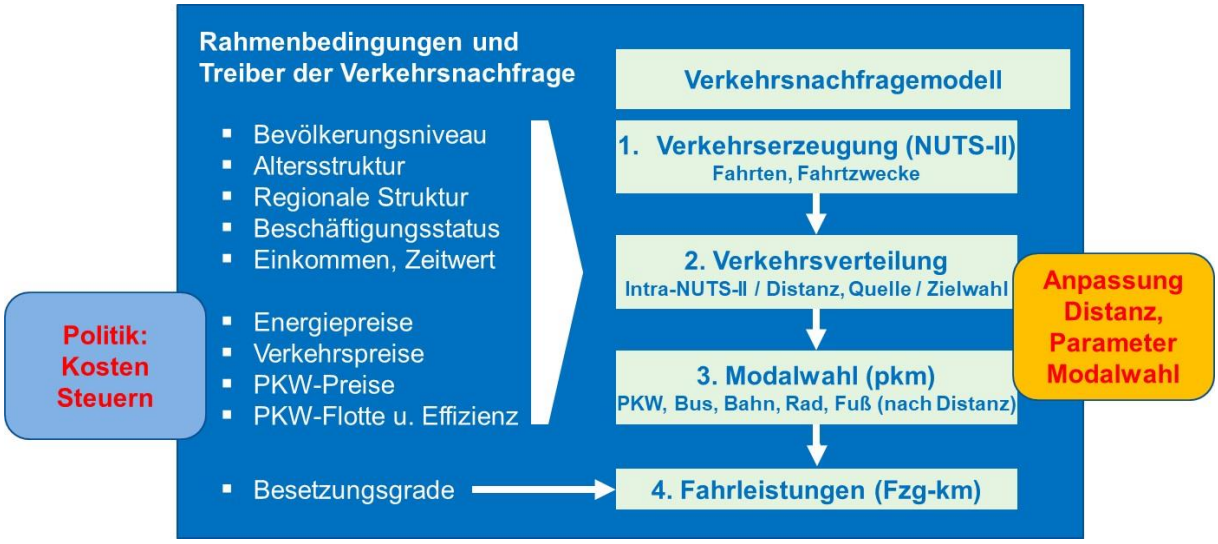
Die Nachfrage wird in Fahrtzwecke, Verkehrsmittel und Reiseweiten differenziert. Für den Personenverkehr wird in vier Fahrtzwecke (Geschäfts-, Pendel-, Privat- und Urlaubsfahrten)

und für den Güterverkehr in drei Güterkategorien (Massengüter, Stückgut und containerisierbare Güter) unterteilt.

Verkehrspolitische Maßnahmen werden in regional- und modalspezifischen Zeit- und Kostenkomponenten hinterlegt, die dann in die Entscheidungsfunktionen (Logit-Funktionen) der Verkehrsnutzer einfließen. Reaktionen der Verkehrsnachfrager können auf allen Entscheidungsstufen gemessen werden, d.h. unterschiedliche Modalwahl, veränderte Zielwahl und dementsprechend abweichende Distanzen. Direkte Wirkungen können über Infrastrukturinvestitionen, die Veränderung der Kraftstoffpreise (z.B. Mineralölsteuern), des Neuwagenkaufverhaltens und damit der Pkw-Flotte (z.B. Kfz-Steuern), der km-Kosten (z.B. Maut) oder der Fahrzeiten (z.B. Tempolimit) erfolgen (Schade, 2008).

Abbildung 3-8 stellt diese Modellstruktur und die Einflussfaktoren zur Modellierung der Nachfrage im Personenverkehr dar. Die Szenariodefinition (in gelb) greift vor allem auf der 2. und 3. Stufe ein, während politische Instrumente über Zeit- und Kostenänderungen das modellierte Verkehrsverhalten beeinflussen.

Abbildung 3-8: Ablauf der Modellierung der Personenverkehrsnachfrage



Quelle: M-Five, eigene Darstellung

Die **erste Stufe** – **Erzeugung** von Wegen – verwendet eine Produktionsfunktion, die sich auf diverse endogene Einflussfaktoren stützt. Der **Personenverkehr** wird sowohl durch die sozioökonomischen Rahmenbedingungen wie BIP, Einkommen und Beschäftigungs- sowie Bevölkerungsentwicklung als auch durch Flotten- sowie Zeit- und Kostenparameter im Verkehrsmodell angetrieben. Mit Ausnahme der Bevölkerung, die unabhängig vom Verkehrssystem modelliert ist, kann jeder sozioökonomische Treiber bzw. jede verkehrs-spezifische Zeit- und Kostenkomponente durch politische Maßnahmen angepasst werden und Veränderungen im Verkehrssystem auslösen.

Der Güterverkehr steht in diesem Vorhaben nicht im Fokus der Anwendung von ASTRA-HBS. Er wird zwar gleichfalls modelliert, ist aber nicht mit einer besonderen Instrumentierung eines Szenarios oder von Instrumenten versehen. Die wichtigsten Treiber für den **Güterverkehr** sind die sektorale Wertschöpfungsentwicklung, die endogen aus dem

Input-Output-Modul an die Güterverkehrserzeugung übergeben wird, und die internationalen Handelsströme, die den Quell-/Zielverkehr und den Transitverkehr bestimmen. Die Umwälzung von der Wertschöpfung zur Verkehrsgenerierung erfolgt dabei mittels dynamisierter Wert-Mengenverhältnisse, welche die monetären Werte in Frachtvolumina übertragen. Auch im Güterverkehr spielen die Flotten-, Zeit- und Kostenparameter eine Rolle, sie wirken sich aber stärker auf die Modalwahl aus als auf die Verkehrserzeugung. Diese ist im Wesentlichen von der wirtschaftlichen Entwicklung abhängig und im Gegensatz zum Personenverkehr viel stärker wirtschaftlichen Schwankungen ausgesetzt. Darüber hinaus nehmen Beladungsfaktoren wichtigen Einfluss auf die Verkehrserzeugung. Beladungsfaktoren können ebenfalls durch politische Maßnahmen beeinflusst werden, z.B. durch eine Verbesserung der Logistikplanung als Folge eines Verkehrskostenanstieges.

Die **zweite Stufe** des Verkehrsmodells bestimmt die **Verteilung** der Wege. Dabei wird im Personenverkehr eine Mischung aus einem Elastizitätenansatz für inter-zonale Wege und einem Logit-Ansatz für intra-zonale Wege genutzt. Der erste Schritt steuert die Verteilung zwischen den verschiedenen NUTS2-Zonen (allerdings findet ein Großteil des Personenverkehrs intrazonal statt). In einem zweiten Schritt wird die Zuordnung zu den intrazonalen Distanzbändern modelliert. Der Personenverkehr ist in insgesamt 4 Distanzbänder unterteilt und modelliert (0-2km, 2-10km, 20-50km und über 50km); im Güterverkehr werden drei Distanzbänder unterschieden (0-50km, 50-200km und über 200km). Das Verkehrsmodell modelliert Distanzbänder mit jeweils charakteristischer Verfügbarkeit der verschiedenen Verkehrsträger und spezifischer Hinterlegung der Kosten-, Entfernungs- und Geschwindigkeitsparameter für jede Quelle-Ziel-Beziehung eines Distanzbandes. Als entscheidender Parameter in der Verkehrsverteilung wird die generalisierte Zeit verwendet, welche als Exponent in die e-Funktion Eingang findet, um zu verhindern, dass eine Präferenzverschiebung hin zu kürzeren Zielen allein aufgrund gestiegener Einkommensverhältnisse (und dementsprechende Veränderung der persönlichen Zeitkostenwerte) eintritt.

Die **dritte Stufe** – die **Modalwahl** – wird im Personen- und Güterverkehr mittels eines Logit-Ansatzes modelliert. Hier wird die Wahrscheinlichkeit der Modalwahl mittels gekoppelter e-Funktionen berechnet, wobei die Exponenten von den generalisierten Kosten der Verkehrsmittel abhängen. Somit führt ein höherer Kostenaufwand zu negativen Präferenzen. Darüber hinaus können in diesem Ansatz auch weitere Einflussfaktoren auf die Modalwahl wie Komfort durch Motorisierung oder allgemeine Bewusstseinsänderungen in der Gesellschaft hin zu ökologischeren Verkehrsträgern berücksichtigt werden. Die Modalwahl im Personenverkehr umfasst motorisierten Individualverkehr, Bus und Bahn sowie Rad- und Fußverkehr. Die Modi im Güterverkehr beinhalten drei Lkw-Klassen sowie den Bahn- und Binnenschiffsverkehr (Schade 2008).

Die **Verknüpfung des ökonomischen Moduls mit den Verkehrsmodulen** erfolgt auf vielfältige Weise. Der Personenverkehr wird einerseits aus der endogen modellierten Bevölkerungsentwicklung abgeleitet, andererseits durch ökonomische Rahmenbedingungen wie BIP, Beschäftigungs- und Einkommensentwicklung getrieben. Ein

Teil des verfügbaren Einkommens wird zum Konsum von Verkehrsleistungen genutzt (Schade, 2008). Im Güterverkehr bestimmt der Bruttoproduktionswert, der aus der Befriedigung der Endnachfrage sowie den dafür notwendigen Vorleistungen im Input-Output-Modell berechnet wird, das Transportaufkommen. Des Weiteren wird die Im- sowie Exportentwicklung zur Berechnung der Transportströme verwendet (Schade et al., 2016).

Die entstehenden Verkehrsausgaben fließen zurück in das makroökonomische Modul und nehmen dort Einfluss auf diverse ökonomische Größen wie Konsumausgaben oder den Staatshaushalt. Eine Rückkopplung von der Personenverkehrsnachfrage zu den ökonomischen Modulen erfolgt z.B. über eine Konsumveränderung bei Veränderung der Nachfrage nach Pkw oder des Benzinverbrauchs. Dementsprechend passen sich auch Konsumausgaben für Nicht-Verkehrssektoren an, d.h. Mehrkonsum im Verkehrsbereich führt zu Minderkonsum in anderen Bereichen und umgekehrt. Diese Impulse werden in die Input-Output-Rechnungen integriert und lösen durch die entstehenden Vorleistungen eine veränderte wirtschaftliche Aktivität aus. Schließlich bestimmt die Veränderung der Verkehrsnachfrage auch das Produktionspotential. Die totale Faktorproduktivität wird sowohl durch Investitionen beeinflusst, welche sektoral eine unterschiedliche Produktivitätswirkung entfalten, als auch durch Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur. Änderungen der Frachttransportzeiten beeinflussen ebenfalls die Gesamtfaktorproduktivität und werden auf das makroökonomische Modul übertragen.

Darüber hinaus ist das **Verkehrsmodell unmittelbar mit dem Umweltmodul und dem Flottenmodul verknüpft**. Die unter Berücksichtigung von Last- bzw. Belegungsfaktoren berechneten Fahrzeugkilometer bilden einen wichtigen Input für das Umweltmodul zur Berechnung der Emissionen sowie im Güterverkehr für das Flottenmodul, das den Neukauf von Straßenfahrzeugen ermittelt.

3.3 Module des Flottenmodells

3.3.1 Modellierung des Bestandes und der Technologiediffusion

Das Fahrzeugflottenmodul beschreibt die Zusammensetzung der Fahrzeugflotten in separaten Modellen für alle Straßenverkehrs-Modi durch technologiedifferenzierte Kohortenmodelle. Die Kohortenmodelle ermöglichen eine detaillierte Abbildung der Altersstruktur und der Diffusion neuer Technologien in die Fahrzeugflotten.

Das Fahrzeugflottenmodul gliedert sich in die Modellierung der Neuzulassungen (siehe Abbildung 3-9 für die Pkw-Flotte) und die Bestandsmodellierung (siehe Abbildung 3-10 für die Pkw-Flotte). Der Kauf von Fahrzeugen wird wertmäßig als Nachfragevektor an die Wirtschaftssektoren im ökonomischen Modul, die die Fahrzeugproduktion betreffen, weitergegeben. Dabei gehen gewerblich beschaffte Pkw als Investition in die ökonomischen Modelle ein, und privat beschaffte Pkw als Konsum.

Die Fahrzeugpreise verändern sich über die Zeit bis 2035 aufgrund dreier Entwicklungen:

- Durch Skaleneffekte sinken die Kosten von Pkw mit neuen Technologien (hier insbesondere batterieelektrischer Pkw (BEV)).
- Durch erhöhte Anforderungen an die Effizienz und die Abgasreinigung steigen die Kosten von Pkw mit Verbrennungsantrieben.
- Durch einen Wandel der Konfiguration der Pkw-Komponenten (z.B. Ausstattung mit Assistenzsystemen in bestimmten Segmenten) entwickeln sich die Preise der Segmente unterschiedlich über die Zeit.

Das Modell weist eine Technologie-Differenzierung in 7 Fahrzeugsegmente[5], 8 Antriebsarten[6] und 10 Fahrzeugkomponenten, die den Pkw-Preis bestimmen, auf. Die betrachteten Fahrzeugkomponenten sind:

- Fahrwerk (FWK)
- Antriebsstrang (AST)
- Verbrennungsmotor & Aggregate (ICE)
- Elektrische Antriebe & Aggregate (EMO)[7]
- Karosserie (KAR)
- Exterieur (EXT)
- Interieur (INT)
- Elektronik ohne Fahrerassistenzsysteme (ELE)
- Fahrerassistenzsysteme (FAS)
- Integration der Komponenten in das Gesamtfahrzeug / Fahrzeugmontage (GFZ).

Für jede Komponente ist dabei segmentspezifisch eine Preisentwicklung bis 2035 hinterlegt, die sich an anderen Studien orientiert (insbesondere IKA 2015, EvChain 2014) und bereits in AP3 beschrieben wurde (Wagner et al. 2018).

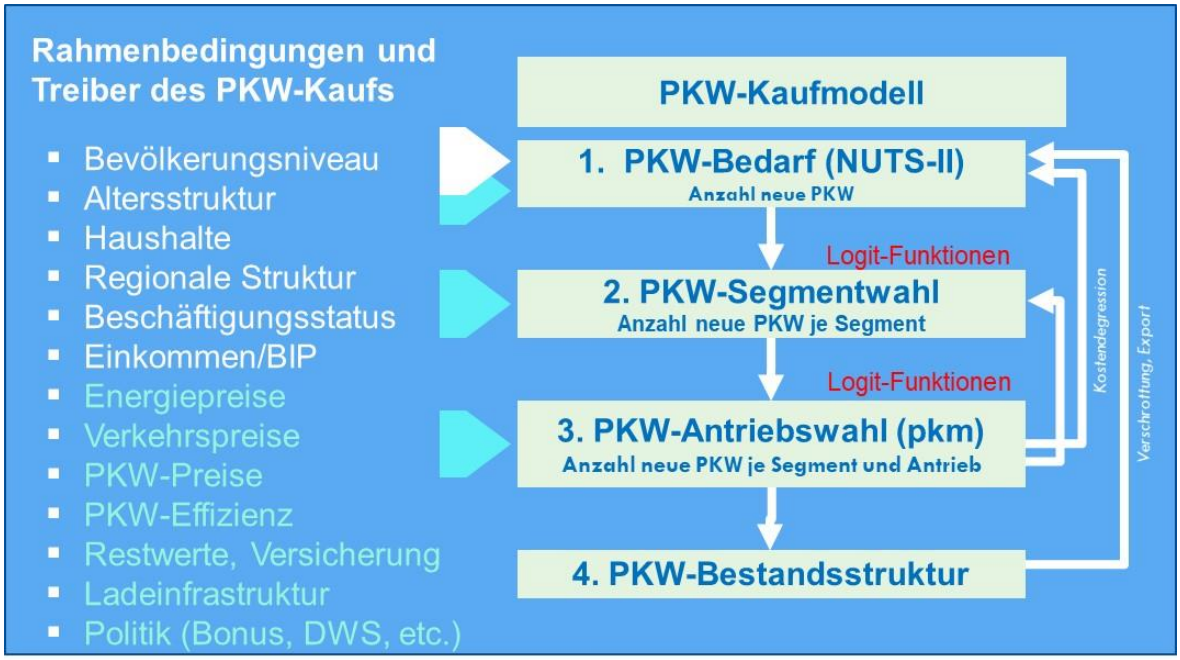
Mittels eines Logit-Ansatzes und den Gesamtbetriebskosten (TCO) als wichtigsten Input wird die Wahlentscheidung beim Pkw-Kauf von gewerblichen und privaten Käufern getroffen. Dadurch ergeben sich im Zeitverlauf Diffusions- oder aus Sicht der Elektromobilität Markthochlaufszenarien für die verschiedenen Technologien. Das Niveau der Flotte (d.h. der Bestand an Pkw) hängt insbesondere von der ökonomischen Entwicklung ab.

5 Gemäß KBA-Klassifikation: Mini, Kleinwagen, Kompaktklasse, Mittelklasse, Oberklasse, Geländewagen und SUV, Vans und Mini-Vans.

6 Benzin, Diesel, Erdgas (CNG), Autogas (LPG), Hybride ohne Stromstecker (Benzin oder Diesel), batteriebetriebener PKW (BEV), Hybride mit Stromstecker (Plug-in Hybride, PHEV), Wasserstoffbrennstoffzellen PKW (H2-BZ).

7 EMO beinhaltet auch die Batteriepakete von E-PKW inklusive Leistungselektronik.

Abbildung 3-9: Treiber, Modellstufen und Entscheidungsfunktionen des Pkw-Kaufmodells



Quelle: M-Five, eigene Darstellung

Als Beispiel für eine Logit-Funktion sei hier die Funktion zur Segmentwahl dargestellt. Mit der Logit-Funktion können diskrete Wahlentscheidungen (Pkw-Antriebsart, Modalwahl, Segmentwahl, etc.) abgebildet werden. Bei der Segmentwahl werden gewerbliche und private Pkw-Käufe getrennt betrachtet. Die Gleichung zur Segmentwahl (in Abbildung 3-9 auf Stufe 2 des gesamten Modells), welche bestimmt, ob ein Käufer einen Mini, Kleinwagen, Oberklasse-Pkw, etc. kauft, lautet:

$$P_{NUTS,\,CP,\,SEG}(t) = \frac{e^{-\lambda_{CP,SEG} * COST_{CP,SEG}(t) + \beta_{CP,SEG}}}{\sum_{SEG=1}^{7} e^{-\lambda_{CP,SEG} * COST_{CP,SEG}(t) + \beta_{CP,SEG}}}$$

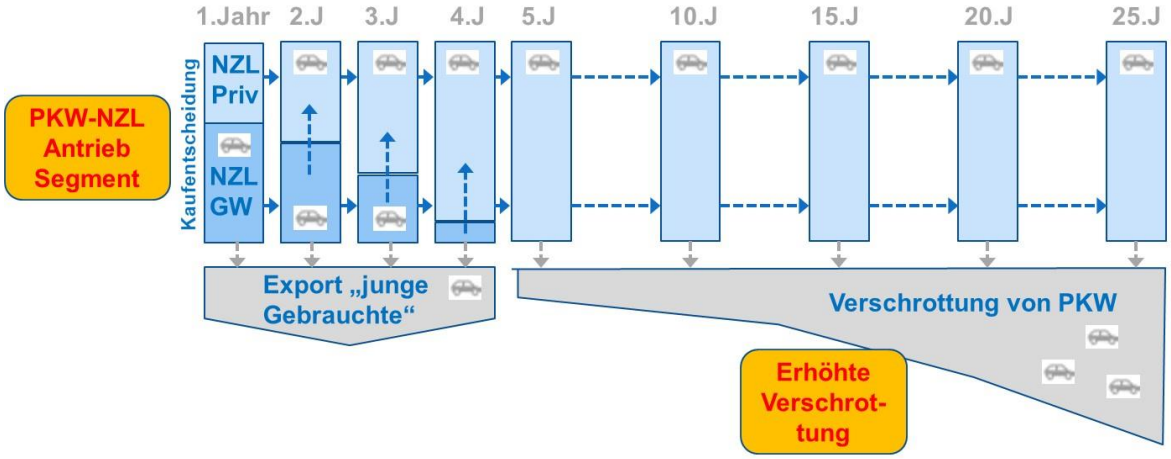
Mit:

Pkw =	Anzahl der Pkw-Neuzulassungen (bestimmt in Stufe 1 des Modells)
P =	Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmtes Segment gewählt wird
COST =	Kosten (Utility) ausgedrückt als durchschnittliche, jährliche Kosten der Nutzung des zu kaufenden Pkw in diesem Segment (€/(Pkw*Jahr))
(t) =	Zeitpunkt der Berechnung (1995 <= t <= 2035)
CP =	Index der 2 Käufergruppen (gewerblich, privat)
SEG =	Index der 7 Pkw-Segmente (mini, klein, kompakt, mittel, ober, gelände, van)
NUTS =	Index der 39 NUTS-II Zonen in Deutschland (Regierungsbezirke).

Die Kohortenentwicklung der Pkw-Flotte wird neben der jährlichen Alterung der Alterskohorten der Flotte durch drei Elemente bestimmt (siehe Abbildung 3-10). (1) durch den Verkauf von gewerblichen Pkw im Alter von 1 bis 4 Jahren an private Halter. (2) durch den Export von jungen „Gebrauchten“ ins Ausland, und (3) durch die Verschrottungsrate in

den verschiedenen Alterskohorten, welche für 15-jährige und ältere Pkw deutlich zu steigen beginnt. Insgesamt betrachtet das Pkw-Kohortenmodell 25 Alterskohorten.

Abbildung 3-10: Kohortenbasierte Modellierung des Pkw-Flottenmodells und Szenario-Parameter



Quelle: M-Five, eigene Darstellung

Die Technologie- und Altersdifferenzierung der Pkw-Flotte ermöglicht die Verknüpfung mit dem Umweltmodul zur Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs und der durch den Verkehr verursachten Emissionen unter Berücksichtigung der jeweiligen Fahrleistungen aus dem Verkehrsmodul. Weitere Interdependenzen zwischen Flotten und Verkehr werden z. B. durch Reboundeffekte bei der Einführung von effizienten Technologien im Fahrzeugbau mit der Folge von sinkenden variablen Kosten abgebildet.

3.3.2 Entwicklung der Komponenten und Fahrzeugkosten

Die zukünftigen Fahrzeugkosten- und preise werden aus den Kosten der 10 differenzierten Komponenten zusammengesetzt. Dabei steigen die Fahrzeugpreise aufgrund des Kostenanstiegs bei einigen Komponenten, der wiederum getrieben ist durch die drei Trends Verbesserung der Energieeffizienz, steigende Nachfrage nach höherwertiger Ausstattung in Deutschland und global sowie Automatisierung durch den steigenden Einsatz von Fahrer-assistenzsystemen.

Kosteneffekt durch Optimierung des Energieverbrauchs

Da die Emissionswerte von Pkw in jedem Fall (also unabhängig von unserer Szenariodefinition) sinken müssen, ist davon auszugehen, dass dieses Ziel nicht allein durch die Elektrifizierung der Antriebe, sondern auch durch Optimierung konventioneller Fahrzeuge erreicht wird. Dabei kommen sowohl Technologien zum Tragen, welche allein auf eine Verbesserung des Verbrennungsmotors abzielen (also nur dort zu höheren Herstellungskosten führen) und solche, die unabhängig von der Antriebsart den Energieverbrauch der Fahrzeuge verringern, beispielsweise durch verbesserte Aerodynamik oder Leichtbau der Karosserie. Laut ika (2015) können mit konventionellen Technologiepaketen (Downsizing, homogene Kompressionszündung, Ventilsteuerung,

Getriebeoptimierung, Reibungsreduzierung, Leichtbau von Karosserie und Komponenten) 50% der CO_2-Emissionen bis 2030 eingespart werden. Die Herstellkosten steigen in mittelpreisigen Fahrzeugsegmenten um rund 5,000 EUR und in hochpreisigen Fahrzeugsegmente um rund 6,000 EUR. Hybrid-Technologiepakete (ohne PHEV) erhöhen die Herstellungskosten in mittelpreisigen Fahrzeugsegmenten um rund 7,000 EUR und in hochpreisigen Fahrzeugsegmenten um rund 7,500 EUR. Die in ASTRA unterstellten Mehrkosten zur Fahrzeugherstellung (+7,700 $€_{2010}$ für einen Benzin-Oberklasse Pkw in 2035 gegenüber 2015) sind vergleichbar mit den Annahmen aus der Fachliteratur. Zu beachten ist, dass beide Betrachtungen (ika 2015 und ASTRA) auf die Herstellungskosten bezogen sind, welche nur rund 70% des Verkaufspreises eines Mittelklasse-Pkw ausmachen (Holweg 2008) und bei höherwertigen Fahrzeugen einen eher noch geringeren Anteil.

Höhere Nachfrage im Premium-Segment

Ein weiterer Grund für steigende Komponenten- und Fahrzeugkosten sind Verschiebungen der weltweiten Nachfrage. Für den weltweiten Pkw-Markt haben wir für den Zeitraum 2013 bis 2030 ein durchschnittliches jährliches Wachstum von 3.2% modelliert. Dies liegt in der Größenordnung von anderen Autoren, die ein jährliches Wachstum von 3.5% im Zeitraum 2013-2030 erwarten (Dudenhöffer 2014). Für Premium-Pkw liegt dieser jährliche Wachstumsfaktor bei 5.6% im selben Zeitraum (ebd.). Deutsche Premium-Pkw (Audi, BMW, Mercedes und Porsche) hatten in 2000 noch einen Marktanteil von 60.3% an allen global abgesetzten Premium-Pkw und konnten diesen bis 2013 auf 66.2% erhöhen. Daher ist davon auszugehen, dass der Absatz deutscher Premium-Pkw im Zeitraum 2013-2030 stärker zunimmt (+ 6.0% p.a.), als der Welt-Premium-Markt (ebd.). Zwar beinhaltet dies auch Fahrzeuge der deutschen Konzerne aus ausländischer Produktion aber dennoch werden viele übergeordnete Leistungen an deutschen Standorten erbracht. Darunter entfallen Forschung und Entwicklung, Verwaltung, Marketing, Strategie, etc. bei den OEM aber auch die Herstellung von Komponenten der Premium-Fahrzeuge und deren Entwicklung bei den Zulieferern an deutschen Standorten und auch dort entfällt ein Teil der Beschäftigten auf übergeordnete Tätigkeiten.

Anforderungen an Komponenten durch andere Fahrzeugnutzung und automatisiertes Fahren

Carsharing, Ridesharing und Mobilitätsdienstleistungen mit autonomen Fahrzeugen sind Trends, die sich in den Szenarien nachhaltiger Mobilität zu einem wichtigen Bestandteil der alltäglichen Mobilität entwickeln. Dies geschieht jedoch nur unter der Voraussetzung, dass diese Arten der Autonutzung aus Kundensicht sicher, attraktiv und preislich wettbewerbsfähig sind. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, muss die Materialauswahl der Komponenten und die Ausstattung mit Assistenzsystemen entsprechend abgestimmt werden. Robuste, langlebige, hygienische und pflegeleichte Materialien im Innenraum und aufwendigere Prozesse zur Herstellung und beim Einbau von diesen führen zu steigenden Herstellungs- bzw. Montagekosten.

Die Ausstattung mit Assistenzsystemen ist für geteilt genutzte Fahrzeuge essentiell, da insbesondere Fahrgäste mit geringerer Fahrpraxis sicher und stressfrei mobil sein möchten.

Vollständig automatisiert fahrende Autos müssen zudem teilweise über redundant verbaute Komponenten verfügen, um sicherzustellen, dass beim Ausfall einzelner Komponenten das Fahrzeug seinen Weg bis zur nächsten Werkstatt selbständig bewältigen kann. In dienstlich und privat beschafften Pkw dürfte die Anzahl der verbauten Fahrerassistenzsysteme ebenfalls zunehmen, um den Komfort zu verbessern. Auch diese Anforderungen sind mit steigenden Herstellungskosten verbunden.

Abschwächung der Economies of Scale

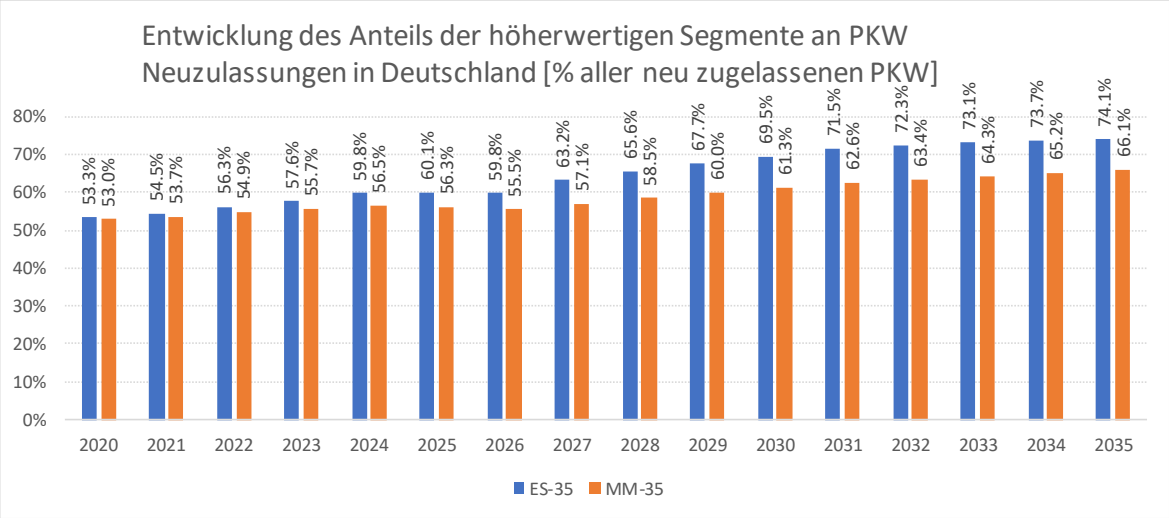
Unter der Annahme, dass bisherige Wachstumstrends der weltweiten Fahrzeugabsätze fortgeschrieben werden können, ist durch steigende Skalenerträge davon auszugehen, dass die Komponentenkosten im Allgemeinen sinken. Diese Trends schwächen sich jedoch ab, wenn die in den Szenarien beschriebenen schwächer wachsenden Absatzzahlen herangezogen werden.

Damit haben Economies of Scale einen geringeren Effekt auf die allgemeine Kostensenkung von Fahrzeugen als bisher, wenn geringere Stückzahlen an Pkw hergestellt werden. Dies wird verstärkt, wenn weniger gleiche oder gleichartige Fahrzeugteile hergestellt werden infolge einer stärkeren Diversifizierung der Fahrzeugmodelle für private und in (Sharing-) Flotten eingesetzte Pkw.

Struktur und Preise der Pkw-Neuzulassungen bis 2035

Die oben beschriebenen Trends führen dazu, dass der Anteil der Neuzulassungen der Segmente mit höherwertigen Ausstattungen (Mittel- und Oberklasse, Gelände, Vans) kontinuierlich steigt bis 2035. In der Referenz des Flottenmodells in ASTRA-HBS von 52.7% in 2019 auf 60.7% in 2035. In den beiden Szenarien verstärkt sich der Trend aufgrund der obigen Einflüsse und da die privaten Neuzulassungen zurückgehen diese wiederum aber einen überproportionalen Teil der Neuzulassungen an Pkw in kleinen Segmenten ausmachen. Abbildung 3-11 stellt die Entwicklung in den beiden Szenarien dar, wo insbesondere in ES-35 der Anteil der höherwertigen Segmente in 2035 fast drei Viertel (74.1%) erreicht. In ähnlicher Form, wenn auch etwas abgeschwächt, findet sich diese Entwicklung in den Pkw-Exporten aus Deutschland wieder.

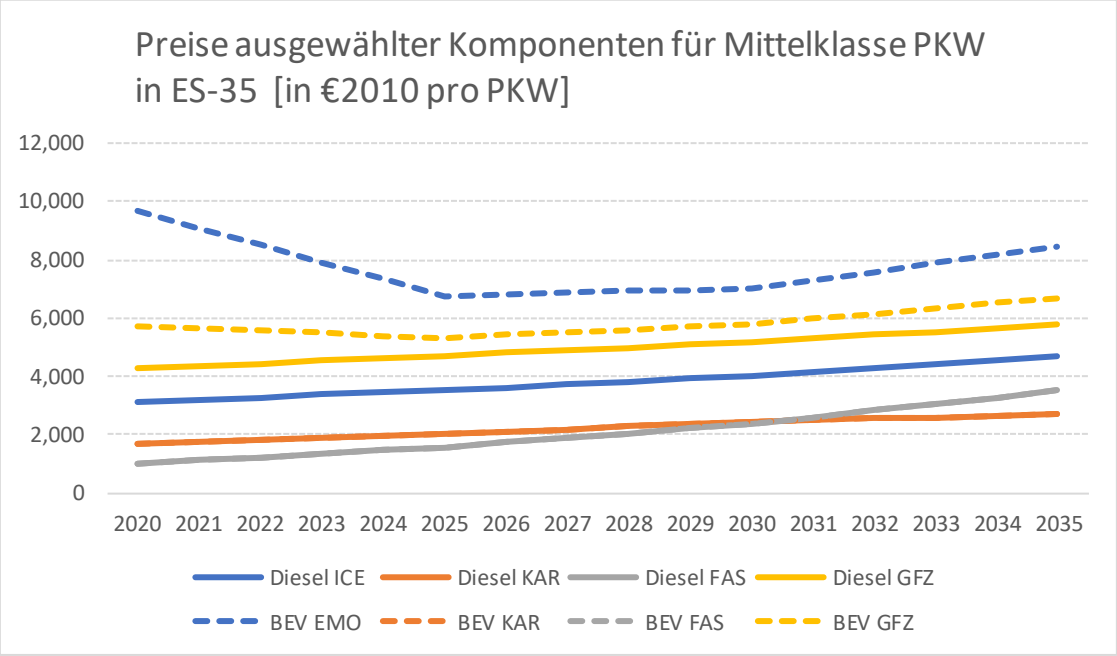
Abbildung 3-11: Anteile der Segmente Mittel, Ober, Gelände und Van an Neuzulassungen in Deutschland



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Beispielhaft ist in Abbildung 3-12 die Preisentwicklung ausgewählter Komponenten für einen Mittelklasse Diesel und einen BEV dargestellt. Dabei sind im BEV keine ICE-Komponenten verbaut und im Diesel keine EMO-Komponenten. Der Preisunterschied zwischen ICE- und BEV-Komponenten wird zum Teil kompensiert durch die AST-Komponente, die ebenfalls nur im Diesel und nicht im BEV verbaut wird. Bei Karosserie (KAR) und FAS (Fahrerassistenzsystemen) überlagern sich die jeweiligen Kurven (deshalb ist die BEV-Kurve nicht sichtbar). Die FAS-Preisentwicklung steigt stark wegen der zunehmenden Ausstattung mit FAS. Die BEV-Preisentwicklung berücksichtigt zunächst die Kostendegression und dann die steigende Kapazität der verbauten Batterien.

Abbildung 3-12: Preisentwicklung ausgewählter Komponenten für Mittelklasse Pkw – Vergleich Diesel mit BEV



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS, abgeleitet aus ika (2015), evChain (2014)

Aus der Kombination von Segmentverschiebung, Elektrifizierung und Kosten- bzw. Preisentwicklung der Komponenten ergibt sich ein durchschnittlicher, realer Preisanstieg der in Deutschland neu zugelassenen Pkw von 2018 bis 2035 von +68% in ES-35 und von +59% in MM-35.

3.4 Module des Umweltmodells

Im Umweltmodell wird die sogenannte ASIF-Gleichung geschlossen (Schade et al. 2010). Mit ASIF wird die Multiplikation aus Verkehrs-Aktivität (**a**ctivity) unter Berücksichtigung der Modal-Anteile (modal **s**hare) mit der Fahrzeugeffizienz bzw. dem Energieverbrauch (**i**ntensity) und dem CO_2-Emissionsfaktor der Kraftstoffe (**f**uel intensity) bezeichnet, mit der im Ergebnis die CO_2-Emission (und vergleichbar auch die Emission der Luftschadstoffe aus dem Verkehr) berechnet werden kann.

Die Eingangsgrößen der ASIF-Gleichung sind teils bereits im Verkehrsmodell (Fahrleistung (entspricht Aktivität), Modalanteile) sowie im Flottenmodell (Antriebstechnologien und Fahrzeuggröße) berechnet worden. Die fehlenden Variablen der Gleichung sind im Umweltmodell hinterlegt: Fahrzeugeffizienz bzw. spezifischer Energieverbrauch der Fahrzeuge in verschiedenen Fahrsituationen sowie die spezifischen CO_2- bzw. Treibhausgasemissionsfaktoren.

Abbildung 3-13 zeigt die Ableitung der in ASTRA-HBS genutzten spezifischen Energieverbrauchsfaktoren, sowie die Datenbasis zur Kalibrierung des Pkw-Flottenmodells. Diese Datenbasis stammt aus Daten des Kraftfahrtbundesamtes zu Neuzulassungen, verknüpft mit ihren technischen Spezifikationen, inklusive der bei der Typzulassung ermittelten Energieverbrauchswerte gemessen im Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ). Die Daten wurden in einer Datenbank aufbereitet und so zusammengefasst, dass sie den in ASTRA-HBS modellierten Pkw-Kategorien entsprechen.

Die Aufbereitung der Energieverbrauchsdaten erfolgte in folgenden Schritten (siehe auch Abbildung 3-13):

- Differenzierung in Energieverbräuche in vier Fahrsituationen, die passend zu den Distanzbändern des Personenverkehrsmodells angelegt sind. D.h. im Distanzband von 0 bis 2 km langen Fahrten wird im Modus „Stadtverkehr“ gefahren, d.h. mit den höchsten Verbräuchen aller Distanzbänder. Im Distanzband über 50km wird vorwiegend im Modus „Autobahn und Schnellstraße“ gefahren (d.h. Fernverkehr), und damit den zweithöchsten Verbräuchen, usw.
- Danach erfolgt ein Aufschlag um von NEFZ-Werten, die unter stark optimierten Bedingungen gewonnen werden, auf reale Verbräuche überzuleiten. Der Aufschlag wurde in ASTRA-HBS so gewählt, dass die statistisch belegten Energieverbräuche des Personenverkehrs mit Pkw in der Periode 2010-2018 möglichst gut getroffen werden. Im Ergebnis erhält man die realen Verbräuche der neu zugelassenen Pkw eines Jahrgangs.

- Diese realen Verbräuche werden zusammen mit dem Kohortenmodell (siehe Abbildung 3-10) in ASTRA-HBS überführt und erlauben so die Bestimmung der realen Verbräuche der gesamten Pkw-Flotte.

Abbildung 3-13: Treiber, Modellstufen und Entscheidungsfunktionen des Pkw-Kaufmodells

Quelle: M-Five, eigene Darstellung

Abschließend wird im Umweltmodell anhand der CO_2-Emissionsfaktoren der verschiedenen Energieträger aus der DIN EN 16258[8] in die Emissionen des Pkw-Verkehrs umgerechnet.

8 DIN EN 16258: *Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen (Güter- und Personenverkehr)*.

4 Die Szenarien nachhaltiger Mobilität

Dieses Kapitel erläutert zunächst das generelle Design der Szenarien und geht dann auf spezifische Aspekte der Szenarioausgestaltung für die dynamische, gesamtwirtschaftliche Analyse in AP5 ein.

4.1 Szenario-Design

Die Analyse der Beschäftigungsentwicklung bis 2035 soll anhand von zwei Szenarien erfolgen, die mit dem heutigen Zustand als sogenanntes Referenzszenario verglichen werden. Das Referenzszenario bildet damit den Ausgangspunkt der Bewertung und basiert auf dem Zustand von Mobilität und Beschäftigung in Deutschland im Jahre 2015. Die beiden Szenarien zeigen zwei Möglichkeiten nachhaltiger Mobilität für das Jahr 2035 auf. Die Szenarien für 2035 sind normativ und damit nicht durch Maßnahmen getrieben. Damit lauten die drei Szenarien des Projektes:

- Referenz Szenario (**REF-2015)**: verkehrliches und ökonomisches Mengengerüst für Deutschland **im Jahr 2015** (Beschreibung des Status quo).
- Szenario **Multi-Modalität-2035 (MM-35)**: Multi-Modalität mit Bahn im Fern- und Regionalverkehr intermodal und flexibel kombiniert mit dem Fahrrad und dem ÖPNV entwickelt sich zum dominierenden Verkehrsmittel im Jahr 2035.
- Szenario **E-Straße-2035 (ES-35)**: deutliche Stärkung des Umweltverbundes und Elektrifizierung des Straßenverkehrs, wodurch dieser bei zentralen Handlungsfeldern (Klima, Luftbelastung, Lärm) ebenfalls nachhaltig wird und seine dominante Rolle als Verkehrsmittel im Jahr 2035 behält.

Die beiden Szenarien **ES-35** und **MM-35** wurden 2018 definiert und bezogen sich auf einen Zeitpunkt in 17 Jahren. Rückblickend entspricht dies dem Jahr 2001 in der Vergangenheit: In Deutschland waren über 5 Mio. Kraftfahrzeuge weniger zugelassen als heute,[9] Smartphones gab es noch nicht, die Magnetschwebebahn Transrapid fuhr im Emsland, aber nicht in China. Dies verdeutlicht das mögliche Ausmaß von Veränderungen in den kommenden 17 Jahren.

Die folgende Tabelle 2 gibt die wesentlichen Merkmale der beiden Szenarien wieder, wie sie im Diskurs mit dem Projektbeirat erarbeitet und zum Teil während des Projektes vertieft wurden.

9 https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/FahrzeugklassenAufbauarten/fahrzeugklassen_node.html

Tabelle 2: Eckwerte der beiden Szenarien nachhaltiger Mobilität

	Szenarien für 2035	
	Szenario E-Straße 2035 (ES-35)	**Szenario Multi-Modalität 2035 (MM-35)**
Verkehrsleistung gesamt	+ 5 %	- 15 %
Verkehrsleistung MIV	804 Mrd. Pkm	529 Mrd. Pkm
Motorisierung 2015: **550** pro 1000 Einw.	**430** Pkw pro 1.000 Einwohner	**300** Pkw pro 1.000 Einwohner
Urbanisierung	+	+++
Verkehrspolitische Strategie	Effizienzsteigerung aller Verkehrsmittel	Verlagerung zum Umweltverbund
Multi-modalität	+	+++
Bereitstellung Mobilitätsdienste – IT Tool	Fahrzeugbasiert	Smartphone-basiert / fahrzeugunabhängig
Politische Strategie Schienenverkehr	+ Maximierung Rentabilität der Bahn	+++ Maximierung modaler Anteil

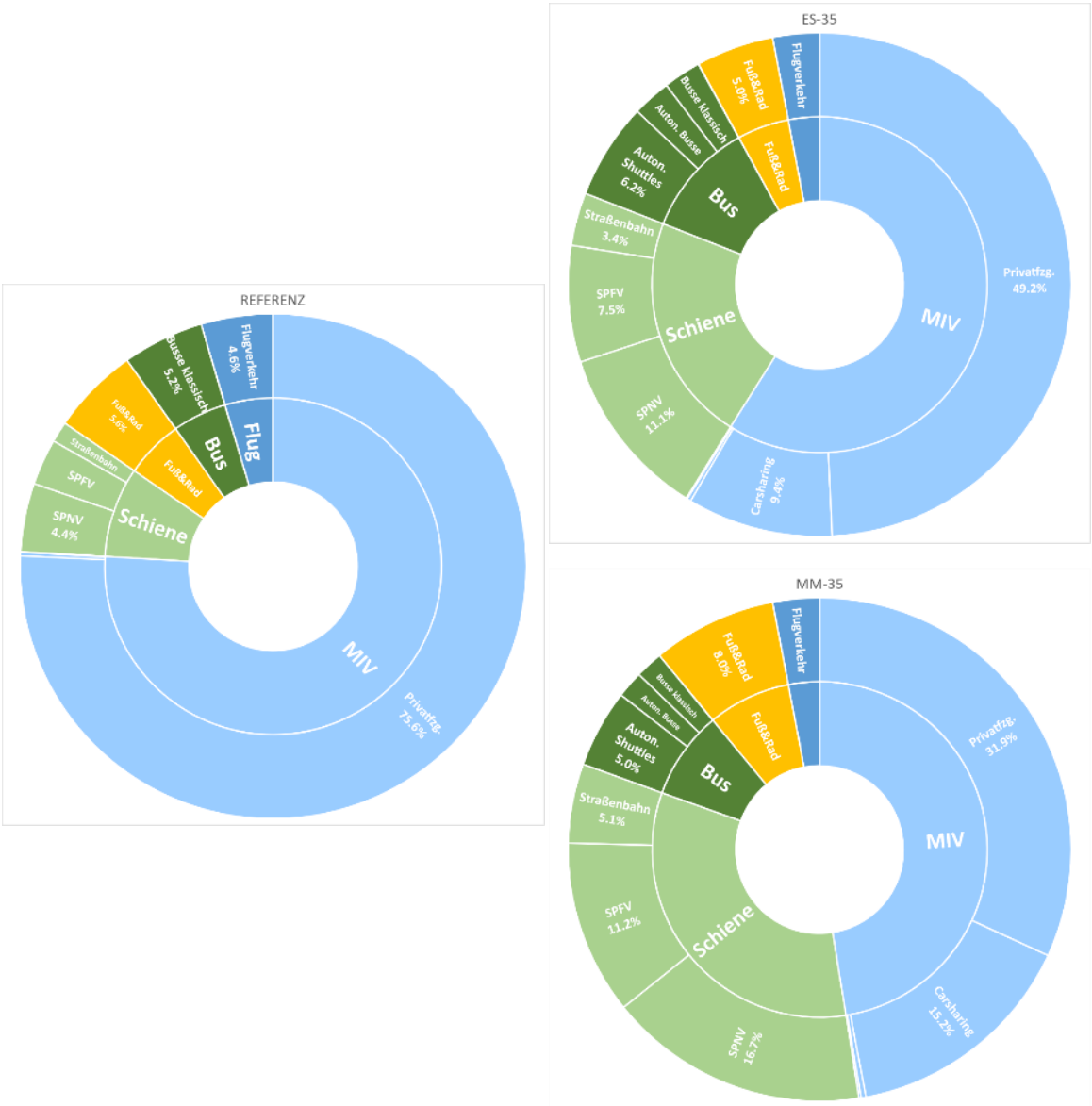
Quelle: M-Five, ISI, Projektbeirat, eigene Darstellung

Es ist mit technologischen Sprüngen, etwa in der Elektromobilität und beim automatisierten Fahren zu rechnen. Auch politische Entscheidungen zum Klimaschutz werden Auswirkungen zeigen. Die Bestandteile des Verkehrssystems werden aber im Wesentlichen dieselben sein wie heute, wenngleich sich Organisation, Anteile und Funktionen im Einzelnen deutlich verlagern können.

Der Fokus der Analysen liegt auf dem Wandel des Personenverkehrs. Der Güterverkehr wurde kursorisch mitbetrachtet, da er sowohl Kapazitäten des Verkehrssystems beansprucht, die dann nicht für den Personenverkehr zur Verfügung stehen, als auch für Beschäftigung in Produktion und Logistik sorgt. Neben dem Zielhorizont der Szenarien, dem Jahr 2035, wurde außerdem 2025 als Stützjahr betrachtet.

Die folgende Abbildung 4-1 gibt die für die Szenarien angenommenen Veränderungen der Verkehrsmittelanteile (Modal-split) wieder.

Abbildung 4-1: Verkehrsmittelanteile der Szenarien



Quelle: M-Five, eigene Darstellung

Zentrale **Trends** beeinflussen beide Nachhaltigkeitsszenarien. Die demographische Entwicklung hinsichtlich der Zahl der Menschen unterscheidet sich dabei nicht zwischen dem Szenario Multi-Modalität-2035 und E-Straße-2035. Andere mit der Mobilität in Wechselwirkung stehende Trends, wie städtebauliche Entwicklung und räumliche Verteilung der Bevölkerung oder die Marktdiffusion neuer Mobilitätskonzepte (Car-, Bike-, Ride-Sharing), werden verschieden ausgeprägt sein. Beispielsweise unterstützt eine stärkere Konzentration der Bevölkerung in größeren Städten und dichtere Besiedelung das Szenario Multi-Modalität-2035 genauso wie eine schnellere und stärker ausgeprägte Entwicklung neuer Mobilitätskonzepte. Auf der anderen Seite verbessert eine forcierte Digitalisierung und Elektrifizierung der Straßenfahrzeuge die Entwicklung zu nachhaltiger Mobilität im Szenario E-Straße-2035. Damit wird die Ausprägung dieser Trends sich zwischen den Szenarien nachhaltiger Mobilität unterscheiden.

4.2 Investitions-Impulse und Zeitpfade der Investitionen

Der Simulationszeitraum des ASTRA-HBS Modells erstreckt sich von 1995 bis 2035. Die Periode 1995 bis 2015/2018[10] wird für die Kalibrierung genutzt. Ab 2019 beginnt die Simulation der Szenarien nachhaltiger Mobilität bzw. auch von einem möglichen Investitions- und Politikprogramm zur Realisierung der Szenarien bis 2035.

4.2.1 Varianten zur Abschätzung von Investitionsimpulsen

Investitionen stellen eine zentrale Größe einer Volkswirtschaft dar. Sie bestimmen die Möglichkeiten der zukünftigen ökonomischen Entwicklung. Damit sind Investitionen auch ein zentrales Element einer gesamtwirtschaftlichen Analyse. In ASTRA-HBS bestehen vier Optionen, die Investitionen der Szenarien nachhaltiger Mobilität ins Modell zu implementieren (siehe auch Abbildung 4-2, in [..] die Referenz zur Position in der Abbildung). Die ersten drei Optionen erfolgen modell-endogen, die vierte Option erfolgt durch exogene Setzung. Alle vier Optionen stoßen endogene Wirkungsketten im Modell an:

- **BIP-gesteuert [1]**: die Investition in Verkehrsnetze (Straße, Schiene, Wasserstraße) erfolgt in Deutschland durch den Staat. Im Modell wird grundsätzlich ein fester Anteil des BIP jährlich in die Verkehrsnetze investiert. Der Anteil ist differenziert in staatliche Schienen- und Straßeninvestitionen[11]. Wächst in einem Szenario das zukünftige BIP stärker, liegen auch die Investitionen in Verkehrsnetze höher (und umgekehrt). Diese Investitionen führen zu Endnachfrage im Bausektor.
- **Verkehrsnachfrage-gesteuert [2]**: Investitionen in Anlagen zum Wechsel der Verkehrsträger (oder auch innerhalb eines Verkehrsträgers, d.h. Bahnhöfe, Logistik-Terminals, Umschlagsanlagen, etc.) erfolgen in Deutschland sowohl privat als auch mit Unterstützung des Staates. Diese Investitionen hängen in ASTRA-HBS ab von der Verkehrsnachfrage gemessen als Verkehrsleistung (pkm, tkm). Diese Investitionen führen zu großen Teilen zu Endnachfrage im Bausektor. Private Investitionen schlagen sich (soweit zuordenbar) in den Transportkosten nieder, staatliche in den Staatsausgaben.
- **Markthochlauf-gesteuert [3]**: der Markthochlauf bestimmter Verkehrstechnologien erfordert den Aufbau dazugehöriger Infrastrukturen. Beispiele sind die Nutzung von E-Pkw, die nur möglich ist mit dem Aufbau adäquater Ladeinfrastrukturen, oder die Nutzung von 100%-EE-Strom für Pkw, welcher nur glaubhaft realisierbar ist mit dem Aufbau zusätzlicher Erzeugungsanlagen von erneuerbarem Strom. Hier steuert die modellierte Markthochlaufkurve oder die im Szenario vorgegebene Diffusion von E-Pkw die Investition z.B. in Ladeinfrastruktur und zusätzliche EE-Anlagen. Die Verteilung der Investition als Endnachfrage auf die 57 Sektoren des Modells ist abhängig von der Art der Investition. Beispielsweise verteilen sich die Investitionen

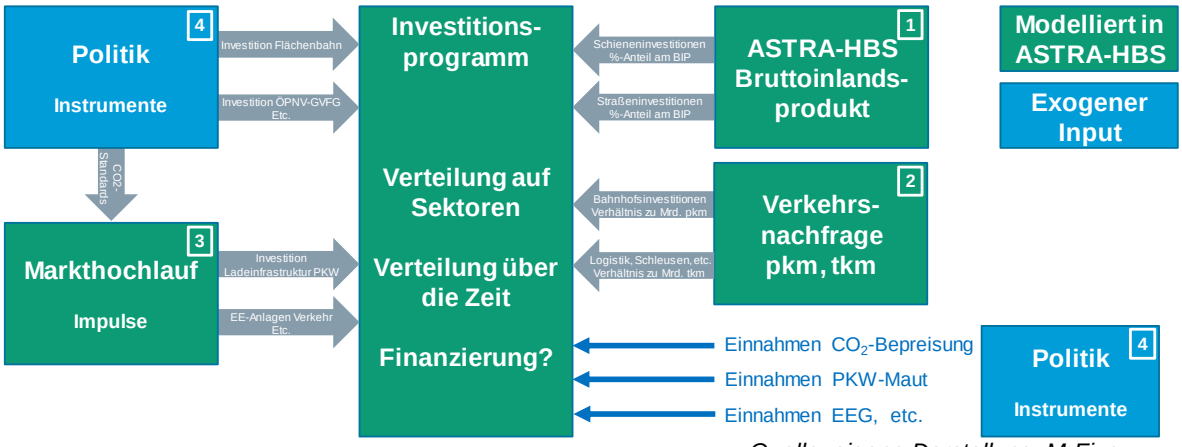
[10] Je nach Datenverfügbarkeit der zu kalibrierenden Modellvariable.

[11] Für Investitionen in Wasserstraßennetze ist kein eigener Anteil hinterlegt. Ihr Umfang ist gering und sie sind deshalb enthalten im Bereich der Straßeninvestitionen.

in Ladesäulen auf 7 Sektoren (Metallprodukte, Maschinen, Elektrik, Kommunikation, Elektronik, Bausektor, unternehmensbezogene Dienstleistungen). Die sektorale Aufteilung unterscheidet sich dabei jeweils von der Art der Ladesäule, da eine private Wallbox eine andere Lieferanten- und Herstellerstruktur aufweist als eine 100 KW öffentliche (Schnell-)Ladesäule.

- **Politik-gesteuert [4]**: die politische Vorgabe, das politische Instrument oder sogar die Definition des Szenarios bestimmt die Investition. Die Investition wird damit vollständig exogen im Modell eingeführt. Beispiele für ein politisches Instrument sind z.B. die Zuschüsse für den ÖPNV im Rahmen des Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetzes. Beispiel für ein Szenarioelement ist der Aufbau der Flächenbahn als Bestandteil des MM-35 (siehe Hüsing 1999). Die Verteilung der Investition als Endnachfrage auf die 57 Sektoren des Modells ist hier wieder abhängig von der Art der jeweiligen Investition. Hier kommt insbesondere hinzu eine vergleichende Abschätzung der im Szenario zusätzlichen staatlichen Ausgaben durch Investitionen und staatlichen Einnahmen durch neue oder modifizierte Instrumente (z.B. CO_2-Bepreisung) durchzuführen, um ein konsistentes Politik- und Investitionsprogramm zu generieren.

Abbildung 4-2: Varianten der Abschätzung von Investitionen in ASTRA-HBS



Quelle: eigene Darstellung, M-Five

Neben dem Abgleich der Veränderungen der staatlichen Ein- und Ausgaben ist auch eine vollständige Reflektion der privaten Investitionen notwendig. Bei den Unternehmen erfolgt dies in ASTRA-HBS über veränderte Transportkosten (z.B. bei Kauf anderer Fahrzeuge mit anderen Preisen, veränderte Energiekosten, etc.). Bei den Haushalten erfolgt dies im Bereich des Konsums über eine Verschiebung der Ausgaben zwischen Verkehrs- und Nicht-Verkehrskonsum und eine Berücksichtigung der sich ändernden km-Kosten bei den Mobilitäts-Entscheidungen.

4.2.2 Indikatorik zur Analyse der Modellergebnisse

Im Gegensatz zu den anderen beiden in diesem Vorhaben angewendeten Methoden, der regionalen und sektoralen Analyse mit ihrem Zeitpunkbezug auf 2035, entsteht in ASTRA-HBS eine Referenzentwicklung mit einem Zeitpfad für die gesamte Periode 2019 bis 2035. In der Projektdefinition wurde entschieden, diese zeitpfadbezogene Referenzentwicklung nicht im Detail auszuarbeiten. So werden in der Referenz von ASTRA-HBS aktuell die bis Ende 2018 ergriffenen zentralen Instrumente berücksichtigt, aber keine differenzierte Referenz entwickelt, wie sie sich im Trend mit moderaten Politikmaßnahmen bzw. ohne weitere Maßnahmen ergeben würde. Diese vereinfacht abgeleitete Referenz von ASTRA-HBS bezeichnen wir im Folgenden als REF-Dyn im Gegensatz zu REF-2015, welches die statische Referenz des Status quo für 2015 bezeichnet. Gegenüber REF-2015 werden die Ergebnisse aller drei Methoden verglichen und bewertet (siehe großen roten Pfeil im gelben Kasten in Abbildung 4-3). Für die dynamische, gesamtwirtschaftliche Bewertung steht mit REF-Dyn eine zusätzliche Referenz zur Bewertung von Entwicklungen zur Verfügung (siehe kleinen roten Pfeil im gelben Kasten in Abbildung 4-3). Je nach spezifischer Fragestellung und Analyse-Fokus kann es sinnvoll sein, das Ergebnis eines Szenarios oder eines Politikprogramms aus ASTRA-HBS gegenüber REF-2015 oder auch im Vergleich zu REF-Dyn darzustellen.

Die deutsche Automobilindustrie hat von 2015 bis 2018 eine dynamische Entwicklung mit einem Beschäftigungszuwachs von fast 52 Tausend Beschäftigten verzeichnet[12]. D.h. ein Vergleich der Beschäftigten 2035 gegenüber 2015 würde um 52 Tausend Beschäftigte weniger negativ ausfallen als der Vergleich 2035 gegenüber 2018. Daher ist für ausgewählte Analysen in diesem Arbeitspapier auch der Vergleich der Szenarien in 2035 gegenüber dem Zeitpunkt Ende 2018 sinnvoll. Dieser Vergleich wird im Folgenden in diesem Arbeitspapier als gegenüber REF-2018 oder gegenüber dem Niveau von 2018 bezeichnet.

Eine weitere Analyseoption für die Szenarien mit ASTRA-HBS ist der Vergleich der **kumulierten** Änderungen von 2015 (oder 2018, siehe vorigen Absatz) bis 2035. Links unten in Abbildung 4-3 stellt die grüne Fläche die kumulierte Mehr-/Minderinvestition gegenüber der dynamischen Referenz dar, d.h. für jedes Jahr von 2019 bis 2035 wird die Differenz eines Indikators (hier im Beispiel Investitionen) gebildet und dann aufaggregiert. Dieser Indikator beantwortet die Frage: *was müssten Unternehmen (Haushalte, der Staat, etc.) mehr tun, als sie ohnehin investieren würden bis 2035?*

Rechts oben in Abbildung 4-3 sind durch die grüne Fläche z.B. die kumulierten Mehr-/Minder-Investitionen oder -Staatseinnahmen dargestellt, wenn das Referenzniveau von 2015 bis 2035 konstant fortgeschrieben würde und für jedes Jahr die Differenz zum Szenario gebildet würde. Dieser Indikator gibt z.B. Antworten auf die Frage: *was müssten*

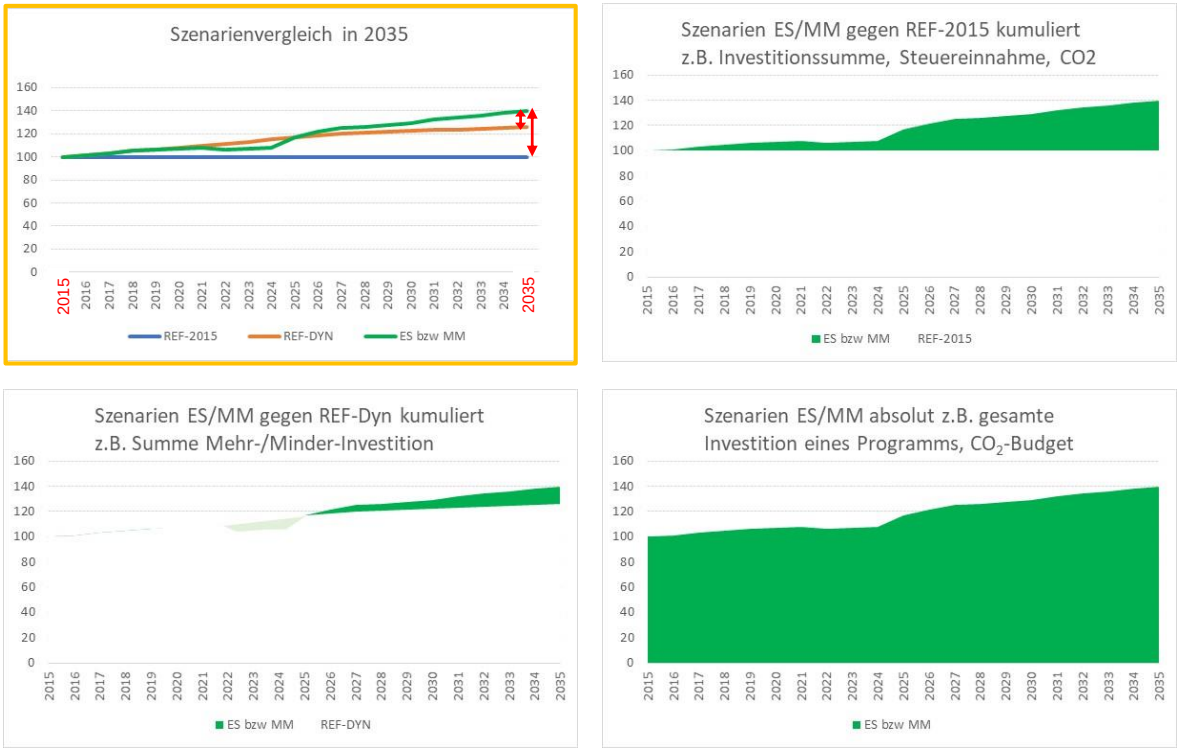
[12] DeStatis weist von Anfang 2015 bis Ende 2018 in der Monatsstatistik des Verarbeitenden Gewerbes für WZ-29 einen Zuwachs von fast 52 Tausend Beschäftigten aus. In ASTRA-HBS beträgt dieser Zuwachs bezogen auf Erwerbstätige fast 76 Tausend.

Unternehmen (Haushalte, der Staat, etc.) bis 2035 insgesamt mehr investieren, im Vergleich mit heute?

Rechts unten in Abbildung 4-3 sind z.B. die gesamten kumulierten Investitionen oder CO_2-Emissionen von 2015 bis 2035. Dieser Indikator gibt z.B. Antworten auf die Frage: *wieviel müssen Unternehmen (Haushalte, der Staat, etc.) bis 2035 insgesamt investieren?* Der Indikator erlaubt Vergleiche mit Phasen in der Vergangenheit oder auch eine Einordnung der für ein Szenario notwendigen Investitionen gegenüber dem verfügbaren Finanzkapital.

Die kumulierten Indikatoren sind auch bei der Beurteilung der CO_2-Emission relevant, da für diese eine Budget-Betrachtung mit dem Vergleich mit dem noch verfügbaren Gesamtemissionsbudget eines Landes oder auf globaler Ebene von Bedeutung ist.

Abbildung 4-3: Methoden zur Analyse der Ergebnisse der Szenarien



Quelle: eigene Darstellung M-Five

4.3 Politikprogramm zur Realisierung der Szenarien

Ein starker und schneller Infrastrukturausbau wird in beiden Szenarien vorausgesetzt -und erfordert insbesondere: die Bereitstellung zusätzliche finanzieller Mittel, die Mobilisierung von Arbeitskräften[13], die Beschleunigung bürokratischer Mechanismen und eine Flexibilisierung der BVWP. Darüber hinaus ist eine bessere finanzielle Ausstattung der

[13] Hier wird die Frage zu klären sein, ob und wie der Bausektor ein Wachstum der Nachfrage leisten kann, da bereits heute Kapazitäten im Bausektor knapp sind.

Kommunen bei der lokalen Verkehrs- und Mobilitätsplanung, die Vernetzung und Unterstützung der Kommunen und die Kommunikation von Vorbildern auch bezüglich der Bedürfnisse des Arbeitsmarktes (Bau als Technologiesektor mit attraktiven Beschäftigungsmöglichkeiten) erforderlich.

Die starken Veränderungen der Verkehrsmittelanteile in den Szenarien nachhaltiger Mobilität erfordern eine hohe Attraktivität des öffentlichen Verkehrs bei gleichzeitiger Erschwerung der Nutzung des MIV. Ein besserer öffentlicher Verkehr setzt insbesondere voraus:

- Besser ausgebildetes Personal für die Bahn und den ÖPNV, mehr Personal korrespondierend zum Wachstum der Nachfrage.
- Automatisierung und Rationalisierung wo möglich: Rangier- und Abfertigungsvorgänge bei der Bahn, automatisiertes oder ggf. ferngelenktes Fahren im ÖPNV, Plattformen zur automatischen Trassenvergabe, etc.
- Verbleibendes Personal an „echten“ Kundenschnittstellen und bei der Entwicklung, Planung, etc. einsetzen.
- Schnellere Planungs- und Genehmigungsverfahren (inkl. stringenterer und früherer Bürgerbeteiligung).
- Mehr Geld alleine ermöglicht keine zielgerichtete Umgestaltung des Mobilitätssystems.
- Eine Erschwerung der MIV-Nutzung kann nur mit ausgewogenen Informationskampagnen und anderweitigen Verbesserungen für die Bürger umgesetzt werden, z.B. Wegfall von Parkplätzen, höhere Kosten im MIV, etc. gegen besseren ÖPNV, Coupons für Carsharing, etc.

Zur Sicherung der politischen Akzeptanz sind stark betroffene Branchen und Vertreter der Zivilgesellschaft durch Beteiligungsprozesse in die Verkehrspolitikgestaltung einzubeziehen. Einwände der Bürger und der Zivilgesellschaft sind ernst zu nehmen; sie sind frühzeitig mit echten Wahlmöglichkeiten einzubinden, um dann gemeinsam eine schnelle Realisierung umsetzen zu können. Ziele von Infrastrukturverbesserungen sind klar zu kommunizieren, und durch Positivbeispiele zu illustrieren, so dass eine wünschenswerte Vision der zukünftigen, nachhaltigen Mobilität entstehen kann (siehe auch VIVER, Schade et al. 2011).

Das im folgenden dargestellte Politikprogramm umfasst nur **wichtige** Instrumente zur Erreichung nachhaltiger Mobilität, die in den meisten Fällen gleichzeitig zentrale Bestandteile eines Investitionsprogramms für nachhaltige Mobilität bilden. Das Politikprogramm ist nicht bis in die Details ausgearbeitet und erhebt auch keinen Anspruch auf Vollständigkeit, versucht aber die Größenordnungen der für die Szenarien nachhaltiger Mobilität notwendigen Investitionen basierend auf existierenden Studien und Vorarbeiten in anderen Arbeitspaketen des Vorhabens plausibel zu erfassen, um eine gesamtwirtschaftliche Analyse durchführen zu können. Das in ASTRA-HBS modellierte Politikprogramm setzt sich zusammen aus bereits ergriffenen Maßnahmen sowie Maßnahmen die die Modalanteile der umweltfreundlichen Verkehrsträger steigern, um die

vorgegebenen Szenarien nachhaltiger Mobilität zu realisieren. D.h. es werden Instrumente zur Verbesserung des Schienenverkehrs, des ÖPNV und des Radverkehrs definiert, sowie ökonomische Instrumente mit Verlagerungs- und Finanzierungswirkung der Infrastrukturen.

4.3.1 Bereits ergriffene Instrumente

Zu den bereits ergriffenen Instrumenten in beiden Szenarien gehören insbesondere die im Dezember 2018 vom Europaparlament beschlossenen CO_2-Standards, denen zufolge der spezifische CO_2-Ausstoß von neuen Pkw bis 2030 um 37.5 Prozent gegenüber 2020/21 sinken soll (EU VO 2019/631). Der CO_2-Ausstoß von neuen leichten Nutzfahrzeugen soll um 31 Prozent sinken (EU VO 2019/631) und der von schweren Nutzfahrzeugen um 30 Prozent (EU VO 2019/1242).[14]

Weitere bereits ergriffene Instrumente in den Szenarien ab 2019 umfassen die Verlängerung der Kaufprämie für E-Pkw (BEV, PHEV) bis 2021, die in den beiden Szenarien für BEV bis 2024 verlängert wurde und für PHEV bis 2022, sowie die Senkung der Trassengebühren für den Schienengüterverkehr um 50% ab 2019 und der Erlass der Mautgebühren von Null-Emissions-Lkw von 2019 bis 2021.

4.3.2 Instrumente für den Schienenverkehr

Der Schienenverkehr umfasst die Fern- und Regionalzüge, ggf. auch S-Bahnen, die auf Gleisen des Fern- und Regionalverkehrs verkehren und nicht auf Gleisen, die über das Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz (GVFG) gefördert werden. Aufbau und Erhalt dieses Netz wird durch zwei Instrumente staatlich finanziert: dem Bundesverkehrswegeplan (BVWP) mit den zugehörigen vom Bundestag beschlossenen Mitteln und den Mitteln aus der Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung (LuFV) zwischen dem Bund und der DB AG.

Zur Förderung des Schienenverkehrs wurden die Investitionen von 5 Mrd. im Jahr 2015 bereits auf rund 5.6 Mrd. € im Jahr 2019 angehoben. Eine weitere Anhebung auf etwa 6.2 Mrd. € jährlich ist bereits im Rahmen der BVWP 2030 vorgesehen. Dieser Wert ist für die Jahre 2020 – 2035 im Referenzszenario hinterlegt.

Um die Steigerung der Verkehrsleistung von knapp 100 Mrd. Pkm auf knapp 250 Mrd. Pkm im Szenario ES-35 zu erreichen, gehen wir von jährlich ca. 3.3 Mrd. € an Zusatzmitteln im Vergleich zur Referenz für neue Strecken, Ausbau überlasteter Bahnknoten und Engpässe, Digitalisierung und Deutschland-Takt aus, sowie Aufstockungen der Neubau-Investitionen von jährlich rund 1.7 Mrd. auf 2.5 Mrd. € und der Erhaltungsmittel von knapp 4 auf 9 Mrd. € aus. Die Verdoppelung der Erhaltungsmittel ist bereits im Rahmen der Leistungs- und

14 Zahlenangaben sind im Folgenden mit Dezimalpunkt „.“ und Tausendertrenner als `,´ (Komma) dargestellt.

Finanzierungsvereinbarung (LuFV-III) vorgesehen und fußt auf der Annahme, dass mit diesen Mitteln der Investitionsstau der vergangenen Jahrzehnte abgebaut werden kann. Dies entspricht insgesamt etwas mehr als einer Verdoppelung der derzeit im Rahmen der BVWP vorgesehenen Mittel.

In MM-35 soll zur weitreichenden Umsetzung von multi-modalen Mobilitätsdienstleistungen auch die Fläche besser mit der Bahn erschlossen werden um 90% der nachgefragten Verbindungen per Bahn realisieren zu können, und so die weitere Steigerung der Bahn-Verkehrsleistung um rund 50 Mrd. Pkm auf knapp 300 Mrd. Pkm im Szenario MM-35 zu erreichen. Hier folgen wir dem Konzept der **Flächenbahn** nachdem zwei Drittel der Fläche Deutschlands mit der Bahn erschlossen werden müssen, um 95% aller Menschen einen leichten Zugang zur Bahn zu verschaffen und damit 90% aller nachgefragten Verbindungen in Deutschland per Bahn realisieren zu können (Hüsing 1999). Wir gehen hier von einem zusätzlichen, jährlichen Investitionsbedarf von 3.6 Mrd. € im Vergleich zu ES-35 für den Neubau von rund 5,000 km und die Reaktivierung von rund 11,000 km Schienen und Haltepunkten im Sinne des Konzepts der Flächenbahn aus.

4.3.3 Instrumente zur Stärkung des ÖPNV plus neue Mobilitätsdienste

Der öffentliche Personennahverkehr hat in beiden Szenarien eine besondere Stellung, da er Schlüsselfunktionen für die Verkehrswende besitzt: Im Szenario E-Straße (ES-35) entsteht die Nachhaltigkeit im Verkehr nicht durch die Elektrifizierung allein, sondern auch durch eine effiziente öffentliche Personenbeförderung mit elektrischen Straßenfahrzeugen des ÖPNV (E-Busse, E-Shuttles und E-Taxis). Der Aufbau der elektrifizierten Bus-Flotten wird dabei staatlich bezuschusst. Im Szenario Multi-Modalität (MM-35) hat insbesondere der schienen-, aber auch der straßengebundene ÖPNV zunehmende Anteile im Mobilitätsmix. Gleichzeitig gibt es Orte und Situationen, die für einen effizienten Betrieb herkömmlicher ÖPNV-Angebote – der heute überwiegend auf großen und schweren Fahrzeugen mit mehr als zwölf Sitzplätzen basiert – ungünstig sein können. Hierzu zählen nicht nur dünnbesiedelte ländliche Räume und Nachtstunden, sondern auch sonstige Randzeiten oder eng bebaute Siedlungsgebiete. Hier rentiert sich oft kein Linien- und Taktverkehr. Diese Lücken können durch flexible Bedienformen verringert werden, die in Form von Anrufbussen, Sammeltaxis und Ähnlichem bereits heute Teil des ÖPNV sind. Wenn die Verkehrsleistung des MIV – wie in beiden Szenarien angenommen – aber umfänglich zurückgeht, entsteht zusätzlicher Bedarf an Mobilitätsdienstleistungen, die unserer Kalkulation nach nicht vollständig über herkömmliche ÖPNV-Formen abgedeckt werden können, sondern über neue On-Demand Dienste meist kombiniert nach dem Sharing-Konzept geteilter Fahrten. Daher halten wir in beiden Fällen einen erweiterten Ordnungsrahmen für notwendig, um die Szenarien vorstellbar zu machen. Diesen analytisch angenommenen Ordnungsrahmen möchten wir im Folgenden kurz am Beispiel der Regulierung der Personenbeförderung beschreiben. Dazu wird zunächst der Status quo zusammengefasst und im Anschluss auf die in den Szenarien unterstellten Veränderungen eingegangen.

4.3.3.1 Status quo des Personenbeförderungsrechts

Der öffentliche Personennahverkehr wird durch den Gesetzgeber bisher weitgehend über Busse und Bahnen, d. h. auf Basis linien- und spurgebundener Verkehrsmittel, definiert. Im einschlägigen **Personenbeförderungsgesetz (PBefG)** sind zusätzlich auch die Verkehrsmittel Taxi und Funkmietwagen (mit Fahrer) sowie Sonder- bzw. flexible Bedienformen wie der sogenannte Anrufbus oder das Anruf-Sammel-Taxi (AST) erfasst.

In der öffentlichen Wahrnehmung beginnt sich das Verständnis von **Mobilitäts- und Verkehrsdienstleistungen im weiteren Sinne** aber zu wandeln (Mogge 2018). Vielerorts sind zahlreiche Verleihsysteme mit unterschiedlichen Fahrzeugtypen zur öffentlichen Nutzung verfügbar: Vom Carsharing-Auto über Leihroller verschiedener Art bis zum Leihfahrrad. Zusätzlich bieten private Unternehmen Mitfahrgelegenheiten im sogenannten Ridepooling (Algorithmus-gestützte Sammelfahrdienste) oder Ridesharing (auch ohne kommerziellen Hintergrund) an. Diese Dienste werden rechtlich in der Regel aber anders behandelt als der zuvor genannte, „klassische“ ÖPNV.

Im weiteren Sinne basiert die öffentliche **Personenbeförderung in Deutschland** gegenwärtig auf zwei stark abweichenden Regulierungsgrundlagen, die sich besonders durch die **Genehmigungs- und Förderpraxis** unterscheiden. Diese Praxis ist so komplex und vielschichtig, so dass sie im Folgenden nur stark vereinfacht wiedergegeben werden kann.

Einerseits besteht der nach dem Personenbeförderungsrecht regulierte und vor allem mit dem Gebot **Daseinsvorsorge**[15] legitimierte ÖPNV. Dieser kann sowohl durch öffentliche, z. B. kommunale Stadtwerke, erbracht werden als auch durch private Unternehmen. In beiden Fällen müssen sich die Anbieter die Leistungen genehmigen lassen und eine Reihe von Pflichten einhalten – u. a. die Betriebs-, Beförderungs-, Fahrplan- und Tarifpflicht. Im Wesentlich sollen diese Pflichten gewährleisten, dass ein langfristiges, durchgehendes und für alle Nutzer zugängliches ÖPNV-Angebot besteht. Gleichsam als „Gegenleistung“ für diese weitreichenden Auflagen, sind die ÖPNV-Anbieter durch Konzessionen auf ihren Linien bzw. in ihren Gebieten vor unmittelbarer Konkurrenz geschützt. Zudem erhalten sie ggf. finanzielle Förderungen, wenn die Fahrgeldeinnahmen alleine nicht ausreichen, um den Betrieb aufrechtzuerhalten. Diese Mittel sind z. B. die sogenannten Regionalisierungsmittel oder die Gemeinde-Verkehrs-Finanzierungs-Mittel. Weiterhin werden Ausgleichszahlungen

15 Im Regionalisierungsgesetz (RegG) wird die Sicherstellung einer ausreichenden Bedienung der Bevölkerung mit Verkehrsleistungen im ÖPNV als Aufgabe der Daseinsvorsorge definiert. Unter Daseinsvorsorge können allgemein gesamtgesellschaftliche und langfristig angelegte soziale Vorkehrungen und infrastrukturelle Vorleistungen zugunsten der breiten Öffentlichkeit verstanden werden. „*Im Kern geht es hierbei darum, Leistungen allen Bürgern gleichmäßig und zu gleichen und billigen Bedingungen zukommen zu lassen. Die Notwendigkeit hierzu ergibt sich aus der zunehmenden Arbeitsteilung der Bevölkerung und der damit einhergehenden Entziehung von eigens verfügbaren Produktionsressourcen*“ (Berschin 2000, S. 6). Der Begriff ist deutlich zu unterscheiden von der (Daseins-) *Fürsorge*, die sich auf die besondere Bedürftigkeit einzelner sozialer Gruppen bezieht (Schwedes 2011, S. 4).

für Ermäßigungen gegenüber bestimmten Nutzergruppen gewährt (Ilgmann/Polatschek 2013, S. 133).

Anderseits sind in den vergangenen Jahrzehnten diverse neue Mobilitäts- und Verkehrsdienste entstanden, die **rechtlich nicht Teil des ÖPNV** sind. Die Unternehmen erhalten für ihre Leistungen in der Regel keine oder nur geringfügige staatliche Förderung und unterliegen nicht den Auflagen des PBefG. Dies betrifft herkömmliche Mietwagen- und Chauffeurdienste, aber auch das seit den 1990er Jahren bekannte Carsharing und das ältere Bikesharing sowie jüngere Mitnahme- und Shuttledienste. Die Angebote werden überwiegend durch private Unternehmen, vereinzelt auch durch öffentliche Betreiber oder in kommunaler Trägerschaft erbracht. Letztere sind besonders im Zuge der Digitalisierung entstanden, die durch Smartphone-Apps, elektronische Routenplanung und Online-Plattformen die Basis für vernetzte Mobilitätsdienste schuf. Diese Dienste können in der Regel im deutschen Markt aber nur insoweit agieren, als dass sie dem herkömmlichen ÖPNV nicht direkt Konkurrenz machen. So haben z. B. Mietwagen mit Fahrer im Unterschied zu konzessionierten Taxiunternehmen nach jeder beauftragten Fahrt eine Rückkehrpflicht zum Unternehmenssitz (BTM 2019). Während der Fahrt dürfen Fahrdienste ohne ÖPNV-Genehmigung bzw. Taxikonzession in der Regel keine spontanen Mitnahmewünsche von Fahrgästen erfüllen, es sei denn es liegt eine Sondergenehmigung vor.

Gleichzeitig haben besonders **internationale Erfahrungen** aus den USA gezeigt, dass bei geringer Regulierung nicht ausgeschlossen werden kann, dass klassischer ÖPNV durch neue Sharing- und Shuttledienste zum Teil ersetzt wird und insgesamt zusätzlicher Verkehr entsteht (Schaller 2018). Dies kann sowohl umwelt- als auch verkehrspolitisch unerwünschte Folgen haben, wenn die Bündelungswirkung der Linien- und Schienenverkehre geschwächt wird und dadurch zusätzlicher Verkehr entsteht. Die Forderung nach Aufrechterhaltung des Schutzes der Personenbeförderung vor direktem Wettbewerb als gemeinwirtschaftliche Aufgabe wird weiterhin erhoben (Ambrosius 2016, Knierim/Wolf 2019, Verdi 2016). Auch arbeits- und sozialpolitisch wird die Plattformökonomie der neuen Anbieter zunehmend kritisch hinterfragt (Daum 2019, Jürgens/Hoffmann/Schildmann 2017).

Die Ergebnisse der regionalen Analyse (AP 3) zeigen jedoch, dass die neuen Mobilitätsdienste bei zunehmender Verbreitung und sozialverträglicher Rahmensetzung eine eigene **Beschäftigungsrelevanz** entfalten können. Bei entsprechender Gestaltung ergeben sich Synergien zum herkömmlichen ÖPNV. Teilweise arbeiten ÖPNV-Betreiber bereits heute mit neuen Anbietern zusammen und bieten **kombinierte Leistungen** dies- und jenseits des PBefG an. Die Folgen dieser kombinierten Angebote für die Beschäftigung hängen von den jeweiligen **Regulierungsprämissen** ab. Einerseits ist es möglich, dass die parallele Existenz alter und neuer Angebote eine entsprechende Schmälerung des herkömmlichen ÖPNV zur Folge hat, so dass sich dieser durch die Förderung und Zusammenarbeit „kannibalisiert“, d. h. selbst schädigen könnte (Tartler 2019). Andererseits besteht bei entsprechender Gestaltung die Chancen, dass etwa die Mikromobilität im

Zweiradsharing die strukturellen Nachteile des ÖPNV gegenüber dem MIV, z. B. Lücken zwischen Haustür und Haltestelle auf der sogenannten „letzten Meile“, zu kompensieren (Trevor 2019). Zudem deuten die Diskussionen im Rahmen des Klimaschutzprogramms 2030 und der Erstellung der LUFV-III darauf hin, dass sich das Platz- und Fahrzeugangebot sowie die Erreichbarkeit des herkömmlichen ÖPNV sobald zusätzliche, neue Infrastrukturen benötigt werden aufgrund der langen Planungs- und Genehmigungszeiten und der Kapazitätsengpässe im Baugewerbe nur schwer bzw. mit einem ambitionierten Beschleunigungskonzept schnell genug vergrößern lassen, um die klimapolitisch angestrebte Verlagerung vom MIV zu Gemeinschaftsverkehren gemäß der Szenarien aufzunehmen.

4.3.3.2 Instrumente zur Regulierung der Personenbeförderung

Die Verkehrswissenschaften haben gezeigt, dass der herkömmliche ÖV – im Wesentlichen Bus, Bahn und Taxi – in aktueller Form alleine kaum ausreicht, um den klimapolitisch problematischen MIV in vergleichbarem Umfang zu ersetzen (siehe etwa Ilgmann/Polatschek 2013, Canzler/Knie 2016). Gleichwohl bildet der ÖPNV auch in Zukunft ein unverzichtbares Rückgrat öffentlicher Mobilität als Alternative zum Privatauto. Im Folgenden dient er als Ausgangspunkt für eine integrative Weiterentwicklung der Personenbeförderung unter Einbezug neuer Elemente und Impulse. Die verkehrspolitischen Instrumente zur Realisierung der Szenarien in puncto Personenbeförderung enthalten daher eine **veränderte Rahmensetzung**: Da die Möglichkeiten je nach Steuerung von einer destruktiven „Kannibalisierung“ bis hin zu einer synergetischen Kombination der Angebote reichen, sollten sie durch einen erweiterten Regulierungsrahmen frühzeitig proaktiv gestaltet werden: Der Gesetzgeber wird, so die Annahme, den Widerspruch zwischen den zwei verschiedenen Rechts- und Wirtschaftssphären der Personenbeförderung so zeitnah wie möglich durch eine **beide Sphären umfassende Struktur** ebnen. In der ausgeweiteten Rahmenstruktur wäre der ÖPNV gleichbedeutend mit sämtlichen Angeboten, die die Abhängigkeit der Verbraucher vom Privatauto verringern und zugleich **Verkehrsströme in weniger Fahrzeugen bündeln**. Um als ÖPNV zu gelten, müssten die Anbieter beides durch geeignete Messgrößen und regelmäßige Erhebungen nachweisen, z. B. durch die Abfrage der Pkw-Besitzquote ihrer Kunden bzw. die Auslastung ihrer eigenen Fahrzeuge, wie es heute schon bei der Vergabe des „Blauen Engel Carsharing“ geschieht (RAL gGmbH 2019). Auch die Bereitstellung allgemein zugänglicher Fahrzeuge im Sharing könnte als Verfügbarmachung öffentlicher Mittel zur „Selbstbeförderung“ interpretiert werden. Die Ausarbeitung und Umsetzung einer präzisen und rechtssicheren Definition wäre die gemeinsame Aufgabe von Verkehrsbetreibern, -wissenschaftlern, -planern und -politikern.

Insgesamt ist der ÖPNV bisher in besonderem Maße gemäß der **Einhaltung von Beförderungsbedingungen** reguliert, d. h. die Genehmigung bzw. Ausschreibungen setzen Anreize zu einem zuverlässigen Betrieb unter Ausschluss unmittelbarer Konkurrenz im Sinne des PBefG. Die Regulierung zielt damit im Wesentlichen auf die Sicherung des Status quo ab, was zum Teil auch als Verbraucherschutz im öffentlichen Verkehr interpretiert wurde (siehe bereits Herr 1993, S. 30). Vor dem Hintergrund stark erhöhter

Anforderungen an den ÖPNV in den Szenarien sollte dieses **Regulierungsverständnis verändert** werden: Wenn der ÖPNV die ihm zugedachte Rolle im Klimaschutz übernehmen soll, reicht unseres Erachtens die Daseinsvorsorge als zentrale Legitimationsgrundlage der Regulierungspraxis alleine nicht mehr aus und sollte um weitergehende **Ziele der Energieeffizienz und Synergieeffekte** ergänzt werden.

Den beiden Szenarien und den ermittelten Beschäftigungseffekte legten wir folgende **Anforderungen zur Reformierung des deutschen Personenbeförderungsrechts** zugrunde: Der aktuelle Fokus auf Konkurrenz- und Verbraucherschutz wird zukünftig sukzessive um weitere Regulierungsprinzipien ergänzt und auf andere Angebotsformen der Personenbeförderung ausgedehnt. Sämtliche Anbieter öffentlich zugänglicher Mobilitäts- und Verkehrsdienstleistungen – unabhängig vom Betreiber- und Geschäftsmodell – sollten auf übergreifende Ziele verpflichtet werden. Diese Ziele sind im Folgenden abhängig vom Szenario unterschiedlich ausgestaltet.

4.3.3.3 ÖPNV-Regulierung im Szenario E-Straße

Im Szenario **E-Straße** gehen wir davon aus, dass die Regulierung des ÖPNV stärker als heute auf den Grad der **nachhaltigen Elektrifizierung und Automatisierung** ausgerichtet wird. D. h. es würden nur solche Angebote genehmigt bzw. in Ausschreibungen bestplatziert und gefördert, die möglichst **ressourcenschonend und weitestgehend klimaneutral** sind. Im Idealfall sollten die Anbieter nachweisen, dass sie ihr komplettes Angebot ausschließlich auf regenerativer Energiebasis betreiben. Der Staat treibt den Ausbau der erneuerbaren Energien weiterhin aktiv voran, damit genügend regenerativ erzeugte Stromkontingente aus „heimischer Produktion“ für den Verkehrssektor verfügbar sind. Dies beinhaltet den Netzausbau und -umbau, so dass die Stromnetze weiter von zentralen Großkraftwerken auf dezentrale Anlagen kleiner und mittlerer Größe umgestellt werden. Die Verpflichtung zur Nutzung erneuerbarer Energien gilt für sämtliche Mobilitätsdienstleister inklusive Anbieter von Mobilitätsplattformen. Finanzielle Förderungen sollten auch nach der eingesparten Menge an Klimagasen bemessen sein. Zudem sollte der Automatisierungsgrad im Sinne einer maximierten Straßennutzung und Verkehrssicherheit ebenfalls möglichst hoch sein (SAE-Level 5 in verkehrsberuhigten Bereichen, andernorts möglichst Level 4). Um die flächendeckende und verkehrssichere Nutzung des automatisierten Fahrens zu gewährleisten, ist der Staat gefordert, auch die **digitale Infrastruktur** entsprechend zu fördern und nötigenfalls selber auszubauen. Die Automatisierung erfolgt dabei aber nicht pauschal und flächendeckend, sondern schwerpunktmäßig dort, wo die Personalkosten den herkömmlichen ÖPNV mangels Auslastung besonders unwirtschaftlich macht. Die Effizienzsteigerung ist deshalb wichtig, weil das Szenario E-Straße davon ausgeht, dass sich der ÖPNV in Form von elektrischen Bussen, On-Demand-Shuttles, Taxis und Leihfahrzeugen verstärkt auf die Straßen konzentriert. Um den Flächenverbrauch durch zusätzliche Straßen und Parkplätze zu begrenzen, werden die vorhandenen Verkehrsflächen so effizient wie möglich genutzt. Dabei begünstigen die Regulierungen und Förderungen vorzugsweise solche Anbieter, die pro zurückgelegtem Fahrzeugkilometer nachweislich möglichst viele Personen befördern bzw. eine größtmögliche

Fahrzeugauslastung erzielen. Da vor allem die neueren Dienste in starkem Maße Daten nutzen, um z. B. Leihfahrzeuge zu lokalisieren oder Routen von On-Demand-Shuttle zu berechnen, sind dies auch Fragen für den Datenschutz. Die effiziente Abwicklung von Verkehrs- bzw. Datenflüssen geschieht daher stets im Einklang mit der Transparenz und Einwilligung durch die Nutzer. Die Unterstützung könnte um „weiche Maßnahmen“, wie die Vergabe staatlicher Gütesiegel ergänzt werden. Auf städtischer Ebene stellt der Bund den Kommunen rechtliche und finanzielle Mittel zur Gewährung räumlicher **Vorrechte im Park- und Stationsmanagement** bereit.

4.3.3.4 ÖPNV-Regulierung im Szenario Multi-Modalität

Im Szenario Multi-Modalität ist die Regulierung hingegen stärker auf den Grad der **multi- und intermodalen Nutzung** sowie auf die Integration zwischen den Dienstleistungen ausgerichtet. D. h. es sind nur solche Angebote genehmigungsfähig bzw. in Ausschreibungen bestplatziert oder förderwürdig, die einen möglichst großen **Integrationsgrad und Kompatibilität** zu anderen Dienstleistungen bieten. Registrierung, Buchung, Zugang und Abrechnung sind grundsätzlich auch mit Anmeldungssystemen jeweiliger Fremdanbieter möglich, solange die Backend-Systeme eine eindeutige Einnahmeaufteilung zulassen und der Schutz persönlicher Daten gewährleistet ist. Infrastrukturell hat der Ausbau des Verkehrsträgers Schiene und dabei insbesondere der Bahnhöfe als multi-modale Knoten oberste Priorität. Staat und Unternehmen wirken auf eine Umwandlung der Bahnhöfe zu intermodalen **Mobilitätsdrehscheiben** einschließlich aller örtlichen Beförderungsoptionen hin. Um die flächendeckende und zuverlässig Nutzung **digitaler Mobilitätsplattformen** zu gewährleisten, ist der Staat gefordert, das Internet- und Mobilfunknetz auszubauen und auf dem aktuellen Stand der Technik zu halten. Bei der Verschmelzung sämtlicher kommerzieller Dienste zur Personenbeförderung hat die Integrationsfunktion eine zentrale Bedeutung. Damit sind all jene Institutionen gemeint, die eine Koordination der unterschiedlichen Dienstleistungen hinsichtlich durchgehender Informations-, Buchungs- und Abrechnungssystematik gegenüber den Kunden ermöglichen. Besonders die Auswertung von Nutzerdaten und Bewegungsprofilen ist allerdings zwiespältig: Mobilitätsplattformen werden umso attraktiver, je mehr Dienste ohne Zusatzaufwand nutzbar sind. Dies ist aber oft nur durch Datenweitergabe erreichbar, deren Folgen für die Kunden nicht immer ersichtlich sind. Daher werden **unabhängige „Broker- und Clearing-Stellen“** eingerichtet, die den Austausch und -abgleich sensibler Daten zwischen den Anbietern vermitteln. Ebenso wichtig ist die rechtliche Absicherung der Beschäftigten, da ein derart erweiterter ÖPNV stark abweichende Beschäftigungsverhältnisse umfasst. Diesbezüglich wird die soziale Verantwortung der Anbieter für ihre Mitarbeiter – auch im Falle von Mobilitätsplattformen – zu einem festen Bestandteil der politischen Gestaltung. Entsprechende **sozialpartnerschaftliche und rechtliche Standards** werden daher bei der Förderung von Integrationsmaßnahmen stets besonders berücksichtigt. Eine Ergänzung dieser Instrumente erfolgt durch „weiche Maßnahmen“, wie die Vergabe staatlicher Gütesiegel. Da die Integration letztlich in bestimmten Städten und Gemeinden vor Ort stattfindet, werden kommunale Gebietskörperschaften mit den regulatorischen und finanziellen Mitteln ausgestattet, um die

kombinierten Angebote nach den ortsspezifischen Erfordernissen auszugestalten. Der Staate gestaltet die heutigen Verkehrsverbünde in Abstimmung mit den Aufgabenträgern und Betrieben des ÖPNV zu **Mobilitätsverbünden** (VDV 2013) um, die sämtliche öffentlich zugänglichen Verkehrsmittel unter einer einheitlichen Plattform zusammenfassen, d. h. Bus, Bahn, Taxi, aber auch Fahrzeug-Sharing und Mitnahmeangebote aller (gewerblicher) Art. Die Einbindung der Anbieter in den jeweiligen örtlichen Verbund wird zur Voraussetzung für ihre Zulassung. Das herkömmliche Prinzip „*ein Verbund, ein Ticket, ein Tarif*“ wird um den Zusatz „*ein Zugang, ein Zahlungsmittel*“ ergänzt. Die Abrechnung geschieht aus Gründen der Transparenz nach einem einheitlichen Maßstab, etwa einem Kilometer- oder auch einem CO_2-Tarif.

4.3.3.5 Regie-Instanz für den erweiterten ÖPNV …

Die Annahme eines einheitlichen Rechtsrahmens für bislang unterschiedlich geregelte Mobilitätsdienste wirft auch die Frage nach der Trägerschaft und Kontrollinstanz auf: Wer soll für die Einhaltung der Regeln und Standards Sorge tragen? Die Regieaufgaben könnten beim herkömmlichen ÖPNV liegen. Es ist aber auch nicht auszuschließen, dass neue Anbieter und Plattformbetreiber versuchen werden, selbst die Rolle des Koordinators zu übernehmen. Um den hierdurch möglicherweise entstehenden Kannibalisierungseffekten vorzubeugen, gehen wir in beiden Szenarien davon aus, dass die **Regiefunktionen bei möglichst unabhängigen, dritten Instanzen** liegen. Im Fall des Szenarios E-Straße kommt beispielsweise eine erweiterte Bundesnetzagentur in Betracht, um die Verkehrswende im ÖPNV zusammen mit der Energiewende zu koordinieren. Im Szenario Multi-Modalität ist voraussichtlich der Koordinationsbedarf vor Ort vielschichtiger und sollte daher regionaler ausgestaltet werden. Eine mögliche Instanz wären die genannten Mobilitätsverbünde als Weiterentwicklung der heutigen Verkehrsverbünde.

4.3.3.6 … bei gleichzeitiger Regulierung des MIV

Gewünschte Effekte des erweiterten ÖPNV werden immer nur so erfolgreich sein, wie gleichzeitig unerwünschte Folgen des MIV zurückgedrängt werden. Die oben skizzierten Annahmen basieren darauf, dass der ÖPNV aus einer reinen „Vorsorgefunktion“ für Nicht-Autonutzer zu lösen und zum umfassenden Mobilitätsgaranten umzugestalten ist, wie es heute de facto das Privatauto darstellt. Lange Zeit war das Privatauto der Dreh- und Angelpunkt der Verkehrspolitik: Diese Rolle kommt in den Szenarien nachhaltiger Mobilität dem erweiterten ÖPNV zu.

Pkw in privater Nutzung behalten dort ihre Berechtigung, wo der herkömmliche ÖPNV weder energie- und ressourceneffizienter noch lückenlos und flächendeckend ist. Dies bedeutet im Umkehrschluss aber auch, dass in allen anderen Räumen gemeinschaftlich genutzte Angebot besondere Vorrechte genießen, die dem MIV nicht mehr in heutigem Maße zustehen.

Im Szenario E-Straße könnten öffentliche Mobilitätsangebote z. B. zu vergünstigten Konditionen Ladeinfrastruktur nutzen (günstige Strompreis, Steuererleichterungen, freies

Parken während des Ladevorgangs). Im Gegenzug müssten insbesondere Innenstädte für Privatfahrzeuge oberhalb enger und streng kontrollierter CO_2- und Schadstoff-Grenzwerte gänzlich gesperrt werden. Dies sollte jedoch schrittweise und stets flankiert durch zuverlässigen und flexiblen, erweiterten ÖPNV erfolgen, und der Wandel wo erforderlich sozialverträglich abgefedert werden.

Auch im Szenario Multi-Modalität sollte die Nutzung des öffentlichen Raumes eng an die Zugänglichkeit der Fahrzeuge für die Allgemeinheit gekoppelt werden: Alle Angebote, die nachweislich die Abhängigkeit vom Privat-Pkw verringern und Verkehre bündeln, dürfen öffentlichen Verkehrs- und Parkraum kostenlos oder stark vergünstigt nutzen. Alle Fahrzeuge, die nicht öffentlich zugänglich sind, sollten in ÖPNV-erschlossenen Gebieten nur insofern betrieben werden dürfen, als dass für den genutzten Park- und Verkehrsraum ein Entgelt entrichtet wird, das wiederum in die Förderung des ÖPNV fließt.

In beiden Szenarien ist eine stadtweite Parkraum- und Einfahrtsbewirtschaftung (Innenstadtmaut) mit schrittweise steigenden Preisen für sämtliche Pkw-Besitzer (inklusive Anwohner) anzustreben, sofern der ÖPNV ein vergleichbares Mobilitätsniveau bieten kann. Je nach Ausgestaltung kann diese Stadtraumbewirtschaftung zusätzlich zu einer CO_2-Bepreisung und einer km-basierten Pkw-Maut erhoben werden, welche zur generellen Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur in den Szenarien dienen. Über die genaue Ausgestaltung und Entgelthöhe sollte die Kommune vor Ort entscheiden dürfen. Des Weiteren sind in beiden Szenarien die Straßenverkehrsordnung (StVO) sowie die Gebührenordnungen gemäß dem neuen Regulierungsrahmen anzupassen. Dabei sollten die Kommunen in die Lage versetzt werden, von den neuen Regelungen flexibel Gebrauch zu machen, um flexibel auf lokale Bedarfe reagieren zu können aber auch Mindeststandards einzuhalten.

4.3.3.7 Finanzmittel für den (erweiterten) ÖPNV

Im Unterschied zu anderen Wirtschaftszweigen hat der ÖPNV in Deutschland die Besonderheit, existenziell und langfristig auf finanzielle Unterstützung durch den Staat angewiesen zu sein. Die Nutzerfinanzierung – d. h. direkte Fahrgeldeinnahmen plus ggf. Werbe-, Pacht- und sonstige Einnahmen – reichen alleine bei den meisten ÖPNV-Unternehmen zur Kostendeckung nicht raus. Im Durchschnitt liegt der Kostendeckungsgrad der im VDV organisierten Unternehmen bei ca. 76 % (Dorsch 2019: 76). Der Erhöhung der Nutzungsfinanzierung durch Preisanhebung sind Grenzen gesetzt: Zum einen durch die im ÖPNV allgemein hohe Preiselastizität, zum anderen aber auch durch politische Aspekte der Preisbildung (ebd.). Zum Grundverständnis des öffentlichen Nahverkehrs in Deutschland gehört es, diesen zur staatlichen Daseinsvorsorge zu zählen. Dieser Anspruch wird in finanzieller Hinsicht über umfangreiche Transferleistungen zur Kompensation der Deckungslücke eingelöst. Dies bedeutete für die Anbieter im ÖPNV eine latente Verlagerung des Hauptgeldgebers: Waren noch bis in die 1960er Jahre hinein die Fahrgeldeinnahmen die dominierende Einnahmequelle wurden in den Jahrzenten danach die Mittel der öffentlichen Hand zu einer weiteren wichtigen Finanzierungsquelle. Dies hat

sich auch unter dem Eindruck der vergleichsweise jungen Steigerung der Fahrgastzahlen in zahlreichen deutschen Städten nicht substanziell geändert.

Aus dieser Ressourcenlage resultieren ausgesprochen komplexe Finanzierungs- und Verantwortungsverflechtungen. ÖPNV-Anbieter sind im Rahmen von Ausschreibungen und Vergaben dazu verpflichtet, ihr Angebot im Rahmen der Vertragslaufzeiten sowie der bedienten Linien und genehmigten Tarife aufrechtzuerhalten. Mit diesen Auflagen bzw. Pflichten möchte der Gesetzgeber im Sinne der Daseinsvorsoge eine gleichbleibende und möglichst flächendeckende Grundqualität sicherstellen. Diese betrifft auch Bediengebiete und Angebotszeiten, die mangels Auslastung betriebswirtschaftlich keinen kostendeckenden Betrieb zulassen. Einige der zur ÖPNV-Finanzierung genutzten externen Mittel sind nachfolgend knapp beschriebenen. Im allgemeinen Verständnis können sie als Ausgleich für gemeinwirtschaftliche Aufgaben verstanden werden.

Mittel nach dem Regionalisierungsgesetz (RegG) bzw. „ÖPNV-Landesmittel“

Im Zuge der Bahnstrukturreform in den 1990er Jahre wurde die Verantwortung für den ÖPNV von der Bundesebene stärker auf die Länderebene verlagert, was seither als Regionalisierung des ÖPNV bezeichnet wird. Die Regionalisierung wurde damit begründet, dass nur so eine an den Bedürfnissen der aktuellen und potenziellen Nachfrager ausgerichtete und vor Ort definierte Quantität und Qualität des ÖPNV zu sichern sei. Gleichzeitig sollte die Kostenverantwortlichkeit eindeutiger als bisher definiert werden und insbesondere die Effizienz der Versorgung der Bevölkerung mit ÖPNV-Leistungen erhöht werden. Das als Kompromiss zwischen Bund und Ländern schließlich entstandene Regionalisierungsgesetz (RegG) definiert Nahverkehrsleistungen seit 1993 explizit als Teil der Daseinsvorsorge. Als Ausgleich für die übernommene Finanzverantwortung über den defizitären Nahverkehr stehen den Ländern laut Grundgesetz – näher geregelt durch das RegG – seither alljährlich Milliardenbeträge des Bundes zu, die sogenannten Regionalisierungsmittel. Der Bund nimmt diese Mittel aus dem Steueraufkommen und weist sie den Bundesländern zu (Ilgmann/Polatschek 2013, S. 132). Mit diesen Mittel sind nach dem RegG „insbesondere“ der Schienenpersonennahverkehr (SPNV) zu finanzieren. In geringerem Umfang können aber auch andere ÖPNV-Leistungen mit ihnen finanziert werden (VDV 2020). Die Aufteilung der Finanzmittel auf den SPNV und sonstigen ÖPNV ist von Bundesland zu Bundesland verschieden (Dorsch 2019: 78).

Mittel nach dem Gemeindesverkehrsfinanzierungsgesetz (GVFG) bzw. GVFG-Bundesprogramm

Diese Finanzmittel gehen aus dem Bundeshaushalt an die Bundesländer als allgemeine Investitionshilfe zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse in den Gemeinden (sowohl für Straßen allgemein als auch für den ÖPNV im Besonderen). Zu den förderwürdigen Maßnahmen zählen beispielsweise die Einrichtung von Busspuren und Busbahnhöfen, die Errichtung von Verkehrsleitsystemen, der Bau von Park- & Ride-Parkplätzen sowie von Verkehrswegen für Nahverkehrsbahnen (Dorsch 2019: 78). Mit der Einführung der Regionalisierungsmittel wurden die Mittel nach dem GVFG deutlich gekürzt. Im Jahr 2015 vereinbarten Bund und Länder, die damaligen Bundesprogramm-GVFG-Mittel ungekürzt

über das bisherige Enddatum 2019 hinaus bereitzustellen. Mittlerweile wurden diese wieder deutlich erhöht und mit konkreten Beträgen bis zum Jahr 2035 hinterlegt (siehe Kapitel 5.1.1.3).

Mittel nach dem Bundesschienenwegeausbaugesetz (BSchwAG)

Der Bund beteiligt sich gemäß dem Grundgesetz an dem Ausbau und Erhalt der Schienenwege. Hiervon profitiert auch der Schienennahverkehr, dessen Infrastruktur – ebenso wie der Schienenfernverkehr – im entsprechenden Bedarfsplan berücksichtigt ist. Konkret sollen 20 % der bereitgestellten Mittel in den SPNV investiert werden. Teilweise geschieht dies unter Beteiligung von Kommunen und Ländern (Dorsch 2019: 79).

Tarifersatzleistungen: Zuschüsse für die Beförderung von Schülerinnen und Schüler, Auszubildenden, Schwerbehinderten sowie Unterstützung von Verbundtarifen

Bei diesen Mitteln handelt es sich um Zuschüsse für die Beförderung bestimmter Fahrgastgruppen, die mit sozialpolitischen Begründungen Entgeltvergünstigungen erhalten. Diese Mittel umfassen gesetzliche Leistungen von Bund und Ländern gemäß Allgemeinem Eisenbahngesetz (AEG), PBefG bzw. den Länder-ÖPNV-Gesetzen oder speziellen Landesgesetzen sowie dem Sozialgesetzbuch. Die Gelder beinhalten auch freiwillige Leistungen von Ländern und Kommunen. Hinsichtlich der Schülerfahrten bestehen zum einen Ausgleichszahlungen der öffentlichen Hand für die Differenz zwischen Schüler- und Normaltarif. Zum anderen besteht die Förderung aus kostenlos zur Verfügung gestellten Schülerfreifahrkarten durch den Schulträger. Für die Unterstützung des Ausbildungsverkehrs gilt Ähnliches. Zu den Tarifersatzleistungen zählt ferner der Ausgleich für sogenannte Harmonierungs- und Durchtarifierungsverluste, die durch Anwendung von Verbundtarifen entstehen. Die Kosten für diese Ausgleichsleistungen tragen Kommunen, Regional- und Zweckverbände sowie teilweise die Bundesländer (Dorsch 2019: 76 f.).

Fördermittel des Bundes und der EU

Zusätzlich zu den oben genannten Mitteln stehen besondere Fördermittel zur Verfügung, die von einzelnen ÖPNV-Unternehmen je nach Erfüllung von Voraussetzung und Antragsstellung abgerufen werden können. Hierzu zählen z. B. Mittel zur Förderung der Elektromobilität. Auf der EU-Ebene kommen im Europäischen Fond für regionale Entwicklung (EFRE) ebenfalls Mittel für den ÖPNV in Betracht. Was im Einzelnen gefördert wird, hängt in der Regel von der jeweiligen Gebietskörperschaft ab (Dorsch 2019: 80).

Darüber hinaus stehen je nach ÖPNV-Unternehmen ggf. weitere Mittel zur Verfügung, z. B. aus dem sogenannten „kommunalen Querverbund“. Damit ist sind Praktiken der steuerlichen Gewinn- und Verlustrechnung im Rahmen von Stadtwerken gemeint, wodurch Steuervorteilen zum Tragen kommen (Dorsch 2019: 77). Die Aspekte der kommunalen Querfinanzierung und der Tarifersatzleistungen wurden in den Szenarien nicht einbezogen.

4.3.4 Instrumente zur Stärkung des Radverkehrs

Ein Förderprogramm Radverkehr müsste neben dem zügigen Ausbau von Radschnellverbindungen insbesondere eine schnelle Ausbildung von Radverkehrsplanern (ggf. auch der Aufbau einer flexibel einsetzbaren Planergruppe um kurzfristig Umsetzungs-Barrieren aufgrund Personalmängeln zu beheben), die Förderung des Radfahrens an Bildungseinrichtungen (Abstellanlagen, Schulwegpläne etc.), hohe Standards für auch für Lastenräder geeignete Abstellanlagen an ÖV-Punkten, Mietshäusern, Innenstädten und öffentlichen Einrichtungen und bundesweite Kaufprämien für elektrifizierte Fahrräder und Anhänger umfassen. Mittelfristig wären außerdem die Straßenverkehrsordnung (StVO) (z.B. Regelgeschwindigkeit Tempo 30 in Städten) sowie die technischen Regelwerke für Radverkehrsanlagen zu aktualisieren und im Falle der technischen Regelwerke verpflichtend umzusetzen, um langfristig eine flächendeckend hochwertige Infrastruktur bereit zu stellen. Zielvorgaben für den Radverkehrsanteil auf Ebene der Kommunen oder Landkreise könnten zur Unterstützung der politischen Willensbildung ebenfalls sinnvoll sein.

Die 2019 angekündigte Aufstockung der Bundesmittel von jährlich rund 130 Mio. um 225 Mio. € dürfte kaum mehr als eine Sicherung der aktuellen Verkehrsleistung ermöglichen. Die angestrebte Erhöhung des Radverkehrsanteils hingegen dürfte deutliche Erhöhungen der investiven und nicht investiven Mittel sowie der Mittel für Betrieb und Unterhalt erfordern.

4.3.5 Instrumente mit Lenkungs- und Einnahmewirkung

Der Staat wird in den Szenarien zum einen zusätzliche Ausgaben tätigen, um die Infrastrukturen selbst aufzubauen (wie bei den meisten Investitionen im Verkehrssektor) oder um den Aufbau innovativer Infrastrukturen durch Förderung zu stimulieren (eher im Bereich des Energiesektors bzw. der Kopplung mit dem Energiesektor). Außerdem werden sich in den Szenarien bestimmte Einnahmen verringern, wie z.B. die Energiesteuer auf fossile Kraftstoffe. D.h. die Realisierung nachhaltiger Mobilität wird nicht nur das Verhalten der privaten Haushalte und die Strategien der Unternehmen verändern, sondern auch die Einnahmen- und Ausgabenseite des Staates stark beeinflussen. Daher muss ein ausgewogenes Politikprogramm auch die Balance von Änderungen auf der Einnahmen- und Ausgabenseite des Staates berücksichtigen.

Da dieses Arbeitspaket die gesamtwirtschaftlichen Effekte analysiert, fokussieren die bisher skizzierten Instrumente zur Erreichung nachhaltiger Mobilität auf Investitionen, die auf der Angebotsseite notwendig sind, da diese eine zentrale Determinante der ökonomischen Entwicklung darstellen, sowie auf zentrale Regulierungsaspekte zur Realisierung der neuen Mobilitätsdienstleistungen und der Multi-Modalität als wichtigste Alternativen zum heutigen Mobilitätssystem. Insbesondere sind dies die Regulierungen im PBefG und zum ÖPNV.

Die Adressierung der Angebotsseite im Politikprogramm durch Zuschüsse und Förderungen wird nicht ausreichend sein, um die Szenarien nachhaltiger Mobilität zu realisieren. Zusätzlich werden Instrumente erforderlich sein, die eine verhaltenssteuernde Wirkung

entfalten, eine sogenannte Lenkungswirkung. Das Politikprogramm im Verkehrssystem muss also sowohl die erwartete Lenkungswirkung in den Szenarien entfalten, als auch die Balance des Staatshaushaltes weitgehend wahren, und gleichzeitig eine ökonomische Stabilität nachweisen. Letzteres zu analysieren, ist Kern dieses Arbeitspapiers.

Die zentralen Instrumente mit Lenkungs- und Einnahmewirkung im Politikprogramm der Szenarien sind:

- Die Einführung einer CO_2-Bepreisung für den Verkehr, wie sie z.B. von der Nationalen Plattform Mobilität der Zukunft (NPM) gefordert wurde (NPM 2019), und dann in zahlreichen wissenschaftlichen Analysen untersucht und vorgeschlagen wurde (Edenhofer et al. 2019, DIW 2019), stellt ein notwendiges (aber kein alleine hinreichendes) Instrument dar. Wichtig ist aufgrund der unterschiedlichen Zahlungsbereitschaft in verschiedenen Sektoren zunächst ein separates System für den Verkehr aufzubauen, welches mittel- und langfristig mit CO_2-Preissystemen in anderen Sektoren integriert werden kann. Der CO_2-Preispfad orientiert sich an den genannten Studien und ist für beide Szenarien gleich angelegt, beginnend in 2020 bei einem CO_2-Preis von 35 $€_{2010}$ / tCO_2, in 2030 bei 180 $€_{2010}$ / tCO_2 und in 2035 bei 220 $€_{2010}$ / tCO_2.
- Da trotz der Steigerung des CO_2-Preises die Einnahmen aus der CO_2-Bepreisung im Pkw-Bereich ab 2029 durch die Verdrängung fossil betriebener Pkw wieder abnehmen, die Investitionsbedarfe aber weiterlaufen, ist eine zusätzliche, langfristig wirkende Maßnahme zur Finanzierung der Mehr-Investitionen der Szenarien erforderlich. Wir schlagen hierfür die Einführung einer km-abhängigen Pkw-Maut vor, die zunächst ab 2025 mit 1 ct/km im städtischen Bereich (ASTRA-HBS Distanzband bis 10km), 1.5 ct/km im Regionalverkehr (Landstraßen) und 2 ct/km auf Autobahnen eingeführt wird. Mittelfristig könnte der Kostensatz auch an den Infrastruktur- und Umweltkosten der Pkw orientiert werden und würde dann vermutlich höher liegen.
- Wichtige Stellhebel zur Elektrifizierung der Pkw-Flotte als zentraler Bestandteil beider Szenarien wirken zum Zeitpunkt des Kaufes neuer Pkw. Ein solches Instrument ist die Einführung eines Bonus-Malus-Systems (BM-System) für den Pkw-Kauf, bei dem CO_2-effiziente Pkw einen Bonus erhalten, und Pkw mit hohen CO_2-Werten mit einem Malus auf den Kaufpreis beaufschlagt werden. Bonus- und Malus-Sätze können so austariert werden, dass das System weitgehend kostenneutral wird. Das BM-System wird in den Szenarien ab Januar 2025 eingeführt.
- Vor Einführung des BM-Systems und mit dem Argument der geringeren Verfügbarkeit und höheren Preisen von E-Pkw in diesem Zeitraum wird die E-Kaufprämie für BEV und Wasserstoffbrennstoffzellenfahrzeuge (HZ-BZ-Pkw) bis 2024 verlängert und mit Priorisierung auf BEV und H2-BZ-Pkw ausgestaltet. Plug-in hybride Pkw (PHEV) erhalten eine niedrigere Kaufprämie und diese läuft Ende 2022 aus. Alternativ könnte das BM-System auch früher als 2025 eingeführt werden.

4.4 Wirkung auf Energieverbrauch und THG-Emission

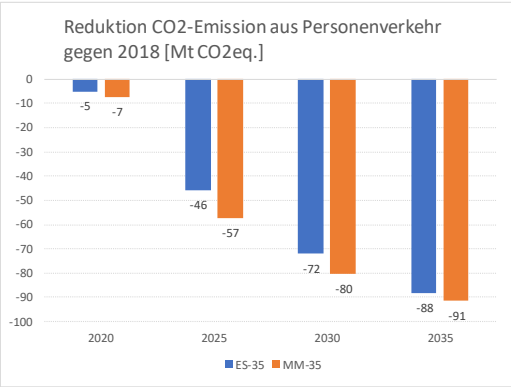
In der regionalen und sektoralen Analyse dieses Vorhabens konnte noch keine Auswertung der Umweltwirkungen der Szenarien vorgenommen werden. Die Szenarien wurden basierend auf den Einschätzungen der beteiligten Experten und des Projektbeirates zunächst als nachhaltig eingestuft.

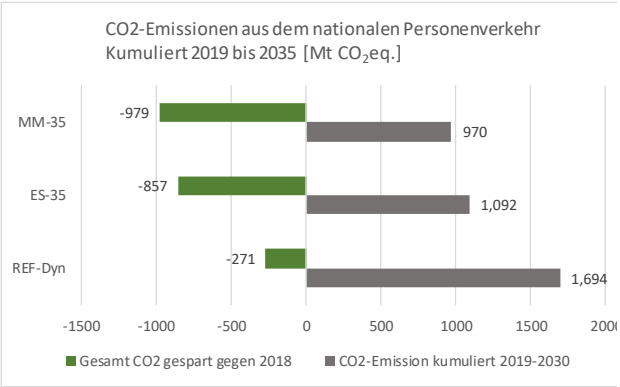
Durch Nutzung des Umweltmodells aus ASTRA-HBS wird nun eine Abschätzung der Umweltwirkungen der Szenarien gemessen an der CO_2-Emission und dem Endenergieverbrauch (EEV) des Verkehrs ermöglicht. Da der Fokus der Szenarien auf dem Personenverkehr liegt, sind die beiden Indikatoren auch nur für diesen ausgewiesen.[16] Die CO_2-Emission werden in beiden Szenarien gegenüber REF-2015 (bzw. dem Ausgangswert in 2018) bis 2035 um über 70% reduziert. Auch das Ziel des Klimaschutzplanes eine THG-Reduktion von -42% bis 2030 zu erreichen (gegenüber 1990 und für Personen und Güterverkehr zusammen) würde übertroffen werden, auch wenn man für den Güterverkehr nur ein moderates Einsparpotenzial anlegt. Dies ist dadurch erklärbar, dass in ES-35 die forcierte Elektrifizierung bereits in 2030 zu einem Bestand von 11.6 Mio. E-Pkw führt. In MM-35 liegt die Zahl der E-Pkw deutlich niedriger und die Erreichung der THG-Reduktion ist stärker zurückzuführen auf den Rückgang der Verkehrsleistung mit Pkw um 16% gegenüber 2015.

Interessant ist die zusätzliche Abschätzung der kumulierten Einsparungen über die Zeit bis 2035 entweder gegen den Ausgangswert in 2018 oder gegenüber REF-Dyn. Kumuliert von 2019 bis 2035 und verglichen gegenüber dem Ausgangswert von 2018 liegt die CO_2-Einsparung in ES-35 bei 857 Mt $CO_{2eq.}$ und im MM-35 bei 979 Mt CO_{2eq}. Kumuliert liegt die Einsparung des MM-35 gegenüber ES-35 also um 122 Mt CO_2 höher (siehe Abbildung 4-4 rechts). Die gesamte CO_2-Emission des Personenverkehrs in diesem Zeitraum verringert sich von 1,694 Mt $CO_{2eq.}$ auf 1,092 Mt $CO_{2eq.}$ in ES-35 bzw. 970 Mt $CO_{2eq.}$ in MM-35.

16 Man hätte sonst auch vollständige Technologieszenarien für den Güterverkehr inklusive PtL und Bio-LNG entwickeln müssen, was aber ein eigenständiges Vorhaben bedeutet hätte.

Abbildung 4-4: Reduktion der Treibhausgasemission aus dem Personenverkehr gegenüber 2018 (links), kumulierte THG-Emission aus Personenverkehr (rechts)



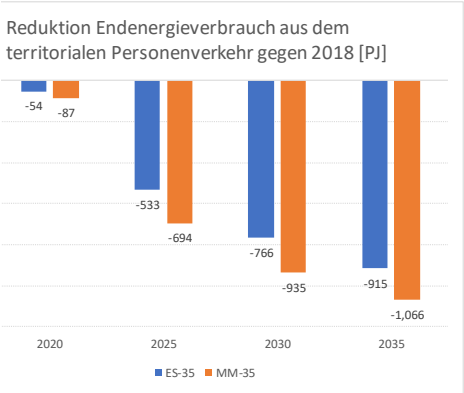


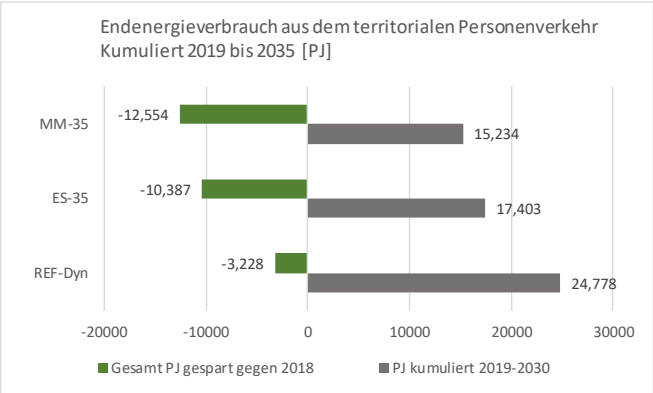
Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Bei der Abschätzung der CO_2-Emissionen ist anzumerken, dass die Berechnung der Konvention der UNFCCC aus dem Kyoto-Protokoll folgen, welche auch von der Bundesregierung für die Klimaberichterstattung genutzt wird. D.h. Emissionen von Biokraftstoffen oder von Strom genutzt im Verkehr werden mit Null-CO_2-Emission angesetzt (gilt für alle Verkehrsträger). Die CO_2-Emissionen werden in der Klimaberichterstattung stattdessen in den jeweils den Energieträger herstellenden Sektoren (d.h. Raffinerien/ Industrie bzw. Energieerzeugung) bilanziert.

Auch der EEV aus dem territorialen Personenverkehr sinkt bis 2035 um deutlich über 60% gegenüber 2018 (siehe Abbildung 4-5). Dies ist auf die Effizienzverbesserungen, Elektrifizierung, Verlagerung und in MM-35 zusätzlich auf die Reduktion der Verkehrsleistung zurückzuführen.

Abbildung 4-5: Reduktion des Endenergieverbrauchs (EEV) aus dem Personenverkehr gegenüber 2018 (links), kumulierter EEV aus Personenverkehr (rechts)





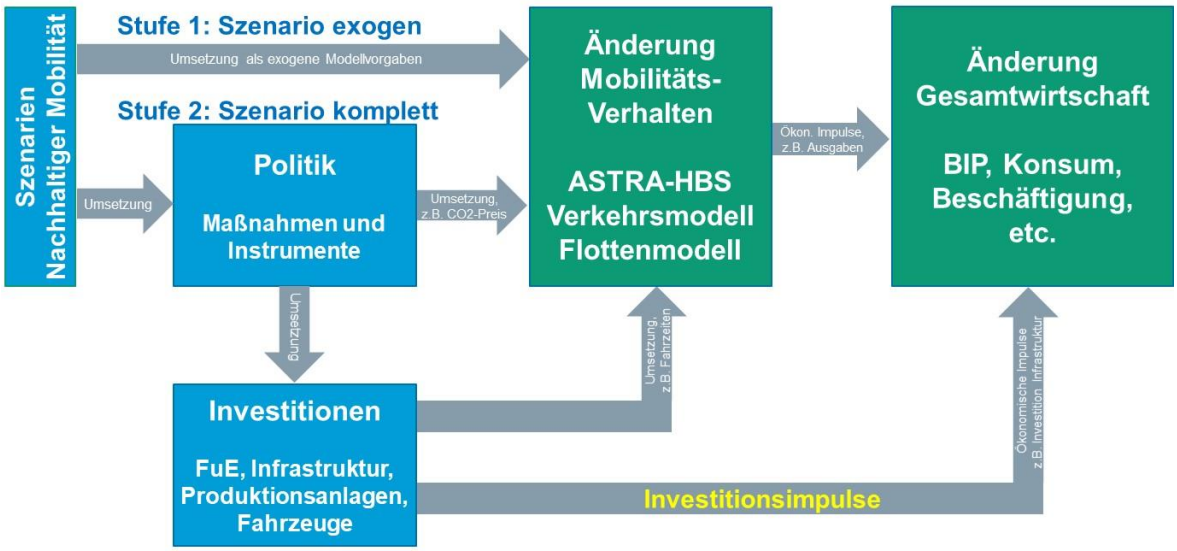
Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

5 Gesamtwirtschaftliche Effekte der Transformation

In diesem Kapitel werden die gesamtwirtschaftlichen Effekte der Transformation zu nachhaltiger Mobilität abgeschätzt und analysiert. Wichtige Indikatoren für die Analyse der gesamtwirtschaftlichen Dynamik sind das Bruttoinlandsprodukt, die Konsumausgaben, die Gesamtbeschäftigung, die Investitionen und die Veränderungen des Staatshaushaltes (hier insbesondere auf der Einnahmeseite).

In ASTRA-HBS wurden die Szenarien dieses Vorhabens in zwei Stufen modelliert (siehe Abbildung 5-1). In Stufe 1 erfolgte zunächst eine Modellierung der beiden Szenarien ES-35 und MM-35 durch exogene Vorgaben, wie sie mit dem Projektbeirat für die Szenarien diskutiert worden waren. Z.B. wurde das Modell durch exogene Anpassung der Verschrottungsraten und der Neuzulassungen (siehe Abbildung 3-10) so eingestellt, dass die Szenarien möglichst gut getroffen wurden. Im Falle von MM-35 stellte sich dabei heraus, dass die Pkw-Besitzrate von 250 Pkw/1000 EW bis 2035 nicht zu erreichen ist (bzw. nur mit nicht darstellbaren Verschrottungsraten). Deswegen wurde das Szenario angepasst und die Pkw-Besitzrate leicht auf 300 Pkw/1000 EW erhöht. Die Modalanteile der Szenarien wurden auf der Stufe 1 durch exogene Modifikation der Modalwahl-Parameter ebenfalls so angepasst, dass die für die Szenarien festgelegte Verteilung ungefähr getroffen wurde. Dieses Vorgehen wurde auf Stufe 1 gewählt, um in einer frühen Phase des Projektes bereits Ergebnisse erzeugen zu können.

Abbildung 5-1: Zusammenhang von Szenario-Spezifikation mit verkehrlicher und ökonomischer Modellierung



Quelle: M-Five, eigene Darstellung

In Stufe 2 wurden sukzessive politische Maßnahmen definiert und durch adäquate Instrumente in ASTRA-HBS hinterlegt (z.B. eine CO_2-Bepreisung für fossile Kraftstoffe und der Infrastrukturaufbau für die Realisierung der Flächenbahn). Um das Ziel zu erreichen mit ASTRA-HBS eine gesamtwirtschaftliche Analyse durchzuführen, musste für die relevanten Instrumente auch eine Investitionssumme abgeschätzt werden, und da der Simulationszeitraum sich über den gesamten Zeitraum von 2019 bis 2035 erstreckt, musste

ebenfalls ein Zeitpfad für die Investitionen definiert werden. Ansonsten ließe sich keine gesamtwirtschaftliche Analyse durchführen. Durch diese Anforderung der Methodik und die daraus folgenden Festlegungen entstanden zwei Politikprogramme in Kombination mit jeweils einem zugehörigen Investitionsprogramm zur Erreichung der Szenarien nachhaltiger Mobilität.

Zunächst werden in den folgenden Kapiteln die Impulse bzw. das hinterlegte Investitionsprogramm zur Realisierung der Szenarien erläutert (Kapitel 5.1, zu Varianten der Modellierung der Impulse siehe Kapitel 4.2.1). Anschließend werden die gesamtwirtschaftlichen Ergebnisse der Szenarien einschließlich der Beschäftigungseffekte vorgestellt (Kapitel 5.2 ff).

5.1 Ökonomische Impulse der Szenarien: das Investitionsprogramm

Die ökonomischen Impulse sind in drei Gruppen untergliedert: (1) Impulse durch den Auf- und Ausbau der Infrastrukturen für nachhaltigen Verkehr, (2) Impulse durch den Auf- und Ausbau der Energieinfrastruktur für den Verkehr, und (3) Impulse für den Auf- und Ausbau der Digitalisierung des Verkehrs in Verbindung mit der Einführung neuer Mobilitätsdienstleistungen und neuer -formen (z.B. automatisiertes Fahren). Die folgenden drei Kapitel stellen die Impulse in diesen drei Bereichen dar.

Die Impulse entstehen durch verschiedene Mechanismen, entweder endogen in ASTRA-HBS durch Abhängigkeiten von modellierten Entwicklungen (z.B. Aufbau von Ladesäulen wird getriggert durch die Diffusion von E-Pkw in die Pkw-Flotte) oder exogen (1) basierend auf Studien zu den entsprechenden Infrastrukturen (z.B. Bahn-Infrastrukturen), oder (2) basierend auf Extrapolationen einzelner bekannter Datenpunkte (z.B. Investitionskosten einer Batterie- oder Halbleiterproduktion in Deutschland).

5.1.1 Impulse durch Verkehrsinfrastrukturinvestitionen

Beide Szenarien erfordern einen massiven Ausbau der Verkehrsinfrastrukturen der Verkehrsträger des Umweltverbundes. Dieser wurde in den Szenarien wie folgt quantifiziert:

- Schienenverkehrsinvestitionen (siehe Kapitel 5.1.1.1 und 5.1.1.2)
- ÖPNV – GVFG plus (siehe Kapitel 5.1.1.3)
- Radverkehr (siehe Kapitel 5.1.1.4)
- Mobilitätsstationen (siehe Kapitel 5.1.1.5)

5.1.1.1 Investitionen zur Stärkung der Schiene im heutigen Netz

Das dynamische Referenz-Szenario enthält die in der BVWP 2030 (dort Tabelle 2) eingeplanten Bundesmittel von jährlich etwa 3.9 Mrd. € für den Erhalt, etwa 1.7 Mrd. € für

den Neubau und etwa 490 Mio. € für „sonstige Investitionen“. Die Summe von knapp 6.2 Mrd. € wurde als jährliches Investitionsniveau im Referenzszenario zu Grunde gelegt.

Im Szenario ES-35 wird davon ausgegangen, dass alle im BVWP als „**weiterer Bedarf**“ vorgesehenen Projekte mit einem Investitionsvolumen von 2.5 Mrd. € für den Erhalt und 7.2 Mrd. € für Neubauten ebenfalls umgesetzt werden. Der Entwurf der LuFV-III sieht ab dem Jahr 2020 für den Erhalt jährlich bereits 6.2 Mrd. € vom Bund und 2.4 Mrd. € von der Bahn vor. Für neue Strecken, Ausbau überlasteter Bahnknoten und Engpässe, Digitalisierung und Deutschland-Takt sind bis 2030 laut BMVI[17] jährlich 5 Mrd. € weitere Mittel notwendig. Die Differenz zwischen den in der LuFV-III bereits vorgesehenen Modernisierungsmitteln und diesen 5 Mrd. haben wir daher als Investitionen zur Erreichung der deutlichen Verkehrsverlagerung (von gut 7 auf über 18.6 % der Personen-km) aufgeschlagen. Insgesamt belaufen sich die Investitionen im Szenario ES-35 somit auf durchschnittlich knapp 14 Mrd. € pro Jahr. Diese Investitionen bilden ebenfalls die Grundlage für die dann nochmals erweiterte Schieneninfrastruktur im Szenario MM-35.

5.1.1.2 Investitionen zum Aufbau der Flächenbahn

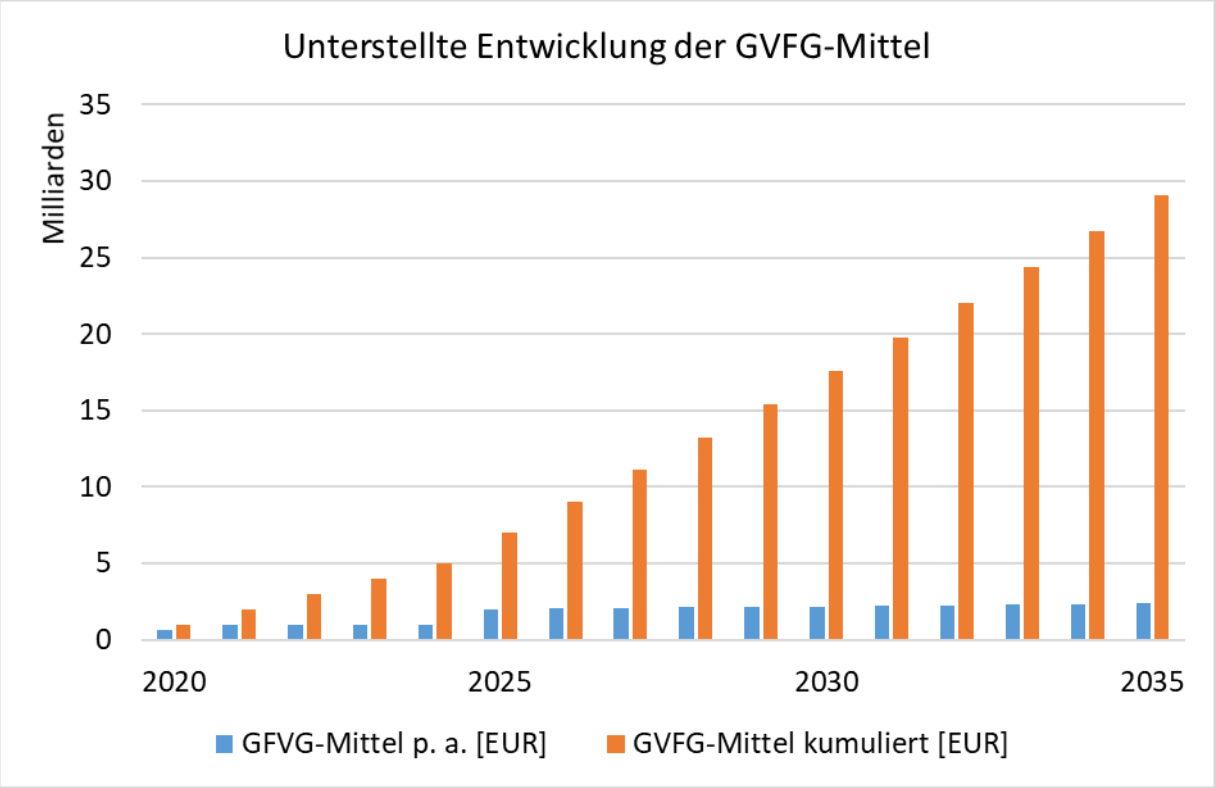
In MM-35 wird eine um etwa 9 Prozentpunkte höhere Verlagerung als in ES-35 auf etwa 28 % im Zieljahr 2035 erwartet. Diese soll durch die Umsetzung des Konzeptes der Flächenbahn (siehe Hüsing 1999) realisiert werden. Wir veranschlagen für die Realisierung der **Flächenbahn** für den Zeitraum 2020 – 2035 die Kosten für die Reaktivierung von 11,000 km Schienenstrecke und den Neubau von 5,000 km Schienenwegen. Damit kommen zu den Investitionen aus ES-35 (siehe Kapitel 5.1.1.1) weitere jährliche Investitionen in das Schienennetz von 3.7 Mrd. € hinzu. Insgesamt belaufen sich die Investitionen in die Schiene im Szenario MM-35 somit auf durchschnittlich gut 17 Mrd. € pro Jahr.

5.1.1.3 Investitionen zum Ausbau des ÖPNV

In beiden Szenarien wurde davon ausgegangen, dass die **Novelle des Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetzes (GVFG)** zielstrebig umgesetzt wird, um die Mittel für den schienengebundenen ÖPNV deutlich zu erhöhen. Die aktuellen Pläne wurden daher im Rahmen der Szenarien zugrunde gelegt und teils fortgeschrieben: Die GVFG-Bundesmittel zur Förderung des ÖPNV verdoppeln sich 2020 von derzeit 332 auf 665 Millionen Euro. Ab 2021 sollen die GVFG-Mittel auf dann 1 Milliarden Euro jährlich weiter erhöht werden. Dieses Niveau wird für ES-35 bis 2035 beibehalten, da hier der Fokus der Verbesserung im ÖPNV auf Bus-Systemen liegt. Im Rahmen des Klimaschutzprogramms sollen ab 2025 die Mittel auf eine Höhe von 2 Milliarden Euro jährlich ansteigen, zzgl. einer Dynamisierung von 1.8 Prozent pro Jahr (BMVI 2019). Diese Entwicklung haben wir in MM-35 bis zum Jahr 2035 fortgeschrieben. Somit würden die GVFG-Mittel in MM-35 bis 2035 kumuliert fast 30 Mrd. Euro ergeben (siehe Abbildung 5-2).

17 https://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/ausbau-wuerde-71-milliarden-euro-kosten-fuer-schienen-investitionen-fehlt-dem-bund-das-geld/23651434.html

Abbildung 5-2: In MM-35 unterstellte Entwicklung der GFVG-Mittel (inkl. Dynamisierung)



Quelle: M-Five, eigene Darstellung

Außerdem wird in einem Sofortprogramm des Bundes[18] von 2020 bis 2029 ein Programm zum Auf- und Ausbau innovativer Bus-Systeme mit passender Infrastruktur (Bus-Spuren, multi-modale Haltestellen, etc.), neuer Technologie insbesondere digitalen Leit- und Steuerungssysteme sowie neuen weitgehend elektrifizierten Bussen der straßengebundene ÖPNV gestärkt. Da das Szenario ES-35 einen stärkeren Ausbau der Bus-Systeme vorsieht werden hier in 30 Ober- und Mittelstädten mit mehr als 100,000 Einwohnern die Bus-Systeme mit je 200 Mio. $€_{2010}$ ertüchtigt (Infrastruktur 150, Leittechnik 30 und Fahrzeuge 20 Mio. $€_{2010}$). Außerdem werden in ES-35 in 50 Klein- und Mittelstädten (ca. 50,000 Einwohner) neue Bus-Systeme aufgebaut bzw. existierende Systeme verbessert. Pro Stadt stehen hier in ES-35 für Infrastruktur 40 Mio. $€_{2010}$ und für Leittechnik 10 Mio. $€_{2010}$ sowie zusätzlich zur aufgestockten E-Bus Förderung Mittel für die Beschaffung von 10 Bussen zur Verfügung.

In MM-35 liegt der Fokus der ÖPNV-Verbesserung auf der Schiene, so dass die Bus-Förderung hier auf 15 Ober- und Mittelstädte (>100,000 Einwohner) und 25 Klein- und Mittelstädte (ca. 50,000 Einwohner) mit den obengenannten Beträgen angelegt ist.

18 Alternativ kann auch geprüft werden, ob eine zeitnahe Integration der Förderung in eines der existierenden Instrumente möglich wäre (z.B. RegG, GVFG).

5.1.1.4 Investitionen in Radverkehrsinfrastrukturen

Im Referenz-Szenario wird von einer Steigerung von aktuell jährlich 650 Mio. € auf 820 Mio. € im Jahr 2025 auf insgesamt 900 Mio. € im Jahr 2030 für die Förderung des Radverkehrs ausgegangen (vgl. Status quo – Szenario in Prognos (2019b)). Davon gehen gute 73% in den Neu-, Um- und Ausbau, 17% in den Betrieb und Unterhalt und 8.6% in nicht investive Maßnahmen.

Im Szenario ES-35 werden zusätzliche Mittel in den Neu- und Ausbau der D-Routen, zusätzliche Unterhaltskosten, eine Förderung von Pedelecs und die Einrichtung von Servicepoints mit Lademöglichkeiten für Elektrofahrräder und Elektrokleinstfahrzeuge investiert (vgl. Szenario "Land Plus" in Prognos (2019b)). Dadurch steigen die Investitionen auf 963 Mio. € im Jahr 2025 und auf 965 Mio. € im Jahr 2030. Sie liegen damit im Mittel 150 bis 200 Mio. € im Jahr höher. In ASTRA-HBS wurde dafür ein Sofortprogramm für Städte aufgelegt mit jeweils 100 Mio. $€_{2010}$ in 2020-2022 und eine Erhöhung der Förderung des Bundes für Radschnellwege auf 200 Mio. $€_{2010}$ pro Jahr bis 2030.

Im Szenario MM-35 werden zusätzlich zu den in ES-35 einkalkulierten Mitteln (vgl. "mit beiden Szenarien" in Prognos (2019b)) weitere Investitionen getätigt. Dadurch steigen die Radverkehrs-Investitionen auf 1,044 Mio. € im Jahr 2025 und auf 1,056 Mio. € im Jahr 2030. Sie liegen also im Mittel um 200 bis 250 Mio. € höher als im Status quo nach Prognos (2019b). In ASTRA-HBS wurde deshalb bis 2030 die Mittel gegenüber ES-35 nochmals um 200 Mio. $€_{2010}$ erhöht und auch in den Jahren 2031 bis 2035 pro Jahr weitere 100 Mio. $€_{2010}$ zusätzlich investiert.

5.1.1.5 Investitionen in Mobilitätsstationen

Zur Abschätzung der Infrastruktur-Investitionskosten im Bereich von Mobilitätsstationen wurde ein räumlicher Ansatz auf Basis der vier BBSR-Raumtypen gewählt (Abbildung 5-3). Dabei wurde der Gebietsstand von 2015 zugrunde gelegt.

Mobilitätstation definieren wir gemäß dem Handbuch der Stadt Wien als ein „… *Ort oder eine Räumlichkeit, an dem unterschiedliche Mobilitätsangebote und Services miteinander verknüpft werden und ein einfacher Zugang zu diesen gewährt wird*." (Stadt Wien 2018)

Die Investitionskosten umfassen die infrastrukturellen Baukosten, die zur Errichtung dieser Orte bzw. Räumlichkeiten notwendig sind. Dazu zählen u.a. der Erwerb geeigneter Flächen (falls erforderlich), die Einrichtung von Parkplätzen und Abstellanlagen für Sharing-Fahrzeuge, der Bau von Ladeinfrastruktur, die Aufstellung von Stadtmöbeln und – sofern notwendig – die Neuerrichtung oder Verlegung von ÖV-Haltestellen.

Da die Kosten pro Mobilitätsstationen je nach Grundstückslage und Ausstattungsgrad stark variieren, haben wir unterschiedliche Durchschnittskosten zwischen 500.000 und 8.000 Euro pro Station angenommen. Der höchste Satz von 500.000 Euro pro Stadt wurde für Orte im Raumtyp 1 (kreisfreie Großstädte) im Szenario E-Straße angesetzt. Dabei nehmen wir an, dass hier die Grundstückkosten aufgrund der Bebauungsdichte und Grundstückslage am höchsten sind und die Stationen durch ihre Größe und

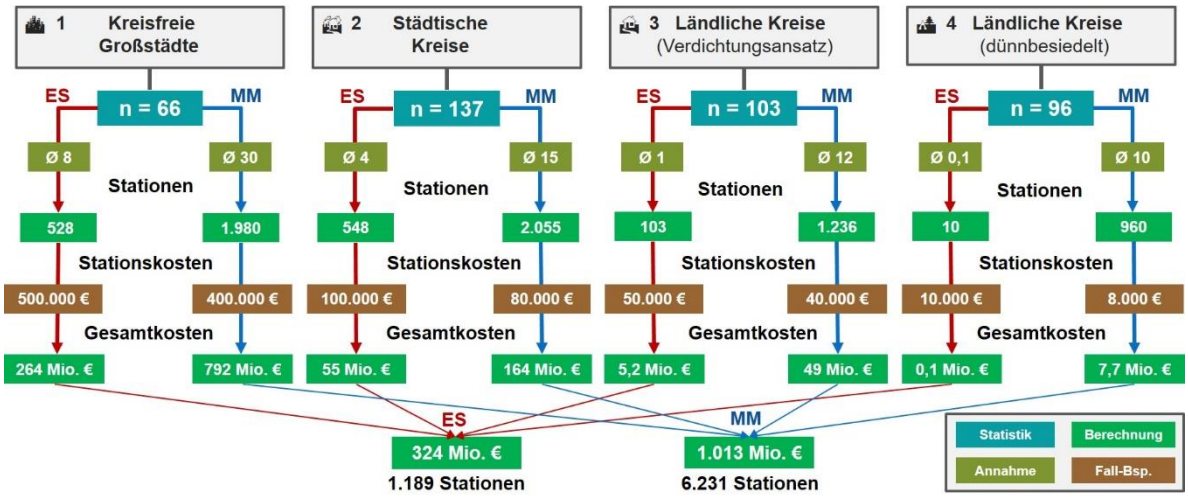
Ladeinfrastruktur die teuerste Ausstattung haben. Je dünner die Raumtypen besiedelt sind, desto geringer werden unserer Einschätzung nach die durchschnittlichen Grundstückskosten. Mit abnehmender Dimensionierung sinken auch die Ausstattungskosten, bis hin zur minimalen Ausstattung im dünnbesiedelten ländlichen Raum.

Zudem haben wir angenommen, dass die Kosten im Szenario Multi-Modalität etwas geringer sind, als im Szenario E-Straße, da aufgrund steigender Nachfrage und zunehmendem Wettbewerb sowie erhöhter Standardisierung Kostensenkungen eintreten. Ferner wird der Bedarf an Ladeinfrastruktur gegenüber dem ES-Szenario als etwas geringer eingeschätzt. Daher haben wir die Kostensätze im Szenario Multi-Modalität pro Raumtyp um jeweils 20 Prozent verringert.

Zudem haben wir pro Raumtyp je nach Szenario unterschiedliche Durchschnittsannahmen bezüglich der Stationszahl je Raumtyp getroffen. Dabei gehen wir insgesamt davon aus, dass Mobilitätsstationen aufgrund der Nachfragedichte wie auch der Angebotspalette im Wesentlichen ein urbanes Phänomen bleiben werden. Sie werden daher vorwiegend in den Raumtypen 1 und 2 errichtet (kreisfreie Großstädte und städtische Kreise). Dies gilt auch für das Szenario Multi-Modalität, für das gegenüber dem Szenario E-Straße eine Zunahme der Bevölkerung in kreisfreien Großstädten einkalkuliert wurde. Im Szenario Multi-Modalität kommt es im Kontext intermodaler Schnittstellen zur Flächenbahn allerdings auch in den Raumtypen 3 und 4 (ländliche Kreise mit und ohne Verdichtungsansatz) zu einem, wenn auch nur mäßigen, Stationsaufbau.

In Summe ergeben sich für das Szenario E-Straße bis zum Jahr 2035 Gesamtinvestitionen für Mobilitätsstationen in Höhe von ca. 320 Mio. Euro für zusammen rund 1,200 Stationen. Im Szenario Multi-Modalität ergeben sich Investitionen in Höhe von etwas über 1 Mrd. Euro für zusammen über 6,200 Stationen. Zum Vergleich: Letztere Zahl liegt etwas höher als die heutige Anzahl sämtlicher Personenbahnhöfe der DB, die im Jahr 2018 etwa 5,700 Stationen umfasste – vom größten Hauptbahnhof bis zum kleinsten „Landhalt“ (DB 2019).

Abbildung 5-3: Schema zur Kalkulation der Investitionskosten zur Errichtung von Mobilitätsstationen (ohne Betriebskosten)



Quelle: M-Five, eigene Darstellung

5.1.2 Impulse durch Auf- und Ausbau Energieinfrastruktur für Verkehr

In beiden Szenarien spielt die Elektrifizierung des Straßenverkehrs (vorwiegend Pkw, aber auch Elektrobusse) eine zentrale Rolle bei der Erreichung der nachhaltigen Mobilität. Dies liegt begründet in (1) der Energieeffizienz des E-Antriebs, (2) der lokalen Emissionsfreiheit (keine Luftschadstoffe aus dem Auspuff), (3) der niedrigen Lärmemission, und (4) der potenziellen CO_2-Freiheit durch die 100%-Nutzung erneuerbaren Stroms, die für Deutschland spätestens in 2050 angestrebt und voraussichtlich auch erreicht werden wird. Für diese Elektrifizierung sind folgende Investitionen notwendig und auch im Politikprogramm der Szenarien für ASTRA-HBS hinterlegt:

- Ladeinfrastruktur für bis zu 19 Millionen E-Pkw in 2035 (privat, öffentlich, am Arbeitsplatz)
- Zubau an EE-Erzeugungskapazität zur Versorgung der E-Pkw mit 100% erneuerbarem Strom: Zum Zeitpunkt der Neuzulassung eines weiteren E-Pkw werden (unter Berücksichtigung der Verschrottung von E-Pkw) neue EE-Erzeugungsanlagen aufgebaut und die Investitionen abgeschätzt.
- Zubau an Netzkapazitäten vor allem im Bereich des Verteil- und Mittelspannungs-stromnetzes zur Versorgung der neu zugelassenen E-Pkw bzw. zum Anschluss der obengenannten Ladeinfrastruktur
- Investition in F&E zur Batterieforschung der zweiten und dritten Generation und Investition in Produktionsanlagen zur Batteriezellherstellung und Batterieproduktion in Deutschland [19]

19 Hier erfolgte eine Orientierung an den Investitionssummen genannt von CATL in Erfurt.

5.1.2.1 Abschätzung der Investitionen in Ladeinfrastruktur

Die Transformation der Pkw-Flotte in eine weitgehend elektrifizierte Flotte ist in beiden Szenarien nachhaltiger Mobilität ein zentraler Bestandteil. Damit dies gelingen kann, ist der parallele Aufbau einer ausreichenden Ladeinfrastruktur essenziell. Vereinfachend wird in der Modellierung die Infrastruktur parallel zum Verkauf der E-Pkw aufgebaut. Zumindest für den Aufbau von öffentlichen (d.h. öffentlich zugänglich) und auch betrieblichen Ladesäulen ist eigentlich ein gewisser Vorlauf notwendig, so dass der potenzielle Neu-Käufer eines E-Pkw einen ausreichenden Bestand an solcher Ladeinfrastruktur erkennen kann. Das wird in der hier erfolgten Modellierung der Investitionen durch die parallele Diffusion von E-Pkw und Ladeinfrastruktur vernachlässigt. Der erforderliche zeitliche Versatz dürfte in der Größenordnung von einem Jahr liegen und die Unschärfe des Investitionspfades scheint daher akzeptierbar.

Grundkonzept der Modellierung ist die Festlegung eines Bedarfes an Ladestationen verschiedener Typen für jeden gekauften Pkw (siehe Tabelle 3). Beispielsweise wird erwartet, dass für 60% der neuen BEV eine 3,7kW-Steckdose in der Garage ausreicht, während 40% eine Wallbox mit 7,5kW (oder sogar 11kW) beschaffen. In Tabelle 3 signalisieren die Ladeleistungen der Stationstypen Größenordnungen, d.h. 7,5 kW kann auch bis 11kW umfassen, 22kW kann bis 50 kW ausgelegt sein, und 100kW auch bis 350kW. Die direkte Korrelation zwischen E-Pkw-Kauf und Aufbau von Ladestationen wird allerdings abgeschwächt durch den beginnenden Anstieg der Verschrottung von E-Pkw, welche z.B. in 2030 in ES-35 bei knapp 200,000 verschrotteten BEV liegt. Hier wird unterstellt, dass ein großer Teil der Besitzer wieder zum E-Pkw tendiert und daher bereits eine private Ladeinfrastruktur besitzt. Ähnlich ist eine Abschwächung für öffentliche Infrastruktur und Stationen am Arbeitsplatz hinterlegt. Für die Investitionskosten neuer Ladeinfrastruktur wurde ausgehend von Erkenntnissen zu Basispreisen der Ladeinfrastruktur in 2015/2018 aus der NPE und der NPM mit einer eigenen Lernkurvenfunktion eine Preisentwicklung in Abhängigkeit der installierten Ladestationen aufgesetzt, die zu den in Tabelle 3 für 2020 und 2030 dargestellten Investitionen pro neuer Ladestation führt.

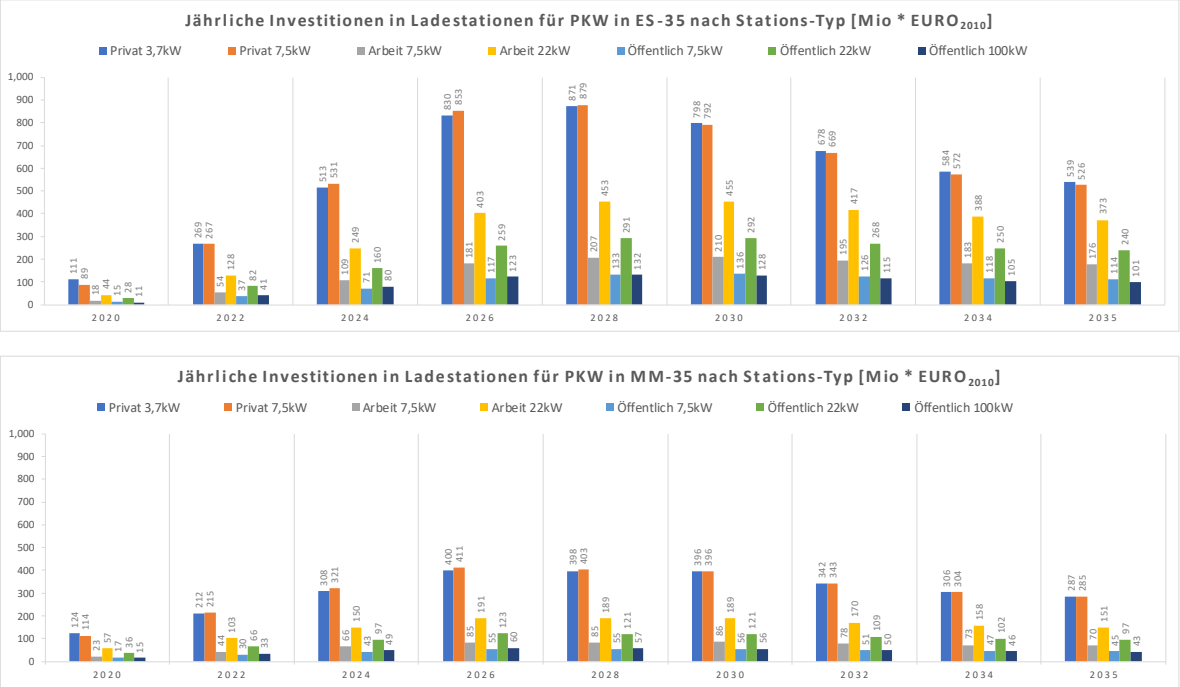
Tabelle 3: Bedarf an Ladestationen und Kosten in ES-35 und in MM-35

Standort	Stations-typ	Stationen pro neu zugelassenem Pkw		Investition pro neuer Ladestation in €$_{2010}$			
				ES-35		MM-35	
		PHEV	BEV	2020	2030	2020	2030
Haushalt	3,7kW	0.80	0.60	800	783	800	786
	7,5kW	0.20	0.40	1,686	1,431	1,685	1,469
Arbeitsplatz	7,5kW	0.05	0.10	2,060	1,749	2,060	1,796
	22kW	0.05	0.10	6,691	5,043	6,687	5,268
Öffentlich	7,5kW	0.05	0.05	2,341	1,988	2,341	2,040
	22kW	0.03	0.05	8,602	6,483	8,597	6,773
	100kW	0.001	0.005	45,000	30,938	45,000	34,180

Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS; NPE, Akteure für Basiskostenwerte

Aus den Angaben zur Neuzulassung von E-Pkw (abgeleitet aus der Szenariobeschreibung, siehe auch AP3, Wagner et al. 2019), zur dynamisch ermittelten benötigten Ladeinfrastruktur pro Pkw und den Investitionskosten lassen sich die Investitionen zum Aufbau der Ladeinfrastruktur abschätzen. Im privaten Bereich werden die höchsten Aufwendungen in ES-35 in 2027 erreicht. Danach sinkt der Bedarf aufgrund der vielen bereits ausgestatteten Haushalte in den Szenarien wieder deutlich ab. Im Bereich der öffentlichen Ladeinfrastrukturen liegt das Maximum ein bis zwei Jahre später und die Abnahme der Investitionen ist moderater, da sich die Zahl der E-Pkw immer noch erhöht. In ES-35 entsteht so im Jahr 2027 ein maximaler Investitionsbedarf von knapp über 3 Mrd. €$_{2010}$ für die Ladeinfrastruktur. In MM-35 liegt das Maximum bereits in 2026 und fällt mit 1.3 Mrd. €$_{2010}$ aufgrund der kleineren Pkw-Flotte deutlich geringer aus. Abbildung 5-4 zeigt den Verlauf der Investitionen differenziert in die sieben Stationstypen und für beide Szenarien.

Abbildung 5-4: Investitionshochlauf für Ladestationen in ES-35 und MM-35



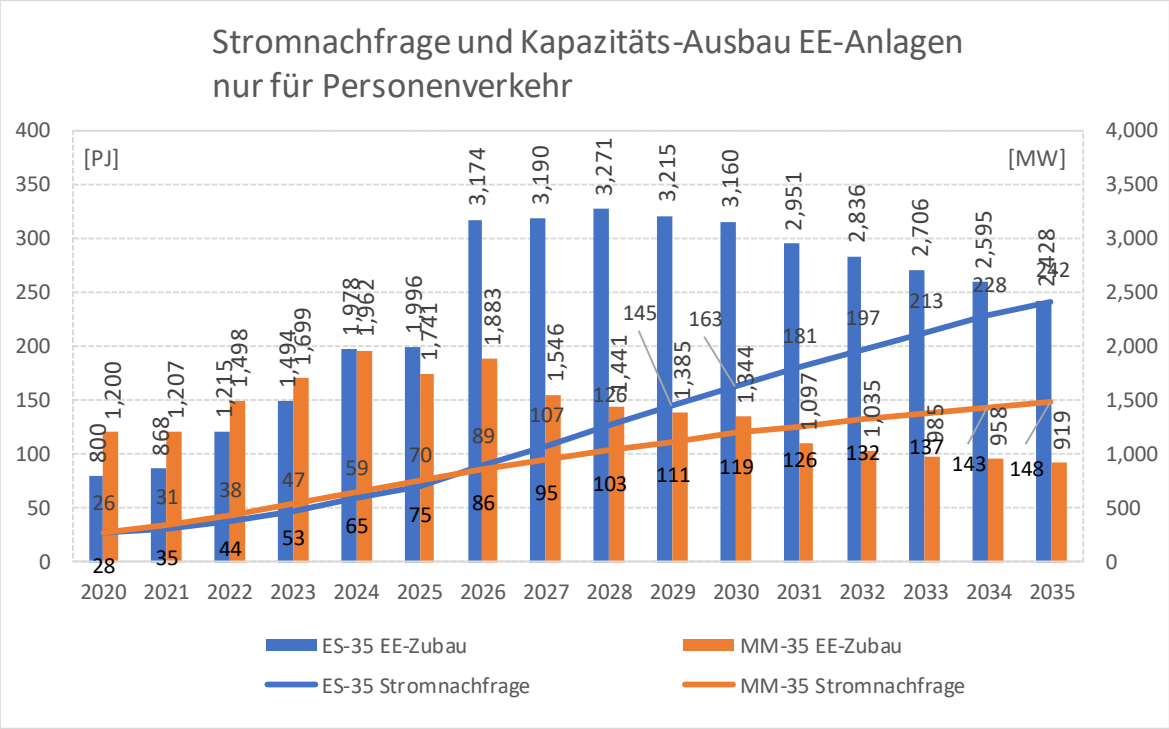
Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Kumuliert ergibt sich für ES-35 eine gesamte Investition in Ladeinfrastruktur von 2019 bis 2035 von 33.5 Mrd. €$_{2010}$ (inklusive Infrastruktur für leichte Nutzfahrzeuge 35 Mrd. €$_{2010}$) und für MM-35 von 17.1 Mrd. €$_{2010}$ (inklusive Infrastruktur für leichte Nutzfahrzeuge 19 Mrd. €$_{2010}$).

5.1.2.2 Abschätzung der Investitionen in zusätzliche EE-Erzeugungsanlagen

Ähnlich der Ladeinfrastruktur erfolgt die Abschätzung der Investitionen für EE-Stromerzeugungsanlagen nachfragegetrieben. Hier stammt die zugrunde gelegte Nachfrage aber nicht nur aus dem Pkw-Verkehr, sondern auch vom Schienenverkehr und aus dem ÖPNV (E-Busse, U-/S-Bahn, Tram). Die Stromnachfrage aus dem Personenverkehr wächst von 23 PJ in 2018 bis 2035 auf 242 PJ in ES-35 und auf 148 PJ in MM-35. Dementsprechend muss die Menge an EE-Strom die dem Personenverkehr bereitgestellt wird um 219 bzw. 125 PJ erhöht werden. Deshalb wird ein entsprechender Ausbau der EE-Erzeugungsanalagen unterstellt, damit die Nachfrage nach EE-Strom aus dem Verkehr nicht zu Lasten anderer Nachfrage-Sektoren geht. D.h. für jeden inkrementellen Zuwachs der Stromnachfrage (in PJ) wird eine entsprechende Anlagenkapazität (in MW) geschaffen (siehe Abbildung 5-5). Von 2021 bis 2025 weist MM-35 aufgrund des Ausbaus des strombetriebenen ÖV eine höhere Stromnachfrage aus als ES-35. Ab 2026 liegt die Stromnachfrage in ES-35 aber höher als in MM-35. Dementsprechend verhält sich auch der Kapazitätsausbau der EE-Anlagen.

Abbildung 5-5: Stromnachfrage und zugebaute Kapazität an EE-Anlagen im Personenverkehr in den Szenarien



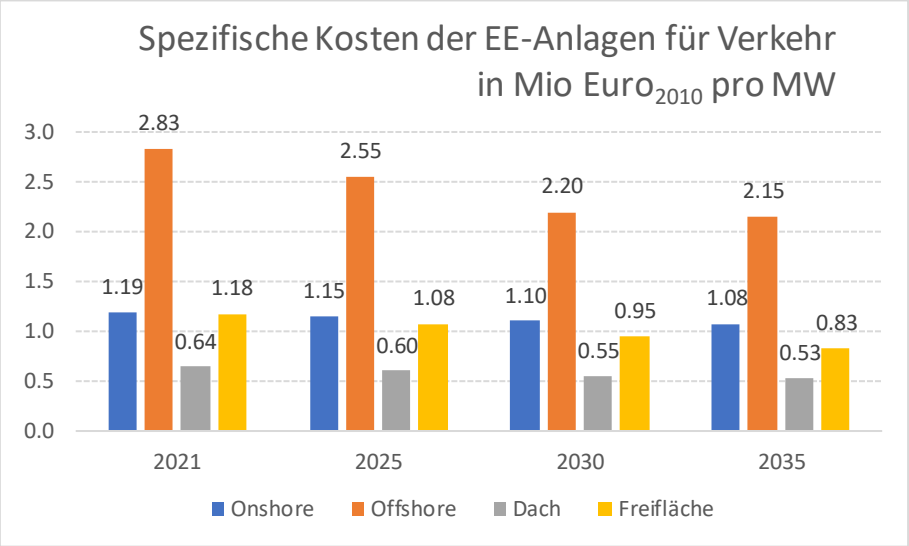
Quelle: eigene Berechnungen, M-Five, ASTRA-HBS

Beim Zubau der EE-Anlagen wird keine differenzierte Betrachtung der noch verfügbaren EE-Potenziale durchgeführt, da hier nur das Ziel einer **Grobabschätzung der Investitionskosten** verfolgt wird. Dementsprechend werden nur die aus heutiger Sicht vier wichtigsten Technologien differenziert und mit ihren spezifischen Volllaststunden pro Jahr berücksichtigt:

- Windkraftanlagen an Land (Onshore): 25% des benötigten Kapazitätszubaus, 2200 Volllaststunden pro Jahr.
- Windkraftanlagen auf hoher See (Offshore): 35% des benötigten Kapazitätszubaus, 3468 Volllaststunden pro Jahr.
- Photovoltaikanlagen auf Gebäudedächern (Dach): 15% des benötigten Kapazitätszubaus, 990 Volllaststunden pro Jahr.
- Photovoltaikanlagen als Freiflächenanlagen (Freifläche): 25% des benötigten Kapazitätszubaus, 990 Volllaststunden pro Jahr.

Abbildung 5-6 stellt die verwendeten spezifischen Investitionskosten der vier Technologien dar. Hier wird in der Literatur von unterschiedlichen Kostendegressionspotenzialen ausgegangen, wobei diese bei der Windkraft an Land schon am stärksten ausgereizt sind.

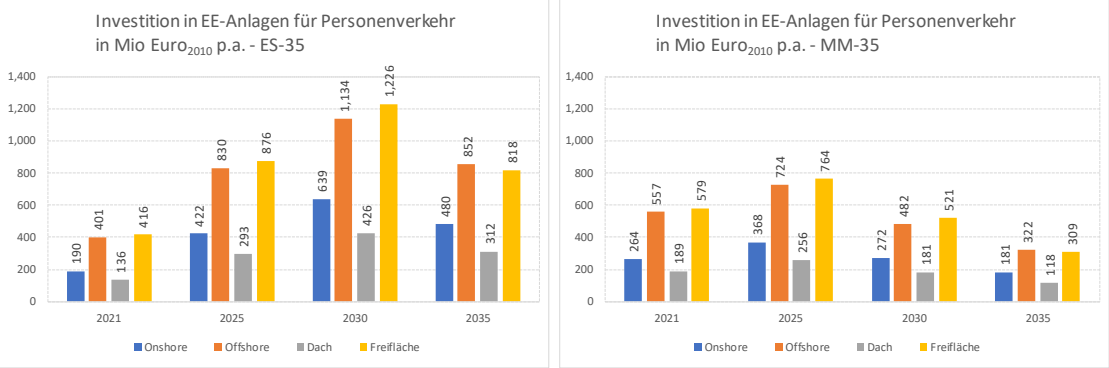
Abbildung 5-6: Spezifische Investitionskosten für EE-Anlagen für EE-Strom im Personenverkehr



Quelle: Literaturangaben, ASTRA-HBS

Mit den obigen Angaben und der berechneten Stromnachfrage in den Szenarien ergeben sich die Investitionskosten für den Zubau an EE-Anlagen um den Personenverkehr mit 100% EE-Strom zu versorgen.

Abbildung 5-7: Investitionen in EE-Anlagen für EE-Strom im Personenverkehr in ES-35 und MM-35



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Insgesamt beträgt die kumulierte Investition in EE-Stromerzeugungsanlagen für den Personenverkehr von 2019 bis 2035 in ES-35 48 Mrd. $€_{2010}$ und in MM-35 30 Mrd. $€_{2010}$. Diese Investitionen verteilen sich technologieabhängig als zusätzliche Endnachfrage auf verschiedene Sektoren (Tabelle 4).

Tabelle 4: Verteilung der Investitionen in EE-Anlagen auf verschiedene Sektoren

	Metall-produkte	Maschinen	Elektrik	Kommu-nikation	Elektronik	Bausektor	Unter-nehmens-bezogene Dienstlst.
Wind Onshore	0%	0%	15%	0%	15%	60%	10%
Wind Offshore	0%	0%	15%	0%	25%	50%	10%
PV Dachanlage	0%	0%	15%	0%	25%	45%	15%
PV Freiflächenanlage	10%	10%	10%	10%	25%	15%	20%

Quelle: eigene Annahmen M-Five

5.1.2.3 Abschätzung der Investitionen für den Netzausbau für E-Pkw

Neben dem Aufbau der Ladeinfrastruktur für Pkw und den Ausbau der EE-Stromerzeugungskapazität ist auch die Verteilung des Stroms von der Erzeugung bis zum Nutzer im Verkehr infrastrukturseitig sicherzustellen. In Deutschland existiert bereits ein gut ausgebautes Stromnetz, aber der massive Hochlauf der E-Mobilität in den Szenarien kann zumindest punktuell, d.h. lokal beim Anschluss des letzten Kabel-Kilometer im Verteilnetz und ggf. auch beim Anschluss an das Mittelspannungsnetz zu Engpässen führen. D.h. hier muss die Kapazität und/oder die Intelligenz des Stromnetzes ausgebaut werden, um die Stromversorgung des Verkehrs sicherzustellen. Dabei wurde für die Parametrisierung in ASTRA-HBS auf vorhandene Studien zurückgegriffen.

Die für den Hochlauf der E-Pkw notwendigen Investitionen ins Elektrizitätsnetz wurden von der Agora Energiewende im Regulatory Assistance Project (RAP) (Navigant u. a., 2019) und im Auftrag des E.ON-Konzerns (Consentec GmbH & EDIS Netz GmbH, 2019) abgeschätzt.

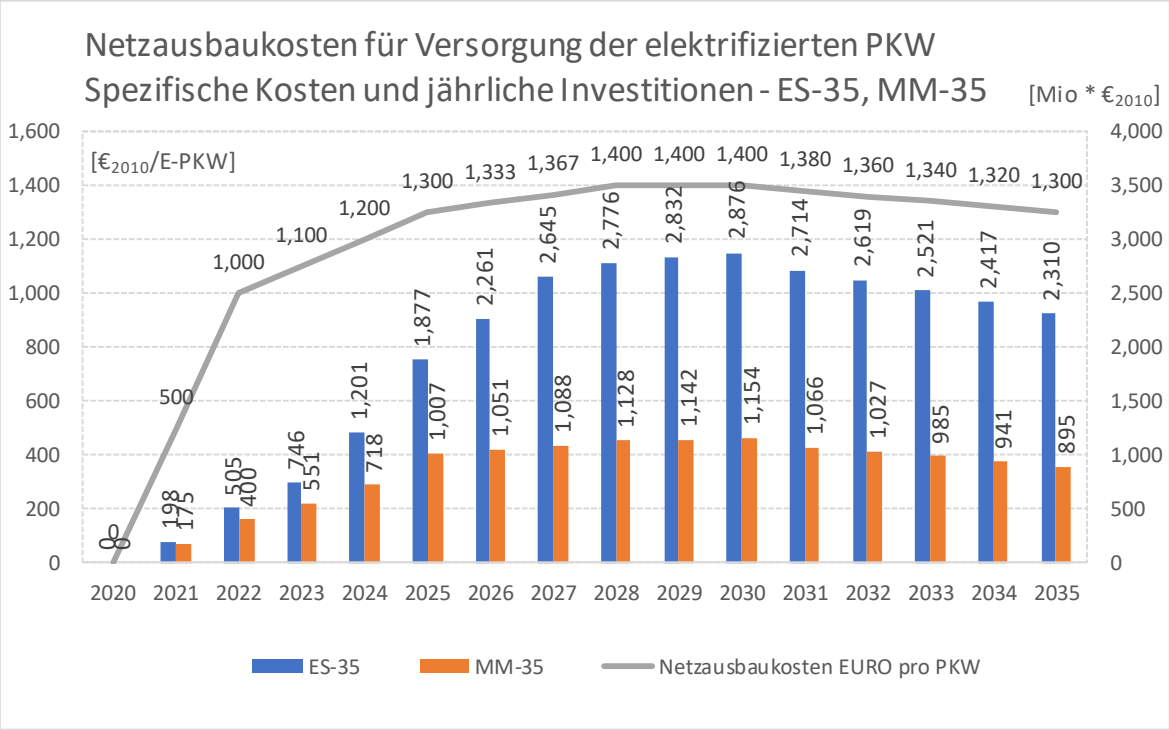
Die Agora Energiewende kalkulierte die Kosten schwerpunktmäßig über (im Vergleich zur Spannungsreglung eher teure) zusätzlich notwendige Leitungen und diskontierte dabei nicht für altersbedingt ohnehin notwendige Investitionen. Des Weiteren wurden in dieser Analyse die Kostentreiber EE-Einspeisung, Wärmepumpen und Elektromobilität nicht voneinander getrennt, sondern beeinflussen sich gegenseitig. Das deutschlandweit modellierte Netz enthält außerdem städtische Netze, die vor allem zukünftig durch Lastspitzen aufgrund von E-Mobilität und E-Wärme geprägt sein werden. Mit diesem Ansatz kommt die Agora Energiewende bis 2030 auf etwa 1,200 bzw. 1,300 € und bis 2050 auf etwa knapp 1,000 bzw. 900 € zusätzlichen Investitionen in Netzausbau pro zusätzlich zugelassenem E-Pkw im Falle eines schnellen bzw. langsamen Hochlaufs und gesteuertem Laden.

Die Firma Consentec ermittelte diese Kosten im Auftrag von E.ON schwerpunktmäßig über die (im Vergleich zum Leitungsausbau günstigeren) Kosten für die Spannungsregelung und diskontierte dabei die altersbedingt notwendigen Investitionen. Des Weiteren wurde in dieser Studie die Elektromobilität als Treiber von EE-Einspeisung und Wärmepumpen abgetrennt und die Kosten isoliert ausgewiesen. Das Netzgebiet von E.ON liegt eher im

ländlichen Raum, wo für die Einspeisespitzen durch erneuerbare Energiequellen bereits Ausbaureserven vorhanden sind und die E-Pkw eher zu Hause geladen werden, wofür keine hohen Ladeleistungen nötig sind. Außerdem wurden in dieser Studie geringere Gleichzeitigkeiten angenommen. Aufgrund dieser Eigenschaften kam Consentec auf durchschnittliche Zusatzkosten von nur 400 € pro zusätzlichem E-Pkw für ungesteuertes Laden, 180 € für netzdienliches Laden und 800 € für marktorientiertes Laden.

Diese Angaben zu spezifischen Investitionskosten (bzw. Zusatzkosten) pro Pkw wurden genutzt um für zusätzliche E-Pkw den erforderlichen Netzausbau abzuschätzen, der als obere Grenze für die Szenarien mit 30 Mrd. € bis 2035 abgeschätzt wird. Dabei wurde noch ein Aufschlag für Unsicherheit bei der Quantifizierung der Kosten einbezogen. Abbildung 5-8 stellt die spezifischen Kosten und die gesamte Investitionssumme dar. Wie beim Aufbau der Ladeinfrastruktur für neue E-Pkw wird auch hier die Verschrottung von E-Pkw berücksichtigt, so dass nur die jeweils zusätzliche Flotte an neuen E-Pkw investitionswirksam wird. Mit den noch begrenzten Zuwächsen an E-Pkw in 2019 und 2020 wird noch kein zusätzlich notwendiger Ausbau angestoßen.

Abbildung 5-8: Investitionen in den Netzausbau für E-Pkw in ES-35 und MM-35



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Über die Periode 2019 bis 2035 ergibt sich für das ES-35 ein kumulierter Investitionsbedarf für den Netzausbau zur Versorgung der E-Pkw von 30 Mrd. $€_{2010}$ und in MM-35 von 13 Mrd. $€_{2010}$. Diese Investitionen verteilen sich als zusätzliche Endnachfrage auf die Sektoren Metallprodukte (10%), Elektrik (30%), Kommunikation (10%), Elektronik (10%), Bausektor (30%) und unternehmensbezogene Dienstleistungen (10%).

5.1.2.4 Investitionen in F&E und Produktion von Batterien und Zellen

Die Bundesregierung hat sich die Empfehlung aus der Wissenschaft (u.a. Schade et al. 2014) zu eigen gemacht, in Deutschland zusammen mit der Industrie eine eigene Batteriezellenfertigung aufzubauen und zu fördern. Erste Erfolge zeigen sich in den letzten zwei Jahren mit der Ansiedlung von CATL in Erfurt, VW bei Salzgitter und Tesla in der Nähe von Berlin. Anhand der bekannten Investitionsbedarfe aus diesen Vorhaben sind Hochlaufkurven und Investitionssummen für Batterie-F&E und -Produktion abgeschätzt worden und mit einem Betrag von ca. 13 Mrd. $€_{2010}$ in den Szenarien berücksichtigt.

Davon entfallen 3 Mrd. $€_{2010}$ auf die staatliche F&E Unterstützung für die Batterieforschung über den Zeitraum 2021 bis 2027, sowie der Aufbau von 5 Giga-Factories zur Batteriezellfertigung in Deutschland. Die Kosten einer Fabrik werden mit 2 Mrd. $€_{2010}$ geschätzt.

Wichtig ist hier auch der Aufbau von Batterie-Recyclinganlagen in Deutschland zur Wieder-Gewinnung der teils teuren Rohstoffe, zum Schließen der Rohstoffkreisläufe, zur Vermeidung teurer Importe und von Unsicherheiten bzgl. der Lieferverfügbarkeiten. Dies gilt speziell für Kobalt und Lithium. Diese Investitionen konnten nicht abgeschätzt werden und sind daher nicht berücksichtigt.

Der Gesamtinvestitionsbedarf an F&E für die Batterieforschung aber auch an neuen Anlagen zur Produktion von Batteriezellen- und -paketen dürfte noch höher liegen. Andererseits verringern sich die Bedarfe nach F&E und Anlagen für Technologien, die zurückgefahren werden (Verbrennungsmotoren, Katalysatoren, etc.), so dass diese Investitionen als Saldo aus den reduzierten Aufwendungen für klassische Technologien und den zusätzlichen Aufwendungen für den Bereich der Batteriezellen zu verstehen ist.

5.1.3 Impulse durch Digitalisierung und Mobilitätsdienstleistungen

Zwei bedeutende Treiber für Veränderungen in der Verkehrswirtschaft sind zum einen die Digitalisierung und zum anderen neue Dienstleistungsangebote. Für die exemplarische Einschätzung entsprechender Impulse haben wir das Thema **vernetzte und automatisierte Fahrdienste** ausgewählt, bei dem beide Treiber zusammen Wirkungen entfalten: Die Personenbeförderung mit autonomen Bussen, Shuttles und Robotaxis. Dazu schätzen wir zunächst auf Grundlage der straßenbezogenen Übertragungstechnik, sogenannte Roadside Units (RSU), das Investitionsvolumen der Infrastruktur für vernetztes und automatisiertes Fahrens (VAF) ein. In einem zweiten Schritt legen wir die makroökonomischen Wirkungen und Verflechtungen durch Dienstleistungen dar, die im Kern auf VAF basieren.

5.1.3.1 Investition in Infrastruktur für vernetztes und automatisiertes Fahren (VAF)

Zur Kalkulation der Infrastrukturkosten des vernetzten und automatisierten Fahrens (VAF) wurde – ähnlich wie bei den Mobilitätshubs (siehe Kap. 5.1.1.5) – ein nach Raum und

Szenarien differenziertes Verfahren kombiniert. Zunächst wurde auf Basis der siedlungsstrukturellen Raumtypen aus dem Arbeitspaket 3 die jeweilige Bevölkerungszahl für das Referenzszenario sowie die Fortschreibungen für die Szenarien ES-35 bzw. MM-35 zugrunde gelegt (siehe Abbildung 5-9). Mit Hilfe der Straßendichte pro Einwohner des bevölkerungsreichsten Bundeslandes Nordrhein-Westfalen wurden die Anzahl der Kilometer öffentlichen Straßen ermittelt. Dabei sind Autobahnen, Bundes-, Landes-, Kreis- und auch Gemeindestraße berücksichtigt (MBWSV 2016). Nordrhein-Westfalen beinhaltet drei der vier Raumtypen, deren Straßendichte pro Einwohner stellvertretend für das Bundesgebiet verwendet wurde. Für den nicht in NRW vertretende Raumtyp 4 (dünn besiedelte ländliche Kreise) orientiert sich die Schätzung an den Straßendichten grenznaher Landkreise: Ansatzpunkte boten besonders der Hochsauerlandkreis und der Kreis Höxter, die an Räume des Typs 4 in benachbarten Bundesländern grenzen. Die Randsumme wurde mit der Gesamtlänge des deutschen Straßennetzes für das Referenzjahr 2015 abgeglichen (Stuhr 2018: 66).

Durch die rechnerische Verknüpfung der je Szenario fortgeschriebenen Einwohnerzahl und der Straßendichte pro Einwohner bleibt das bedarfsgerechte Verhältnis je Raumtyp bestehen: Wo weniger Menschen leben, werden weniger Straßen benötigt und umgekehrt. Zusätzlich sind wir davon ausgegangen, dass in beiden Szenarien besonders im urbanen Raum des Typs 1 und 2 (kreisfreie Großstädte und städtische Kreise) ein Rückbau bzw. eine Umwidmung von öffentlichen Straßen stattfindet, die im Zusammenhäng mit den analytischen Annahmen stehen. Dieser Trend ist im Szenario E-Straße schwach und im Szenario Multi-Modalität – im Zuge der Flächenbahn – stark ausgeprägt.

Die Infrastrukturkosten beziehen sich auf sogenannte Roadside Units (RSU). Damit sind allgemein technische Übertragungsanlagen am Straßenrand bzw. an Kreuzungspunkten gemeint, die in der Regel stationär verbaut sind, in Einzelfällen aber auch mobiler bzw. temporärer Art sein können. Technische Basisinvestitionen, wie z. B. der Betrieb des Mobilfunknetzes und Aufbau des 5G-Standard, sind nicht enthalten. Die RSUs bestehen vereinfacht ausgedrückt aus folgenden Technologievarianten (vgl. Protzmann et al. 2018: 25 ff.):

- **WLAN-V2X**: gehört zu der auf dem IEEE 802.11-Standard basierenden Familie von Kommunikationstechnologien speziell für die Kommunikation Fahrzeug-Fahrzeug einerseits und Fahrzeug-Verkehrsinfrastruktur andererseits; Erweiterung der existierenden IEEE 802.11-Variante um einen WLAN Kommunikationsmodus, mit dem Fahrzeuge direkt miteinander kommunizieren können, ohne vorher Steuerungsinformationen austauschen zu müssen
- **Cellular-V2X**: Erweiterung des Mobilfunks um Funktionen für Fahrzeugsicherheit; Kommunikation zwischen den Fahrzeugen und einem sich meist im Internet befindlichen Backend; Konnektivität und Datenrate kann in ländlichen Kreisen (Raumtyp 3 und 4) eingeschränkt sein; Ausbau im Zuge der Einführung des 5G-Standards zu erwarten
- **Backend-V2X**: „konventionelle“ öffentliche Mobilfunksysteme und die zugrunde-liegenden Technologien; wichtigste Erweiterung ist die direkte Kommunikation

zwischen Endgeräten, nicht nur zwischen Fahrzeugen, sondern auch für die Konnektivität von RSUs; eine Stärke ist die Wiederverwendung der existierenden Mobilfunkinfrastruktur, was die Installations- und Betriebskosten verringert

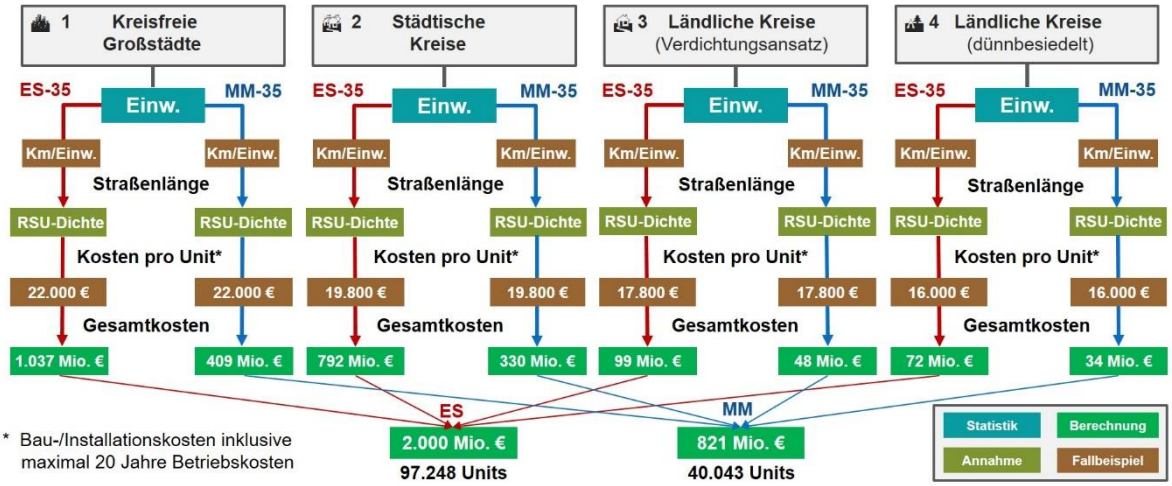
Die Varianten schließen gemäß den Autoren der Studie (Protzmann et al. 2018, S. 25) auch jeweilige Weiterentwicklungen innerhalb technischer Generationen ein. Darüber hinaus gibt es weitere Komponenten mit Bezug zur Infrastruktur wie z. B. Daten-Clouds oder den Ausbau übergeordneter Knotenpunkte (sogenannte Backhaul Upgrade). Diese Komponenten wurden nicht in die Kalkulation einbezogen, da sie vielseitig verwendbare Basisinfrastrukturen darstellen und somit auch zu anderen Zweck als dem des vernetzten und automatisierten Fahrens verwendet werden können (Protzmann et al. 2018, S. 53).

Für die RSU-Dichte wurden auf „fundierte Ersteinschätzungen“ von Protzmann et al. (2018) zurückgegriffen, die entsprechende Investitionen für das Land Berlin quantifiziert haben. Dabei unterschieden die Autoren der Studie zwischen einmaligen Anfangskosten und jährlichen Folgekosten (Betriebskosten). Zur Vereinfachung wurde angenommen, dass die RSUs bis 2035 zwar instandgehalten und upgedatet, aber nicht vollständig erneuert werden. Die Anfangskosten fallen daher nur einmal an, während die Folgekosten für die maximale Betriebszeit von 20 Jahren kalkuliert wurden. Anfangs- und Folgekosten wurden modellgemäß auf die Jahre 2015 bis 2035 verteilt. Die mittleren Kostenschätzungen der Studie wurden für den Raumtyp 1 (kreisfreie Großstädte) zugrundgelegt und für die übrigen Raumtypen stufenweise reduziert. Dahinter steht die Annahme, dass die RSUs im Durchschnitt umso kleiner dimensioniert sind, je dünner die Besiedelung der Raumtypen ist. Zwar gibt es auch im Raumtyp 3 und 4 (ländliche Kreise) Autobahnen mit potentiellen RSUs, etwa an Auf- und Abfahrten, doch insgesamt bestehen RSU-relevante Punkte unseres Erachtens in geringerer Anzahlen bzw. in geringerer Dichte als in den anderen Raumtypen. In Bezug auf die Szenarien wurde angenommen, dass im Szenario E-Straße ein stärkerer Ausbau an RSUs stattfindet, als im Szenario Multi-Modalität. Grund dafür ist die hierbei angenommene Verkehrsträgerverlagerung von der Straße auf die Schiene im Zuge der Flächenbahn. Die Fahrleistungen auf der Straße nehmen daher gegenüber dem Referenzszenarios deutlich stärker ab, als im Szenario E-Straße. Zwar leben im bevölkerungsreichen Raumtyp 1 (kreisfreie Großstädte) über 1 Mio. Personen mehr als im Szenario ES, zugleich ist aber die angenommene Straßendichte pro Einwohner geringer, was ebenfalls zu geringeren RSU-Zahlen führt. Hingegen ist im Szenario E-Straße das vernetzte und automatisierte Fahren etwas stärker verbreitet, u. a. durch fahrerlose Taxis, Shuttles und Busse. Zudem ist die angenommene Straßendichte pro Einwohner gegenüber dem Referenzszenario unverändert. Zudem nehmen wir an, dass im Rahmen der Ladeinfrastruktur für elektrische Straßenfahrzeuge insgesamt mehr in den Verkehrsträger Straße investiert wird.

Auf Basis dieser Annahmen und Berechnungen wurde ein Mengengerüst erstellt (siehe Abbildung 5-9). Im Ergebnis betragen die Investitionen in die Infrastruktur für automatisiertes Fahren **ca. 2 Mrd. EUR im Szenario E-Straße** und etwa **ca. 0.8 Mrd. EUR im Szenario Multi-Modalität**. Die Gesamtanzahl an RSUs beträgt für das Szenario E-Straße fast 100,000 und für das Szenario Multi-Modalität ca. 40,000 Einheiten. Zum Vergleich:

Allein für Berlin rechnen Protzmann et al. (2018) in ihrem ambitioniertesten Szenario mit bis zu ca. 3,000 RSUs.

Abbildung 5-9: Schema zur Kalkulation der VAF-Kosten für die Errichtung und den Betrieb von Roadside Units



Quelle: M-Five, eigene Darstellung

5.1.3.2 Neue Mobilitätsdienstleistungen

Veränderungen in der Beschäftigung durch Mobilitätsdienstleistungen sind durch zwei Entwicklungen zu erwarten: Der Hochlauf neuer Mobilitätsformen und die Automatisierung. Die Beschäftigungswirkung durch die Verkehrsleistung und die im Wandel begriffenen Modalanteile wird im Modell ausgehend von den anhand der in den Szenarien spezifizierten Modalanteile modellierten Umsätze der Verkehrsträger und einer Reihe von Annahmen berechnet. Diese werden im Folgenden jeweils dargestellt.

Zunächst wird aus den Umsätzen der einzelnen Verkehrsträger und einem **Wertschöpfungsanteil** (am Gesamtumsatz) die für die Studie relevante Wertschöpfung errechnet. Dieser Anteil liegt standardmäßig bei 50 %, angelehnt an den Wertschöpfungsanteil des Sektors Landverkehr in der Input-Output-Tabelle von 2015, der bei 50.9 % liegt (DeStatis 2019b). Für einige Mobilitätsformen wurde er differenziert, wenn entweder genauere Daten vorhanden sind oder wenn eine Kalibrierung[20] eine Anpassung erfordert.[21] Bei Post-, Paket-, Kurier- und Expressdienstleistungen (KEP) macht die Wertschöpfung dagegen 42.8 % des Gesamtumsatzes aus, was vor allem an den sehr geringen Nettobetriebsüberschüssen liegt – der Anteil der Arbeitnehmerentgelte im Inland ist dagegen bei KEP mit 37.3 % deutlich höher als bei den Landverkehrsdienstleistungen

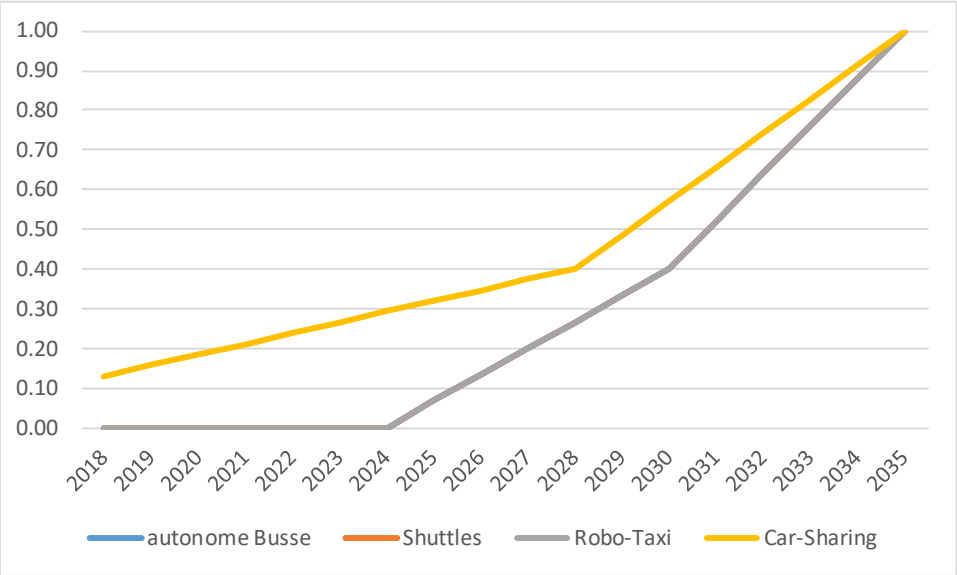
20 Kalibrieren bedeutet hier, Modellparameter wie den Wertschöpfungsanteil anzupassen, um Modellergebnisse an empirische Daten anzugleichen.

21 Die Wertschöpfungsanteile unterscheiden sich auch in Sektoren, die in recht enger Verbindung mit dem Verkehr stehen, stark: für Lagerei und sonstige Dienstleistungen für den Verkehr 35.8 %; für Instandhaltung und Reparatur 69.7 % (DESTATIS, 2019).

mit 25.4 % (DeStatis 2019b). Die Wertschöpfungsanteile von Shuttles (56.6 %), Car-Sharing (47.5 %) und Robotaxi (52.44 %) wurden aus Arbeitspapier 4 dieser Studie übernommen (Sievers et al. 2019). Der Anteil bei Taxis wurde auf 75 % erhöht, um den hohen Anteil von Personal- und Steuerausgaben widerzuspiegeln und um auf die empirisch ermittelten hohen Beschäftigungszahlen zu kommen. Für den Schienenpersonenverkehr wurde der Anteil dagegen auf 30% reduziert, um eine Angleichung an das Beschäftigungs-Umsatz-Verhältnis aus Arbeitspapier 4 zu erreichen.

Die Anteile der jeweiligen Modi im Modell werden an die in den Szenarien definierten Anteile angepasst (siehe dazu auch Kapitel 4.1). Die neuen Modi (autonome Busse, Shuttles und Robotaxi) werden über **Hochlaufkurven** in die Modellierung integriert. Die Startpunkte und Geschwindigkeit der Etablierung der Modi kann somit variiert werden, während die Anteile und Verkehrsleistungen für das Jahr 2035 den für das Forschungsprojekt definierten Szenarien entsprechen. Die von uns angenommenen Hochlaufkurven sind in Abbildung 5-10 dargestellt.

Abbildung 5-10: Hochlaufkurven neuer Verkehrsmodi



Quelle: M-Five Annahmen

Wir gehen allgemein von einem **Importanteil** von in der Regel 10 % der Wertschöpfung aus (d.h. Import von Dienstleistungen z.B. durch ausländische Lkw in Deutschland). Dieser deckt sich vor allem mit der Input-Output-Tabelle von 2015 mit 9 % Importanteil am Gesamtumsatz des Landverkehrs und 9.9 % an der Wertschöpfung (DeStatis 2019b). Dieser Anteil wurde wiederum etwas differenziert: Für Lkw und Güterzüge mit 20 % und bei Bussen, Shuttles, S- und U-Bahn, Car-Sharing und Taxi mit 1 %. Aus diesen Anteilen und der Bruttowertschöpfung ergibt sich die Bruttowertschöpfung im Inland.

Aus dieser Bruttowertschöpfung im Inland werden dann die Beschäftigtenzahlen berechnet. Die Beschäftigung pro Million Euro Bruttowertschöpfung im Inland liegt zwischen 5 für einige autonome Modi und 60 EWT/Mio*€ für (nicht autonome) Taxis. Diese Parameter wurden für

die traditionellen Modi aus Arbeitspapier 2 (Wagner et al. 2018) übernommen und für neue, autonome Modi teilweise aus Arbeitspapier 4 (Sievers et al. 2019).

Durch Automatisierung kommt es zu einer Umstrukturierung der Bruttowertschöpfung. Da aktuell menschliche Arbeit durch Technologie ersetzt wird, geht die Summe der Arbeitnehmerentgelte zurück, während die Ausgaben für Technologie (automatisierte Fahrzeuge) steigen. Letztere spiegeln sich in höheren Abschreibungen wider, die auch Teil der Bruttowertschöpfung sind. Die Entwicklung der Betriebsüberschüsse wird maßgeblich von den Hochläufen, Technologiekosten und der Intensität des Wettbewerbs abhängen.

Die Auswirkung der Automatisierung auf die Beschäftigung hängt vor allem von den Parametern für die Beschäftigung pro Bruttowertschöpfung ab. Diese unterscheiden sich in der Regel recht stark: 24.7 bei konventionellen Bussen zu etwa 5 bei autonomen Bussen und Shuttles; beim Taxi sogar von 60 zu 5 EWT/Mio*€ für die konventionelle und autonome Version.

Auch bei nicht komplett autonomen Modi haben wir eine gewisse Automatisierung modelliert. Bei Lkw, leichten Nutzfahrzeugen, dem Schienenpersonenverkehr sowie S- und U-Bahnen steigt die Produktivität jeweils um 20 % bis 2035. Diese Entwicklung ist an Arbeitspapier 4 (Sievers et al. 2019) orientiert und soll widerspiegeln, dass einige dieser Fahrzeuge autonom fahren werden.

Letztlich könnten auch Importe von Mobilitätsdienstleistungen oder deren Vorleistungen deutlich erhöht werden, wenn autonome Fahrzeuge sich durchsetzen – diese Dynamik ist allerdings nur als Sensitivität modelliert und nicht in den Standardeinstellungen integriert. Während Fahrer durch Technologie ersetzt werden, werden zusätzliche Arbeitsplätze in Leitwarten entstehen, insbesondere für Kontroll- und Störfallpersonal. Diese Tätigkeiten sind computerbasiert und nicht an einen bestimmten Ort gebunden und könnten daher an ausländische Dienstleister oder Unternehmensabteilungen ausgelagert werden. Diesen Effekt erwarten wir allerdings erst wenn die Standardisierung dieser Tätigkeiten fortgeschritten ist, d.h. wenn autonome Modi relativ etabliert sind und damit verbundene Erfahrungs- und Skaleneffekte einsetzen.

Wir berücksichtigen in unserer Modellierung daher auch einen Anstieg von Importen an der Wertschöpfung von 15 % für autonome Modi (autonome Busse, Shuttles, Robotaxen). In Arbeitspapier 3 kamen wir zu dem Ergebnis, dass diese Beschäftigten (im letzten Absatz beschrieben) etwa 19 % der Gesamtbeschäftigung ausmachen könnten (Wagner et al. 2019). Ein Anstieg von 15 % wäre daher eine starke Auslagerung und ist damit ein Extremszenario. Die tatsächliche Auslagerung und damit die Änderung der Importanteile dürfte zwischen diesem Wert und 0 % liegen.

5.1.3.3 Investitionen in F&E und Produktion von Halbleitern

Neben Batteriezellen wird die zweite relevante Zukunftstechnologie[22] für die Szenarien auf der Hardwareseite die Herstellung von Halbleitern (Chips) sowohl für hohe und robuste Rechenleistungen als auch die zum Aufbau von Sensoren erforderlichen Halbleiter sein. Diese werden zur Steuerung der automatisierten bzw. autonomen Pkw in den zahlreichen (Fahrer-) Assistenzsystemen benötigt.

In der öffentlichen Wahrnehmung ist Deutschland bei diesen Technologien abgehängt. Aber so drastisch ist die Situation nicht. Bosch produziert in Reutlingen Chips für die Automobilindustrie und baut in Dresden mit einer Investitionssumme von 1 Mrd. € ein weiteres Werk zur Chip-Herstellung auf. Diese Produktion soll 2021 in Betrieb gehen. Außerdem sitzt in Dresden mit GlobalFoundries ein weiterer Halbleiterproduzent, der eines von global insgesamt vier Werken hier angesiedelt hat, und mit seinen in Deutschland produzierten Chips die Automobilindustrie beliefert.

Ähnlich wie bei Batteriezellen ist es auch bei Halbleitern wichtig in F&E neuer Generationen und mit speziell auf Automobile zugeschnittenen Fähigkeiten und damit neue Technologien für Halbleiter in Assistenzsystemen zu investieren und die Produktion auch in Deutschland zu sichern bzw. auszubauen.[23] Dies wird aufgrund des hohen Automatisierungsgrades der Chip-Produktion keine große Zahl an Beschäftigten generieren aber einen weiteren auch zukünftig wichtiger werdenden Teil der Wertschöpfung in Deutschland sichern.

Wir haben uns bei den Investitionsbedarfen am Beispiel der Bosch-Fabrik in Dresden orientiert und von 2020 bis 2030 eine zusätzliche jährliche Investition in F&E und Halbleiterfertigung von 500 Mio. €, d.h. insgesamt 5 Mrd. $€_{2010}$ in beiden Szenarien unterstellt, davon 40% für F&E. Hier gilt wie bei den Batteriezellen, dass die erforderliche Investition höher liegen, aber ein Teil durch vermiedene Investitionen in konventionelle Technologien abgedeckt werden kann. Da diese vermiedenen Investitionen in diesem Projekt nicht quantifiziert wurden, wird nur der Saldo der zusätzlichen Investitionen abgeschätzt und modelliert.

Diese Investitionen verteilen sich als zusätzliche Endnachfrage auf die Sektoren Maschinen (45%), Kommunikation (25%), Elektronik (20%) und Bausektor (10%).

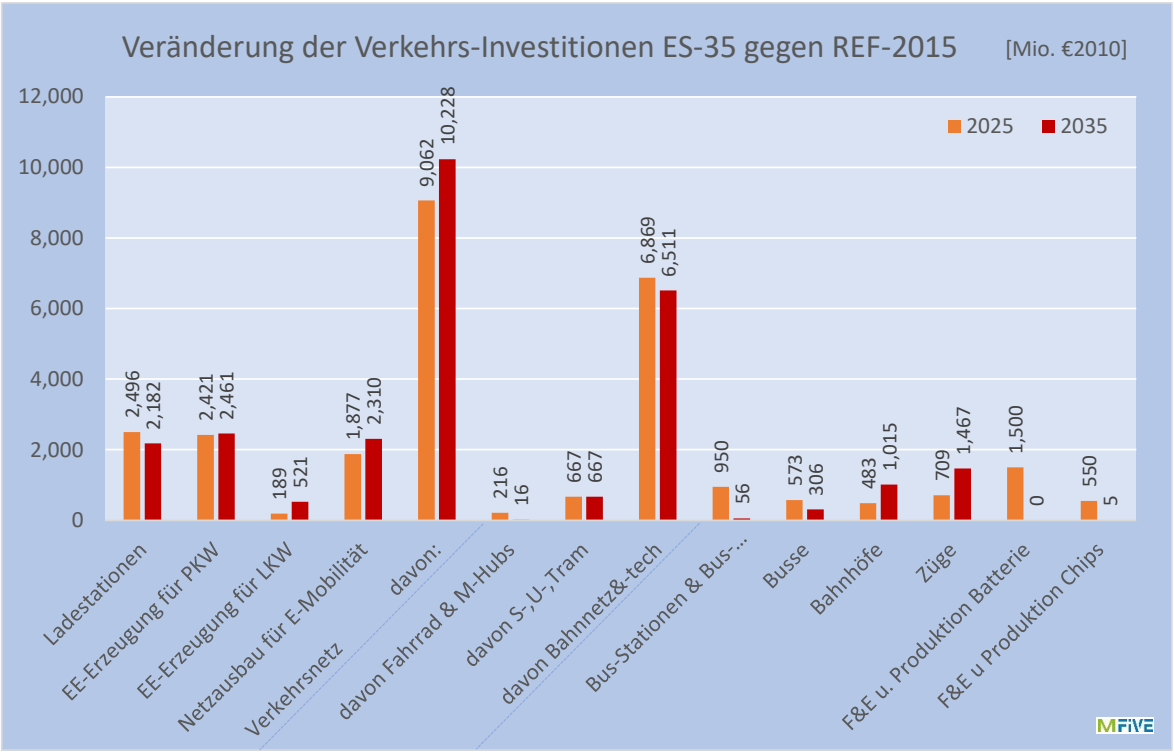
22 Auch der Leichtbau ist eine relevante Zukunftstechnologie, aber nicht direkt verknüpft mit den Szenarien, während für die Mobilitätsdienstleistungen die Assistenzsysteme (MM-35) und damit Halbleiter essenziell sind und für die E-Mobilität (ES-35) die Batteriezellen. Leichtbau wäre essenziell für ein Effizienz-Szenario.

23 Die Produktion von Halbleitern ist auch in anderen europäischen Hochlohnländern ansässig, wie insbesondere in den Niederlanden. Das zeigt nochmals, dass die Technologie realistisch auch in Deutschland angesiedelt sein kann.

5.1.4 Investitionsprogramm: Summe der Impulse

Die Umsetzung der Szenarien nachhaltiger Mobilität erfordern ein deutlich verändertes Investitionsprogramm gegenüber der Struktur von 2015. Dazu gehören steigende Investitionen in ÖV- und Rad-Infrastrukturen, Ladesäulen- und Netzausbau für die E-Mobilität, Fahrzeuge für den ÖPNV, F&E und Erstellung von Produktionsanlagen für neue Technologien im Fahrzeugbereich, d.h. für Batteriezellen und -pakete, für Halbleiter und Assistenzsysteme. Der Verlauf der Investitionen wird ab 2018 für die Szenarien variiert. Abbildung 5-11 stellt die Veränderung der Investitionen für 2025 und 2035 gegenüber dem Referenzjahr 2015 dar. Beispielsweise betrugen die Investitionen in Ladestationen für Pkw und NFz im Referenzjahr 13 Mio. $€_{2010}$ und sind im Jahr 2025 auf 2,509 Mio. $€_{2010}$ angewachsen. Damit wird als Veränderung die Differenz der beiden Beträge der jährlichen Investitionen ausgewiesen mit 2,496 Mio. $€_{2010}$. Parallel zum Hochlauf der E-Mobilität wird die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien (EE-Strom) aufgebaut, um 100% Versorgung des Verkehrs mit CO_2-freiem Strom zu ermöglichen. Im Jahr 2025 werden für die Versorgung von E-Pkw 2,421 Mio. $€_{2010}$ zusätzlich investiert. Für NFz sind keine spezifischen Politikprogramme hinterlegt, so dass nur eine langsame Elektrifizierung erfolgt, die zu einem zusätzlichen Investitionsbedarf von 189 Mio. $€_{2010}$ führt. Der Ausbau der E-Mobilität erfordert auch eine Ertüchtigung der Verteilnetze zur Stromversorgung insbesondere in den Städten. Dieser führt zu zusätzlichen Investitionen von 1,877 Mio. $€_{2010}$. Die größten Investitionssummen entstehen im Verkehr für Pkw (nicht dargestellt) und die Netzinfrastrukturen. In das Verkehrsnetz werden in 2025 9,062 Mio. $€_{2010}$ mehr investiert als in 2015 um das Szenario ES-35 zu realisieren. Davon entfällt der größte Betrag 6,869 Mio. $€_{2010}$ auf den Erhalt und Ausbau des Bahnnetzes inklusive der Ertüchtigung der Steuerungssysteme (ETCS, European Train Control System – Level 2). Für die Netze im schienengebundenen ÖPNV beträgt der Zuwachs in 2025 667 Mio. $€_{2010}$ und für den Ausbau des Radverkehrs und von Mobilitätsstationen 216 Mio. $€_{2010}$. Die zusätzlichen jährlichen Investitionen für Fahrzeuge, Digitalisierung und Haltestellen belaufen sich in 2025 bei Bussen auf 950 Mio. $€_{2010}$ für Stationen und Steuerungssysteme und 573 Mio. $€_{2010}$ für neue Fahrzeuge. Im Bereich der Schiene werden in 2025 gegenüber dem Niveau von 2015 483 Mio. $€_{2010}$ für Bahnhöfe und 709 Mio. $€_{2010}$ für neue Züge zusätzlich investiert. F&E und Aufbau von Batteriezellfertigungen in Deutschland erfordern in 2015 1,500 Mio. $€_{2010}$. F&E und Aufbau von Produktion für Halbleiter sind grob mit 550 Mio. $€_{2010}$ zusätzlichen Investitionen abgeschätzt.

Abbildung 5-11: Veränderung der Investitionen mit Fokus Personenverkehr in ES-35 gegen REF-2015 (ohne Pkw)



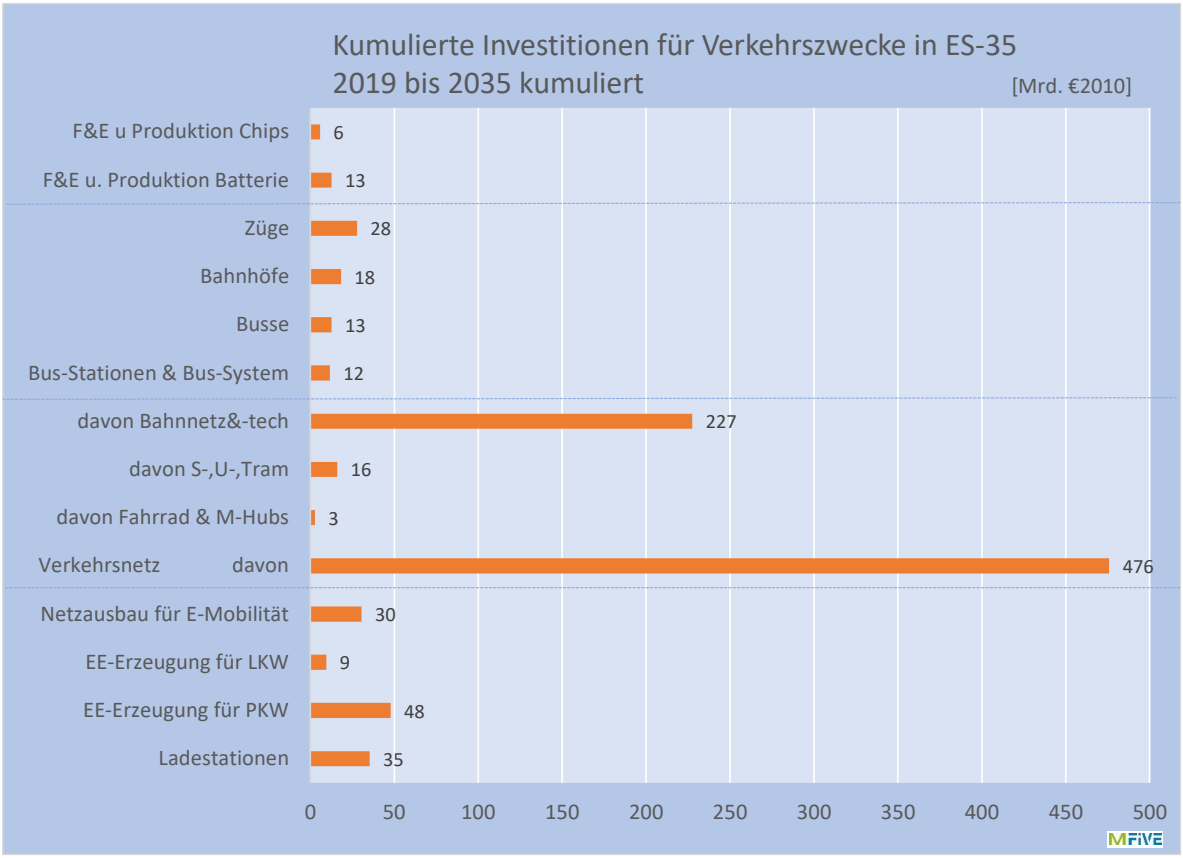
Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Abbildung 5-12 stellt die kumulierten Investitionen in die vorgenannten Kategorien über den Zeitraum 2019 bis 2035 dar. Die Werte stellen also nicht die Veränderung gegenüber 2015 dar, sondern die gesamten erforderlichen Investitionen zur Umsetzung des Investitionsprogramms für das Szenario ES-35. Ohne Straßenfahrzeuge beläuft sich die gesamte Summe mit Fokus Personenverkehr auf 688 Mrd. $€_{2010}$, inklusive Straßenfahrzeuge auf 1,573 Mrd. $€_{2010}$.[24] Die Abschätzungen sind eher als untere Grenze zu verstehen, da z.B. im Bereich des Radverkehrs oder der F&E-Aufwendungen die Datengrundlage zur Abschätzung der für nachhaltige Mobilität erforderlichen Investitionen unzureichend ist und nach unserer Einschätzung mit Verbesserung der Erkenntnisse eher nach oben zu korrigieren sein wird. Fasst man die Investitionskategorien in vier Gruppen zusammen ergibt sich für deren kumulierte Investitionen:

24 Aufgrund des Fokus auf Personenverkehr in den Szenarien nachhaltiger Mobilität werden hier reine Investitionen in den Güterverkehr (z.B. Kanäle und Binnenschiffe) nicht einbezogen. Allerdings lassen sich im Bereich des Schienenverkehrs die Investitionen nicht trennscharf zuordnen, da z.B. ETCS und Kapazitätserweiterungen oder der Deutschlandtakt auch dem Güterverkehr zu Gute kommen. D.h. würde man auch vollständige Szenarien für nachhaltigen Güterverkehr definieren und einbeziehen lägen die gesamten kumulierten Investitionen etwas höher.

- Stromversorgung des Verkehrs: 123 Mrd. €$_{2010}$.
- ÖV Fahrzeuge und Halte: 70 Mrd. €$_{2010}$.
- Verkehrsnetz: 476 Mrd. €$_{2010}$
- Batteriezelle & Halbleiter: 18 Mrd. €$_{2010}$.

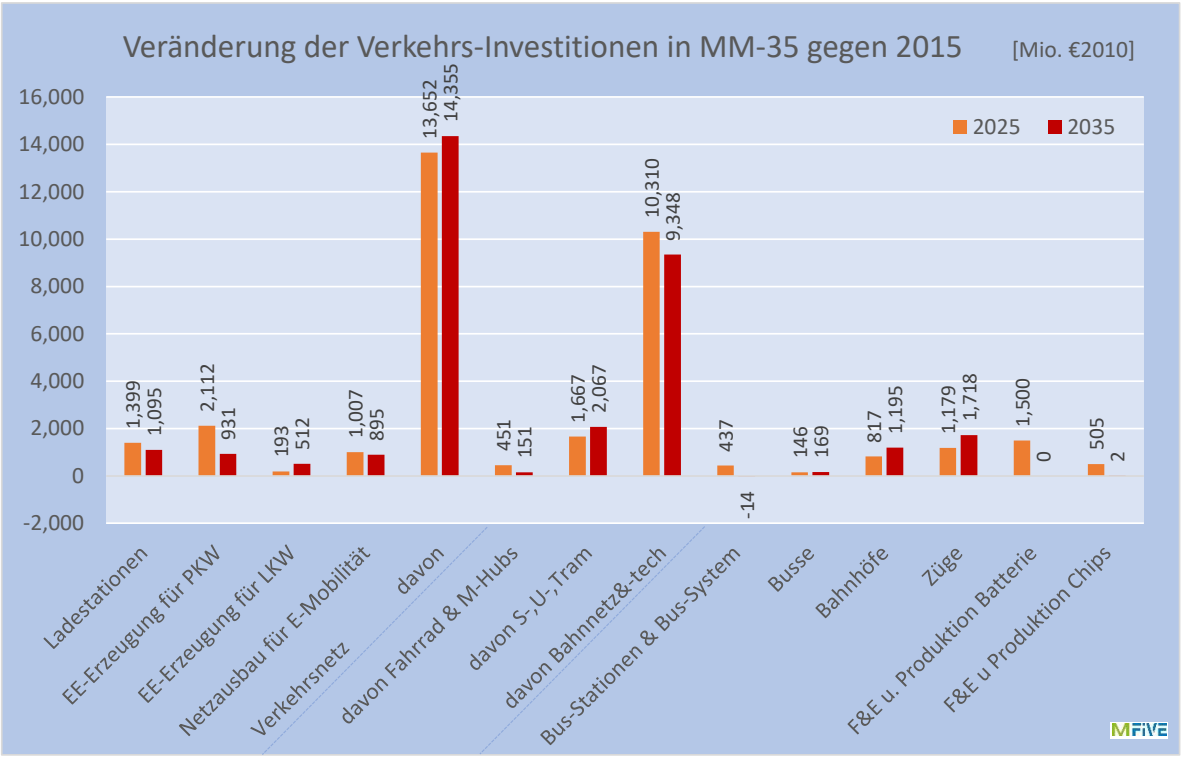
Abbildung 5-12: Kumulierte Investition in Verkehrszwecke in ES-35 (ohne Pkw)



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Im MM-35 Szenario verschieben sich die Investitionsanstrengungen leicht von der Stromversorgung des Verkehrs sowie den Bus-Systemen hin zum noch stärkeren Ausbau der Rad- und Schienennetze, der Tram- und Zugbeschaffung sowie der Digitalisierung von Mobilitätsdienstleistungen. Die Veränderungen gegenüber dem Szenario ES-35 sind aber weniger fundamental als die Veränderungen beider Szenarien gegenüber der Referenz in 2015. Die zusätzliche Investition in das Schienennetz in MM-35 steigt in 2025 auf 10,310 Mio. €$_{2010}$ an gegenüber 6,869 Mio. €$_{2010}$ in ES-35. Für Bahnhöfe werden 817 Mio. €$_{2010}$ anstatt 483 Mio. €$_{2010}$ mehr ausgegeben, und für Züge 1,719 Mio. €$_{2010}$ anstatt 709 Mio. €$_{2010}$ in ES-35 jeweils gegenüber 2015. Das Wachstum gegenüber 2015 fällt hier zwischen zwei Drittel bis mehr als Verdopplung des Zuwachses gegenüber 2015 aus. Der Bereich der Investition in Batteriezellen und Halbleiter in MM-35 ist unverändert gegenüber ES-35, da die Abschätzungen eine untere Grenze darstellen und die Produkte in beiden Szenarien auf jeden Fall benötigt werden.

Abbildung 5-13: Veränderung der Investitionen mit Fokus Personenverkehr in MM-35 gegen REF-2015 (ohne Pkw)



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

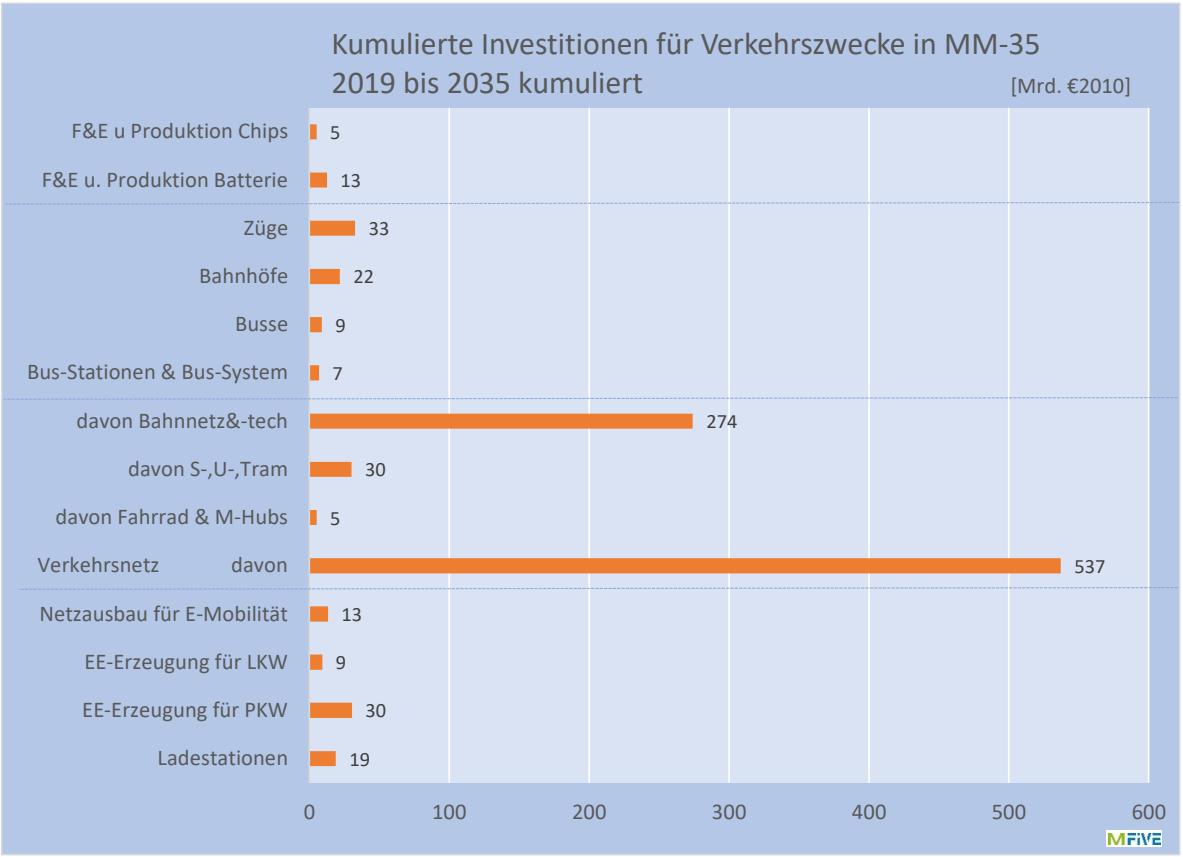
Die über den Zeitraum 2019 bis 2035 kumulierten Investitionen in MM-35 sind in Abbildung 5-14 dargestellt. Mit Fokus Personenverkehr und ohne Straßenfahrzeuge beläuft sich die gesamte Summe auf 697 Mrd. €$_{2010}$, inklusive Straßenfahrzeuge auf 1,182 Mrd. €$_{2010}$. Das Niveau ohne Straßenverkehr ist ungefähr vergleichbar wie in ES-35. Aber die Investitionen in Pkw, d.h. die gewerbliche Beschaffung von Pkw ist in MM-35 drastisch reduziert und liegt kumuliert 400 Mrd. €$_{2010}$ niedriger als in ES-35. Die Abschätzungen der zusätzlichen Investitionen sind eher als untere Grenze zu verstehen, da z.B. im Bereich des Radverkehrs oder der F&E-Aufwendungen die Datengrundlage zur Abschätzung der für nachhaltige Mobilität erforderlichen Investitionen unzureichend ist und nach unserer Einschätzung mit Verbesserung der Erkenntnisse eher nach oben zu korrigieren sein wird. Die vier Investitionskategorien stellen sich in MM-35 wie folgt dar:

- Stromversorgung des Verkehrs: 72 Mrd. €$_{2010}$.
- ÖV Fahrzeuge und Halte: 70 Mrd. €$_{2010}$.[25]
- Verkehrsnetz: 537 Mrd. €$_{2010}$
- Batteriezelle & Halbleiter: 18 Mrd. €$_{2010}$.

Bei den Verkehrsnetzen liegen die Investitionen in die Schiene 47 Mrd. €$_{2010}$ höher in MM-35 als in ES-35.

25 Die Summe ist zufällig identisch mit ES-35. Es findet aber eine deutliche Verlagerung von Bus-Investitionen (-9 Mrd. €$_{2010}$) zu Bahnhöfen und Zügen (+9 Mrd. €$_{2010}$) statt.

Abbildung 5-14: Kumulierte Investition in Verkehrszwecke in MM-35 (ohne Pkw)



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

5.2 Bruttoinlandsprodukt und Gesamtbeschäftigung

Der zentrale gesamtwirtschaftliche Indikator für die Messung und Bewertung der ökonomischen Entwicklung einer Volkswirtschaft ist das Bruttoinlandsprodukt (BIP).[26] Das BIP zeigt den Wert der im Inland hergestellten Waren und Dienstleistungen auf, klammert aber dabei die Waren und Dienstleistungen aus, die nur als Vorleistungen erbracht werden.

In Deutschland ist das reale BIP in den letzten 18 Jahren (2000 bis 2018) im Durchschnitt um 1.3% pro Jahr (Compound Annual Growth Rate, CAGR) gewachsen.[27] Im Referenzszenario von ASTRA-HBS schwächt sich das jährliche Wachstum auf 1.1% (CAGR) ab. Der Unterschied von 0.2% in der CAGR ist allerdings nicht vernachlässigbar. In 2035 läge bei gleichbleibender Wachstumsrate von 1.3% p.a. das BIP in Deutschland gut 110 Mrd. $€_{2010}$ höher als bei 1.1% p.a. (CAGR). Der durchschnittliche absolute jährliche

26 Die Nutzung des BIP zur Messung von Wohlstand wird teils zu Recht kritisiert. Als Indikator zur Messung von ökonomischer Leistung erscheint es uns aber geeignet. Hinzu kommt, dass BIP-Statistiken lange Zeitreihen aufweisen und durch die weit verbreitete Nutzung internationale Vergleiche ermöglichen.

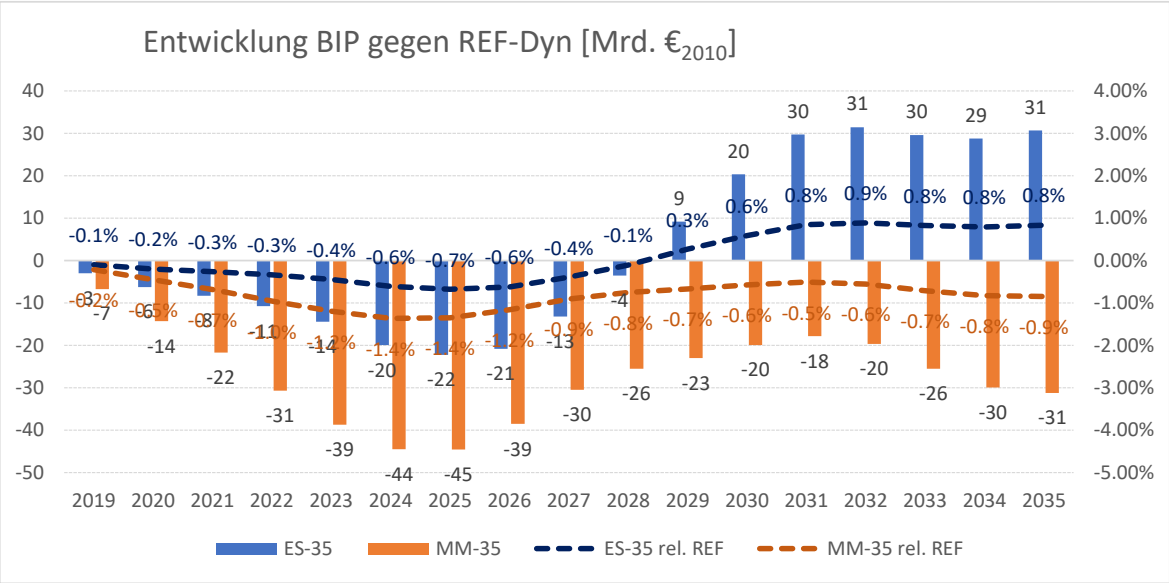
27 Zur historischen Entwicklung des BIP und des Volkseinkommens siehe auch DeStatis (2019a).

Zuwachs des BIP betrug von 2000 bis 2018 43 Mrd. €$_{2010}$ und sinkt in der Periode 2019 bis 2035 auf knapp 36 Mrd. €$_{2010}$.

Die beiden Szenarien nachhaltiger Mobilität verändern die Entwicklung des BIP leicht. Im Referenzszenario nimmt das BIP von 2019 bis 2035 um 568 Mrd. €$_{2010}$ zu; in ES-35 beträgt der Zuwachs 599 Mrd. €$_{2010}$ und in MM-35 537 Mrd. €$_{2010}$. Damit liegt in ES-35 die durchschnittliche Wachstumsrate bei 1.2% (CAGR, genauer 1.153% statt 1.112%). Im MM-35 liegt sie leicht niedriger mit knapp 1.1% (CAGR, genauer 1.069% statt 1.112%). Das durchschnittliche jährliche absolute Wachstum des BIP steigt in ES-35 auf 38 Mrd. €$_{2010}$ und sinkt in MM-35 auf 34 Mrd. €$_{2010}$.

Die Veränderungen des BIP weisen eine ausgeprägte Dynamik auf, welches sich am Zeitverlauf des Vergleichs der Szenarien mit dem dynamischen Referenzszenario (REF-Dyn) ablesen lässt. Bis 2025 entwickelt sich in beiden Szenarien das BIP schwächer als in REF-Dyn (siehe Abbildung 5-15). Dies ist bedingt durch die geringere Nachfrage nach und Absatz von Pkw aus deutscher Produktion in den Szenarien. Dieser Nachfrageeinbruch und seine ökonomischen Folgewirkungen kann zunächst nicht durch den Investitionsimpuls des Aufbaus zusätzlicher Infrastruktur vollständig aufgefangen werden. Ab 2026 kompensiert der Investitionsimpuls zur Schaffung von Infrastrukturen für E-Mobilität, Bahn, ÖPNV, etc. aber diese negative Wirkung und die Szenarien nähern sich der Referenz an. Das ES-35 dreht ab 2029 ökonomisch sogar in die positive Richtung mit einem Zuwachs von +0.8% bis 2035 (entspricht 31 Mrd. €$_{2010}$) gegenüber REF-Dyn. In MM-35 schwächt sich die Wirkung des Investitionsimpulses bis 2031 ab und das Szenario wächst wieder schwächer als REF-Dyn, so dass in 2035 eine Verringerung von 31 Mrd. €$_{2010}$ zu Buche schlägt nachdem die Lücke in 2031 nur 18 Mrd. €$_{2010}$ betragen hatte. Die über ES-35 hinausgehende Verringerung des Pkw-Absatzes kann also nicht durch den zusätzlichen Investitionsimpuls zwischen MM-35 und ES-35 ausgeglichen werden. In der Spitze liegt das BIP in MM-35 1.4% niedriger als REF-Dyn (in 2024).

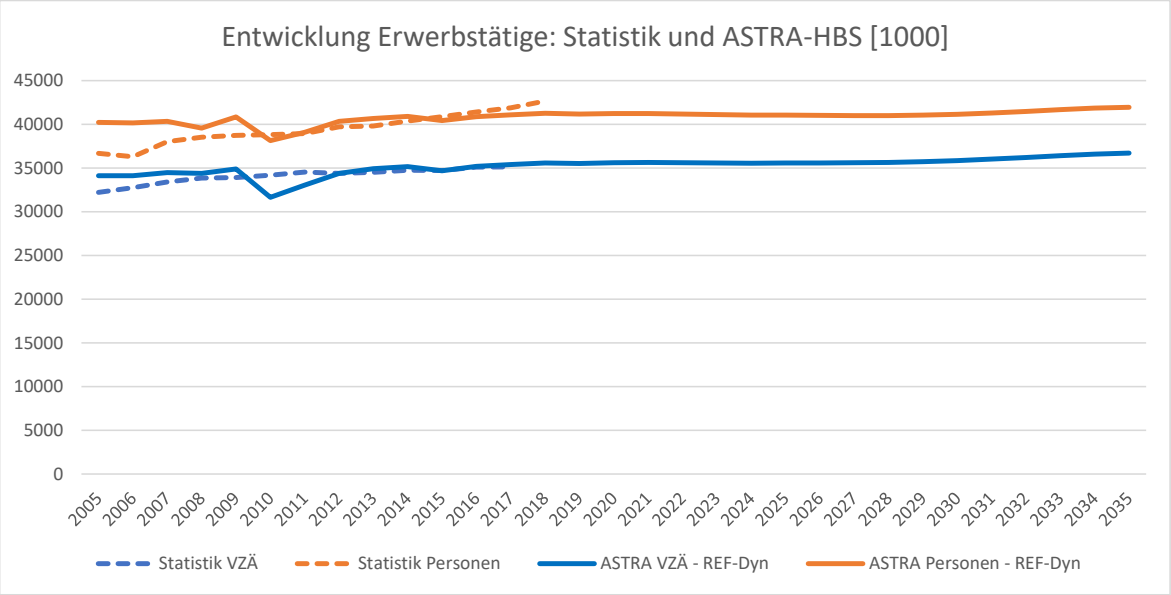
Abbildung 5-15: Veränderung des BIPs durch die beiden Szenarien - gegen Referenz



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Zum Verständnis der Berechnungen und Ergebnisse zu Erwerbstätigen in ASTRA-HBS stellt Abbildung 5-16 den Vergleich mit der Statistik von 2005 bis 2018 dar, sowie die weiter modellierte Entwicklung bis 2035 im Referenzszenario (REF-Dyn). Zunächst liegt die Entwicklung in ASTRA-HBS über den statistischen Daten, und mit der Krise in 2009 nähern sich die modellierten Ergebnisse der realen Entwicklung an und weisen von 2011 bis 2018 eine hohe Konsistenz auf. Der Vergleich in der Krise 2009-2010, zeigt das in ASTRA-HBS die Entwicklung direkter an die Änderung der Wertschöpfung (d.h. den Einbruch der Wertschöpfung) gekoppelt ist. In der Praxis haben Arbeitsmarktinstrumente (wie Kurzarbeit, Abbau von Überstundenkonten) einen deutlichen Rückgang der Beschäftigung verhindert. Solche Instrumente werden nicht in ASTRA-HBS modelliert bzw. müssten exogen im Modell über eine zeitlich befristete Anpassung der sektoralen Arbeitsproduktivität eingeführt werden. Von 2020 bis 2035 pendelt sich die Zahl der erwerbstätigen Personen im Modell zwischen rund 40 bis 42 Millionen ein, und die der Vollzeitäquivalente (VZÄ Erwerbstätige) zwischen rund 35 bis 36 Millionen.

Abbildung 5-16: Vergleich Erwerbstätige in ASTRA-HBS und in Statistik sowie REF-Dyn bis 2035

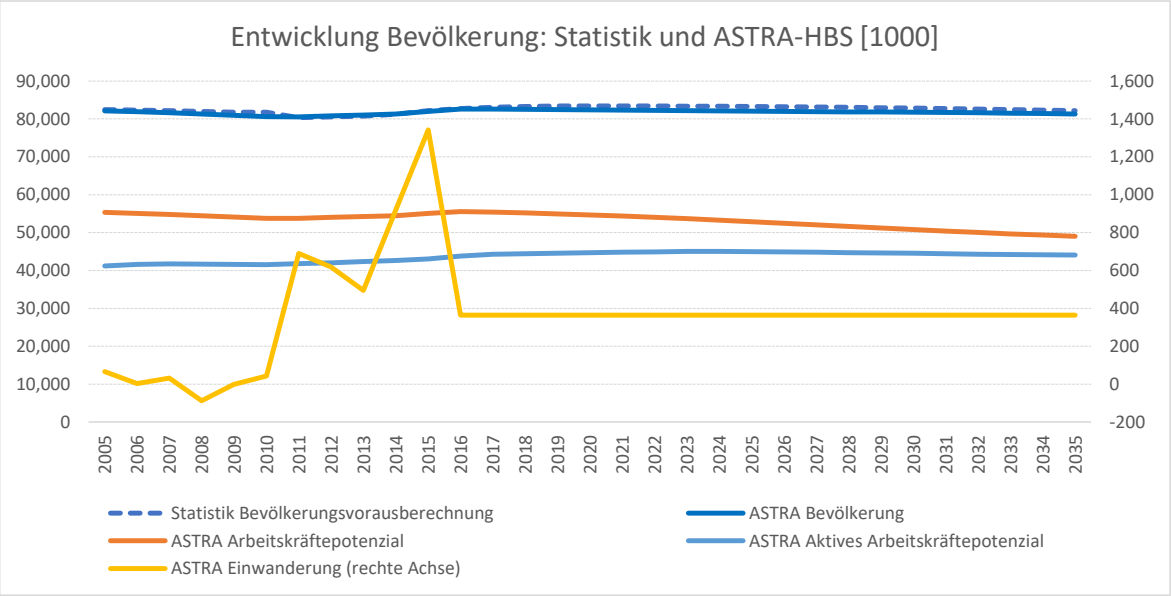


Quelle: M-Five, DeStatis (Pers.), OECD (VZÄ), ASTRA-HBS

Ein stabiler Erhalt der Erwerbstätigen ist nur realisierbar, wenn die Zahlen aus der aktualisierten Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes verwendet werden (DeStatis 2017), die sowohl von einer langfristig erhöhten Einwanderung als auch einer erhöhten Geburtenrate ausgehen. Damit ergibt sich im Bevölkerungsmodell von ASTRA-HBS, in dem ebenfalls über Anpassung von Migration, Sterbe- und Geburtenrate die Bevölkerung in Deutschland differenziert in 80 Alterskohorten modelliert wird, die Bevölkerungsentwicklung wie in Abbildung 5-17 dargestellt. 2035 leben immer noch 81.3 Millionen Menschen in Deutschland. Das Arbeitskräftepotenzial in den Alterskohorten 15-65 Jahre schrumpft von 55 Millionen in 2019 auf 49 Millionen, während die aktiv am

Arbeitsmarkt teilnehmende Bevölkerung mit rund 44 Millionen nahezu konstant bleibt. Dies gelingt durch einen Anstieg der Erwerbsbeteiligung sowohl von Frauen in den Alterskohorten der 15 bis 65-Jährigen als auch dem späteren Eintritt in die Rente in den Alterskohorten zwischen 65 und 67 Jahren.

Abbildung 5-17: Vergleich Bevölkerung und Arbeitskräftepotenzial in ASTRA-HBS und in der Statistik bis 2035



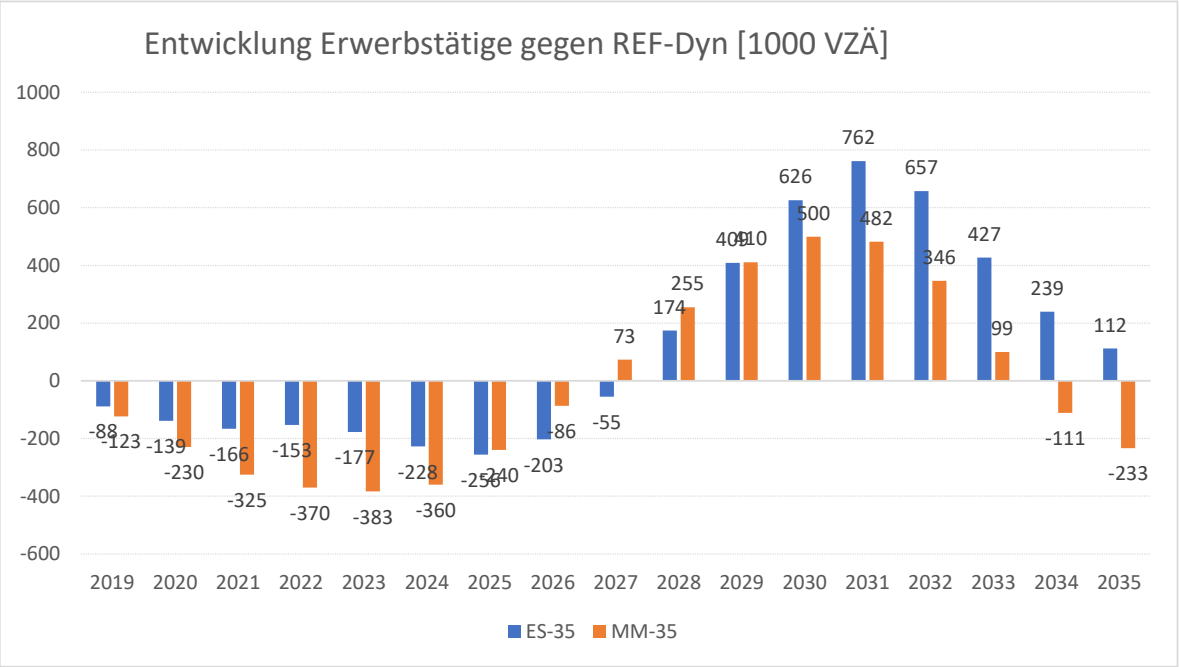
Quelle: M-Five, DeStatis, ASTRA-HBS

Die Verläufe der Erwerbstätigen in der Referenz (siehe Abbildung 5-16) ergeben sich mit einer weiter sinkenden jährlichen Verbesserung der realen Arbeitsproduktivität. Insgesamt beläuft sich die jährliche durchschnittliche Rate der Verbesserung von 2015 bis 2035 auf 1.1% (CAGR). Die Rate wurde hierbei errechnet aus der anhand der Bruttowertschöpfung gewichteten sektoralen Verbesserung der Produktivität der 57 Sektoren. Im Zeitverlauf sinkt allerdings die jährliche Rate der Produktivitäts-Verbesserung von 1.5% in 2015 auf rund 0,6% in 2035. Es wurde also keine explizite oder gesonderte Verbesserung der Produktivität (z.B. durch beschleunigte Digitalisierung in Deutschland) unterstellt, sondern die abnehmende Entwicklung der Verbesserung der Arbeitsproduktivität aus der Vergangenheit fortgeschrieben.

Erwartungsgemäß spiegelt sich die Veränderung des BIP in den beiden Szenarien (Abbildung 5-15) auch in der Entwicklung der Erwerbstätigen (siehe Abbildung) wieder. Im Vergleich mit REF-Dyn sinkt die Zahl der Erwerbstätigen (als VZÄ) bis 2024 und dreht dann in beiden Szenarien ins positive, so dass die Entwicklung bis 2027 zu REF-Dyn aufschließt. Kurzzeitig in den Jahren 2027 bis 2028 liegt die Zahl der Erwerbstätigen in MM-35 leicht höher als in ES-35, da in dieser Phase der Investitionsimpuls in Infrastrukturen und die sektorale Verschiebung in MM-35 besonders stark zum Anstieg der Beschäftigung beitragen. Langfristig schneidet allerdings das ES-35 Szenario besser ab, durch die Kombination des Aufbaus der Produktion von E-Fahrzeugen und den höheren Absatz der

Pkw in Kombination mit dem gegenüber dem Referenzszenario höheren Impuls zur Investition in Verkehrsinfrastrukturen, welche zu einer besseren BIP-Entwicklung führt und somit trotz ebenfalls besserer Produktivitätsentwicklung als in MM-35 zu einem stärkeren Anwachsen der Erwerbstätigkeit, welches besonders in den Jahren 2030 bis 2034 ausgeprägt ausfällt.

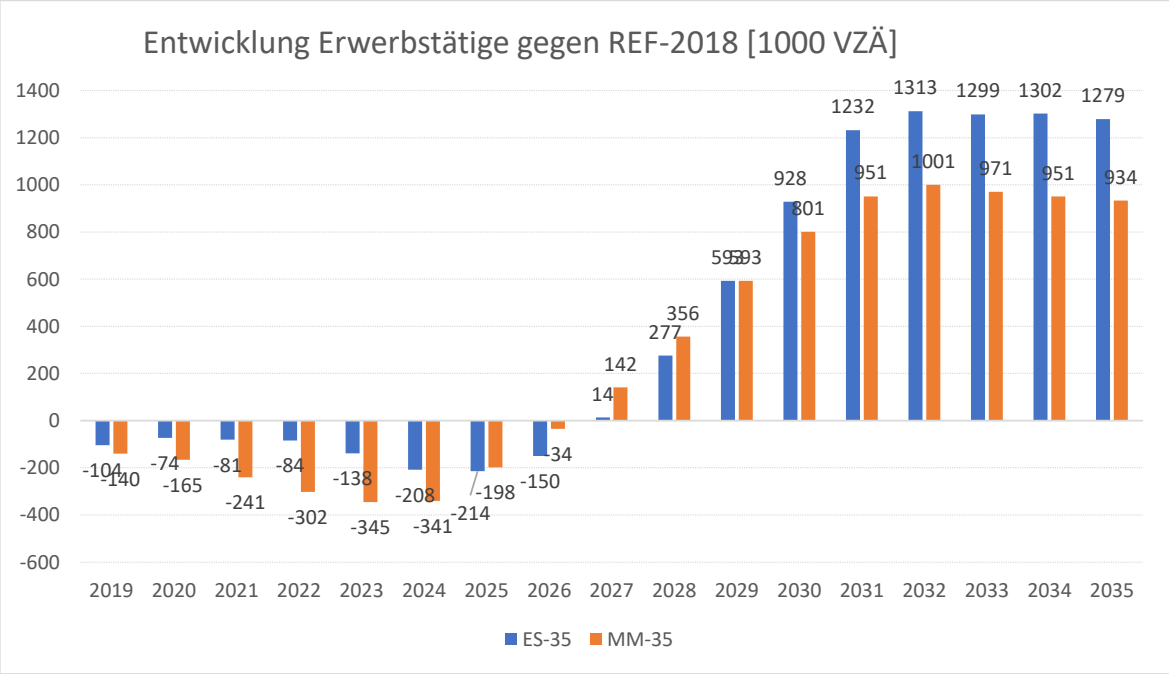
Abbildung 5-18: Veränderung der Erwerbstätigenzahl in den beiden Szenarien - gegen REF-Dyn



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

In der öffentlichen Diskussion nimmt die Veränderung der Beschäftigtenzahl gegenüber heute einen großen Raum ein. Daher ist in Abbildung 5-19 die Entwicklung der Zahl der Erwerbstätigen gegenüber dem Niveau von 2018 dargestellt. Bis 2025 ist in ES-35 ein Rückgang um 214 Tausend Erwerbstätige zu verzeichnen, in MM-35 bis 2023 ein Rückgang um 345 Tausend. Nach 2025 bzw. 2023 steigen die Zahlen der Erwerbstätigen an, so dass in 2027 in beiden Szenarien ein höheres Niveau als 2018 erreicht wird. Langfristig erreicht der Zuwachs in ES-35 rund 1.3 Millionen und in MM-35 knapp 1 Million Erwerbstätige.

Abbildung 5-19: Veränderung der Erwerbstätigenzahl in den beiden Szenarien - gegen REF-2018



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

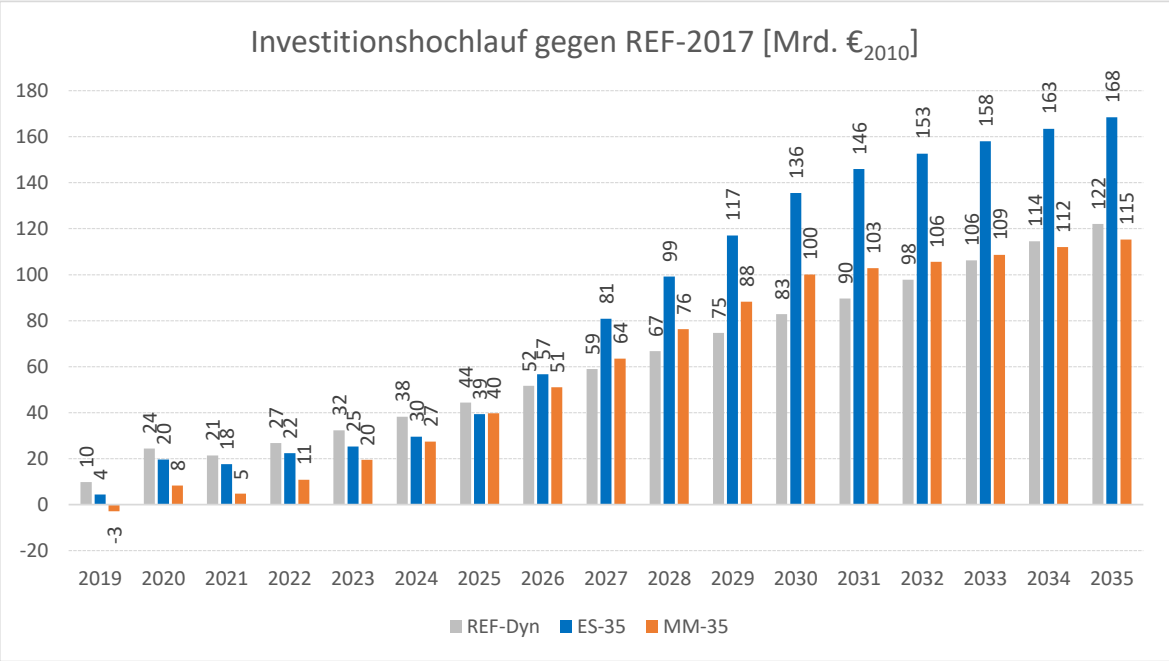
5.3 Aggregierte Investitionen in der Volkswirtschaft

Investitionen sind das zentrale ökonomische Element einer Volkswirtschaft. Investitionen schaffen Innovationen, dienen dem Aufbau moderner Infrastrukturen und Produktionsanlagen, sorgen für den Erhalt existierender Anlagen und Infrastrukturen und dienen so der zukünftigen Prosperität einer Volkswirtschaft. Investitionen üben auch einen starken Einfluss auf die zukünftige Beschäftigung aus. Der Einfluss entsteht aus der Kombination von einem beschäftigungssteigenden Element, dem Wachstums-Impuls von Investitionen und einer prosperierenden Volkswirtschaft, und einem beschäftigungs-dämpfenden Element, dem Impuls zur Steigerung der Arbeits-Produktivität. Die Nettobilanz der Beschäftigungswirkung von Investitionen lässt sich im Allgemeinen nur mit einem volkswirtschaftlichen Modell, zu denen auch ASTRA-HBS gehört, ermitteln, in dem sowohl die Wirkungsseite als auch die Finanzierungs- und Produktionsseite einer Investition abgebildet werden.

Die Abbildung von Investitionen in ASTRA-HBS sind in den Kapiteln 3.1.6 und 4.2 (Methodik) sowie 5.1 (spezifisches Investitionsprogramm) beschrieben. Abbildung 5-20 stellt im Vergleich zum Niveau aus 2017 die sich in den Szenarien ergebenden gesamten Investitionen dar, die sich zusammensetzen aus den unabhängig vom Politikprogramm sich im Modell ergebenden Investitionen zuzüglich der (teils exogenen) Investitionen zur Umsetzung des Politikprogramms. Bis 2025 liegen die gesamten Investitionen in Deutschland in den beiden Szenarien ES-35 und MM-35 niedriger als in der Referenz. Getrieben wird dies durch die sinkende Nachfrage nach Pkw, die bei gewerblichem Kauf eine Investition darstellt. Anschließend steigen in beiden Szenarien die Investitionen über das Niveau der Referenz, wobei in MM-35 die zusätzlichen Infrastrukturinvestitionen das MM-35 nur zu einem leicht höheren Niveau der gesamten Investitionen führen, während ab

2026 im ES-35 die Kombination aus Investitionsprogramm, sektoral stimulierter endogener Investition und geringerem Absinken der Pkw-Investition zu einem deutlichen höheren Verlauf der Investitionen führt.

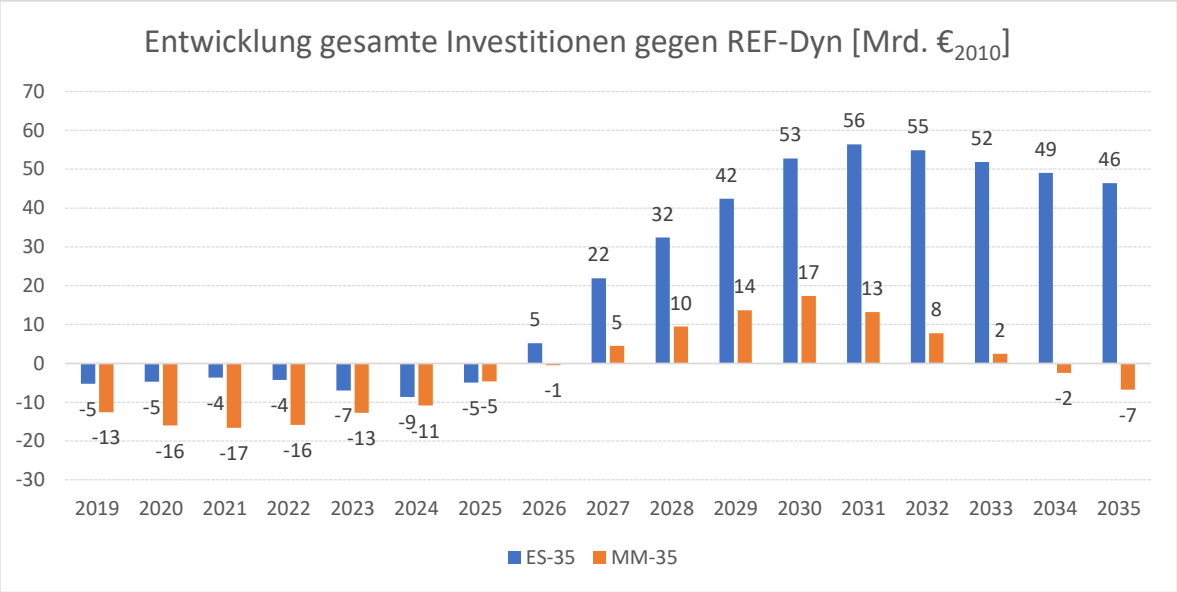
Abbildung 5-20: Hochlauf der Investitionen im Vergleich mit dem Niveau von 2017



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Der dynamische Verlauf der Investitionen im Vergleich zur Referenz in der nur die endogen modellierten Investitionen enthalten sind, ist in Abbildung 5-21 vertieft. Die Verringerung der Investition in den ersten sieben Jahren und der darauffolgende Anstieg bei ES-35 sind offensichtlich, während MM-35 langfristig ungefähr auf dem Niveau der Referenz verharrt.

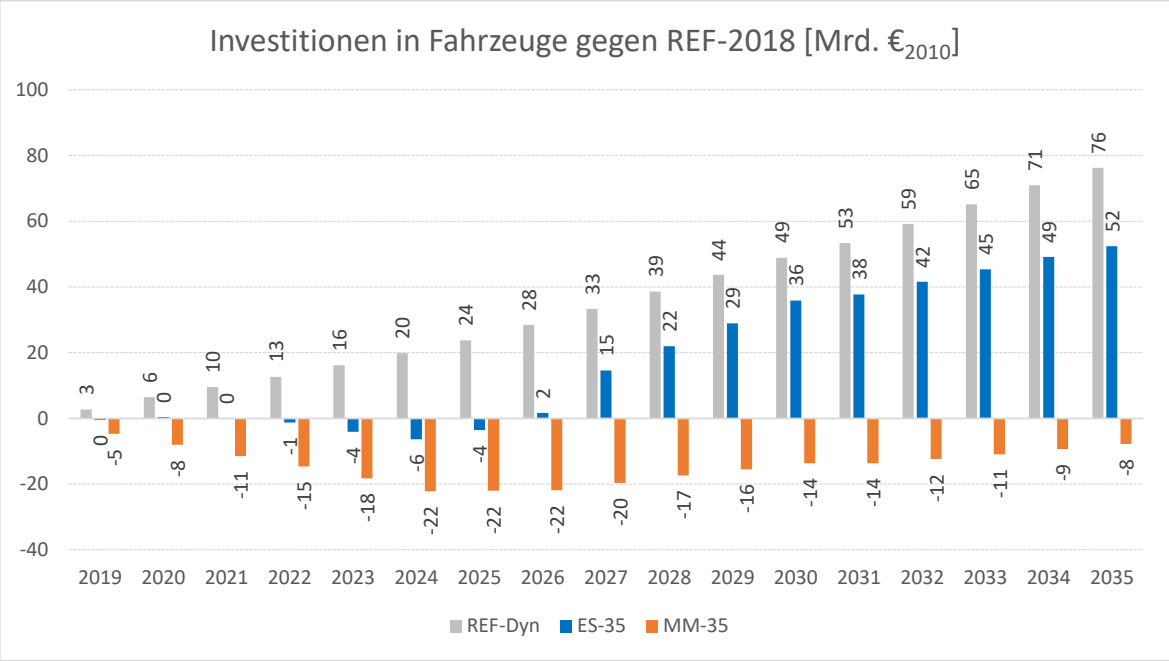
Abbildung 5-21: Veränderung der Investitionen in den beiden Szenarien - gegen Referenz



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Die Investitionen in Fahrzeuge unterliegen zwei großen Veränderungen. Zum einen wird der gewerbliche Kauf von Pkw deutlich zurückgefahren, in ES-35 um rund ein Drittel und in MM-35 um rund zwei Drittel, allerdings bei gleichzeitig steigendem Preis des einzelnen gekauften Pkw, und zum anderen erhöht sich die Zahl der gekauften Busse, Straßenbahnen und Fernzüge deutlich. In Summe ergibt sich gegenüber dem Investitionsniveau von 2018 der in Abbildung 5-22 dargestellte Verlauf der Fahrzeuginvestitionen in Deutschland. In MM-35 liegen trotz erhöhter Investition in Fahrzeuge des ÖV die Fahrzeuginvestitionen um bis zu 22 Mrd. €$_{2010}$ niedriger als 2018, und sie bleiben auch über den ganzen Zeitverlauf bis 2035 unterhalb des 2018 erreichten Niveaus. In ES-35 sinkt die Investition ebenfalls bis 2025, und steigt dann aufgrund der steigenden Fahrzeugpreise für Pkw und des Kaufs von Fahrzeugen für den ÖV wieder über das Niveau von 2018.

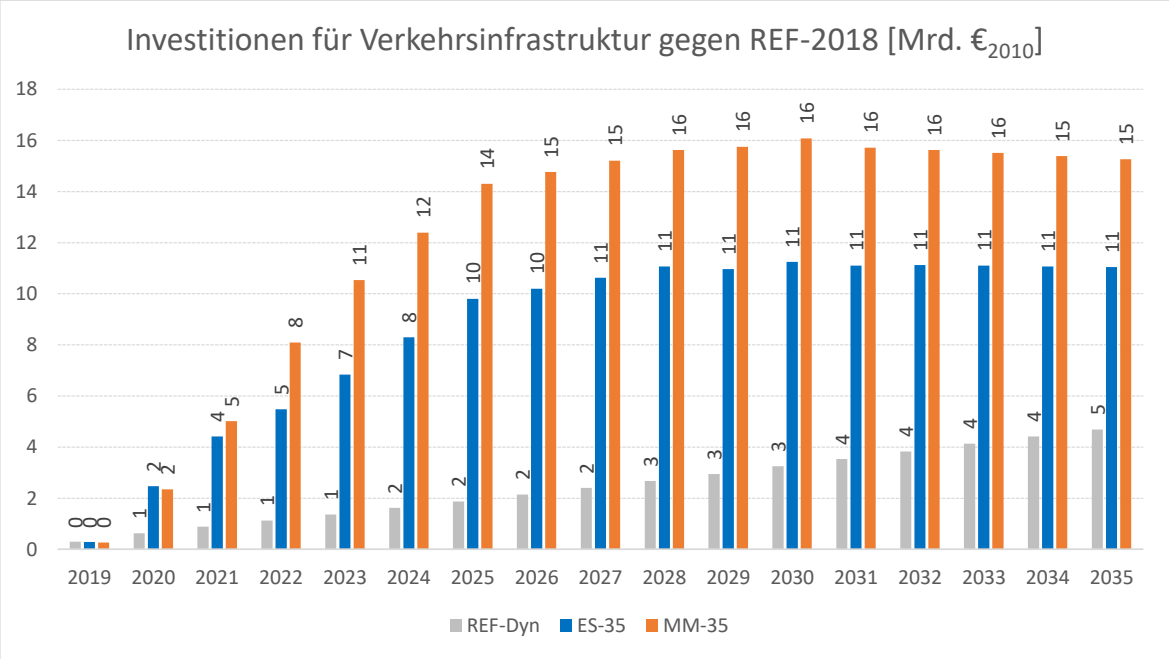
Abbildung 5-22: Veränderung der Investitionen in Fahrzeuge gegenüber dem Niveau von 2018



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Die Investitionen in Verkehrsinfrastrukturen (Schienen, Haltestellen, Mobilitäts-Hubs, Radnetze, etc.) müssen in beiden Szenarien gegenüber 2018 deutlich erhöht werden, um die Szenarien nachhaltiger Mobilität realisieren zu können. Gegenüber 2018 steigt die jährlich zusätzliche Investition in ES-35 bis 2027 auf über 11 Mrd. €$_{2010}$ an. In MM-35 liegt der Anstieg nochmals um 5 Mrd. €$_{2010}$ höher und erreicht in 2028 sogar 16 Mrd. €$_{2010}$. Außerdem erfolgt der erforderliche Aufwuchs zur Verbesserung der ÖV- und Rad-Infrastruktur ab 2022 dynamischer als in ES-35.

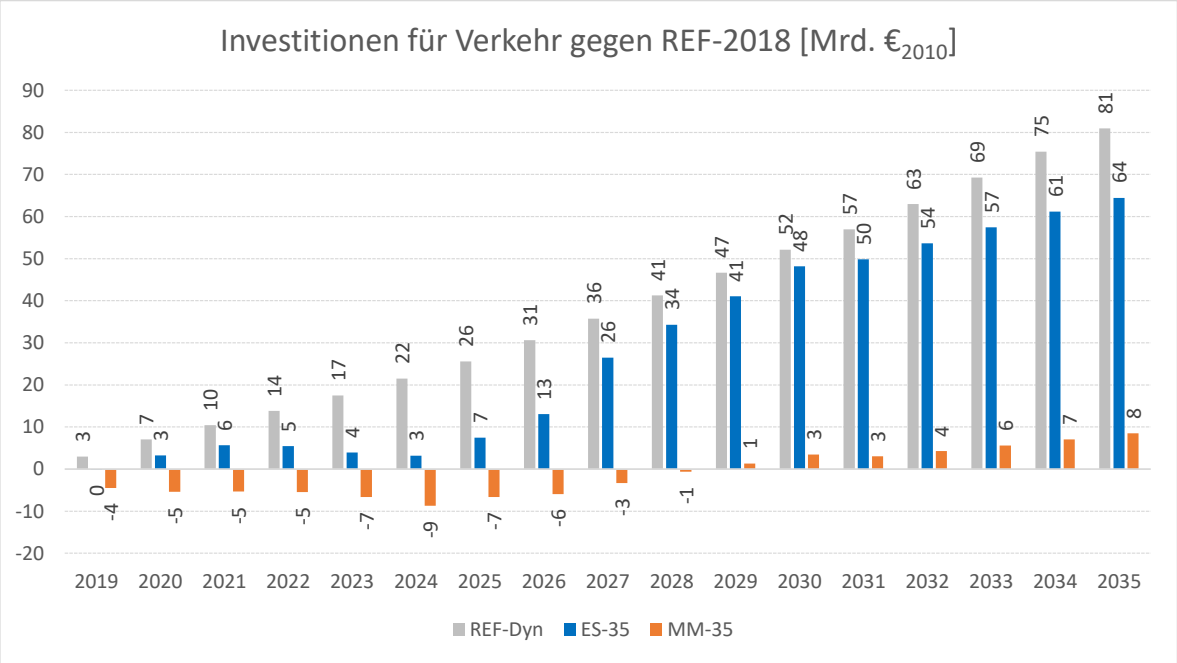
Abbildung 5-23: Veränderung der Investitionen für Verkehrsinfrastruktur gegenüber dem Niveau von 2018



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Damit ergibt sich für die gesamten Investitionen in Verkehr für das MM-35 eine ungefähr stabile Entwicklung. Das bedeutet, dass die Abnahme im Bereich der Pkw grob kompensiert wird durch die Zunahme der Investitionen in Infrastruktur und in ÖV-Fahrzeuge. In ES-35 addieren sich die Infrastruktur- und die Fahrzeug-Investitionen (teurere Pkw plus ÖV) und führen zu einem deutlich über das Niveau von 2018 hinausgehenden Verlauf.

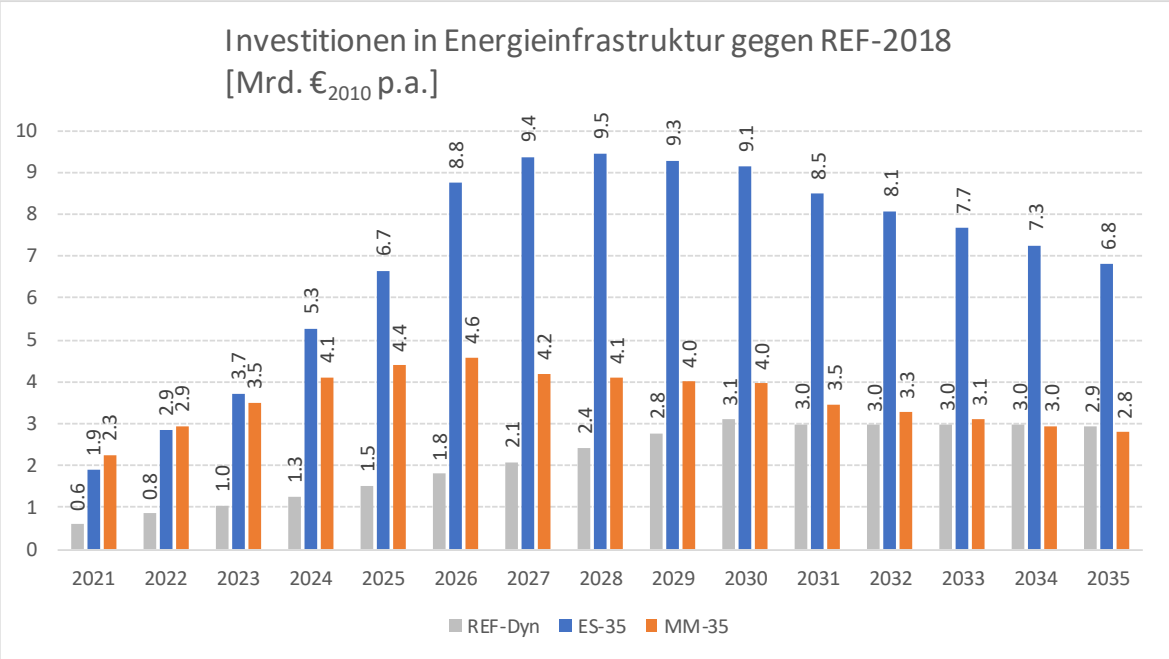
Abbildung 5-24: Veränderung der Investitionen für Verkehr gegenüber dem Niveau von 2018



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Hinzu kommen die zusätzlichen Investitionen in den Aufbau der Energieinfrastruktur zur Versorgung des Verkehrs. Dazu gehören der Aufbau der Ladeinfrastruktur, der lokale Ausbau der Verteil- und Mittelspannungsnetze sowie die zusätzliche Erzeugung von EE-Strom. Abbildung 5-25 stellt diese Investitionen im Vergleich mit dem Niveau aus 2018 dar. Da in ES-35 sowohl deutlich mehr Ladeinfrastruktur aufgrund der höheren Zahl an E-Pkw als auch ein stärkerer Zubau der Netze und EE-Erzeugung aufgrund der höheren Stromnachfrage benötigt wird, liegt dieses Szenario signifikant über dem MM-35.

Abbildung 5-25: Veränderung der Investitionen in Energieinfrastruktur für Verkehr gegenüber dem Niveau von 2018

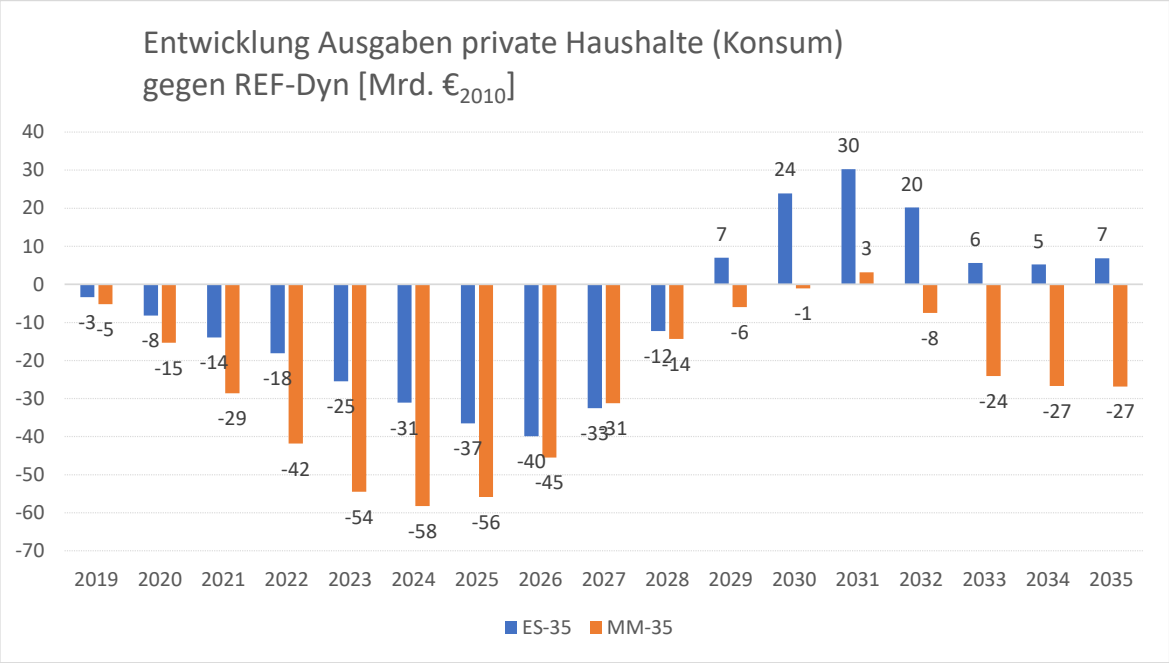


Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

5.4 Konsumausgaben für die Mobilität

Die zweite wichtige Größe für die ökonomische Entwicklung ist der Konsum, d.h. die Ausgaben der privaten Haushalte. Diese verteilen sich auf die 57 Sektoren in ASTRA-HBS und umfassen damit typische Konsumsektoren (wie Nahrung, Textilien und Gaststätten), aber auch die Beschaffung von elektrischen Geräten, Fahrrädern oder Pkw. Auch die Konsumausgaben lassen sich trennen in Ausgaben mit Verkehrsbezug und andere Ausgaben der privaten Haushalte. Dabei sind die Ausgaben ohne steuerliche Bestandteile dargestellt (d.h. Netto ohne MwSt. und ohne Energiesteuern), da diese keine Endnachfrage auf sektoraler Ebene (d.h. im Endnachfragequadranten der Input-Output-Tabelle) darstellen, sondern auf der Einnahmeseite des Staates zu verbuchen sind. In Abbildung 5-26 ist die Entwicklung des gesamten Konsums über alle Sektoren im Vergleich zur Referenz aufgezeigt. Der Kurvenverlauf ist grob vergleichbar dem Verlauf des BIP (siehe Abbildung 5-15) mit einer ersten Phase eines verringerten Konsums die hier bis 2028 andauert, und anschließend bei ES-35 einer positiveren Entwicklung als in der Referenz.

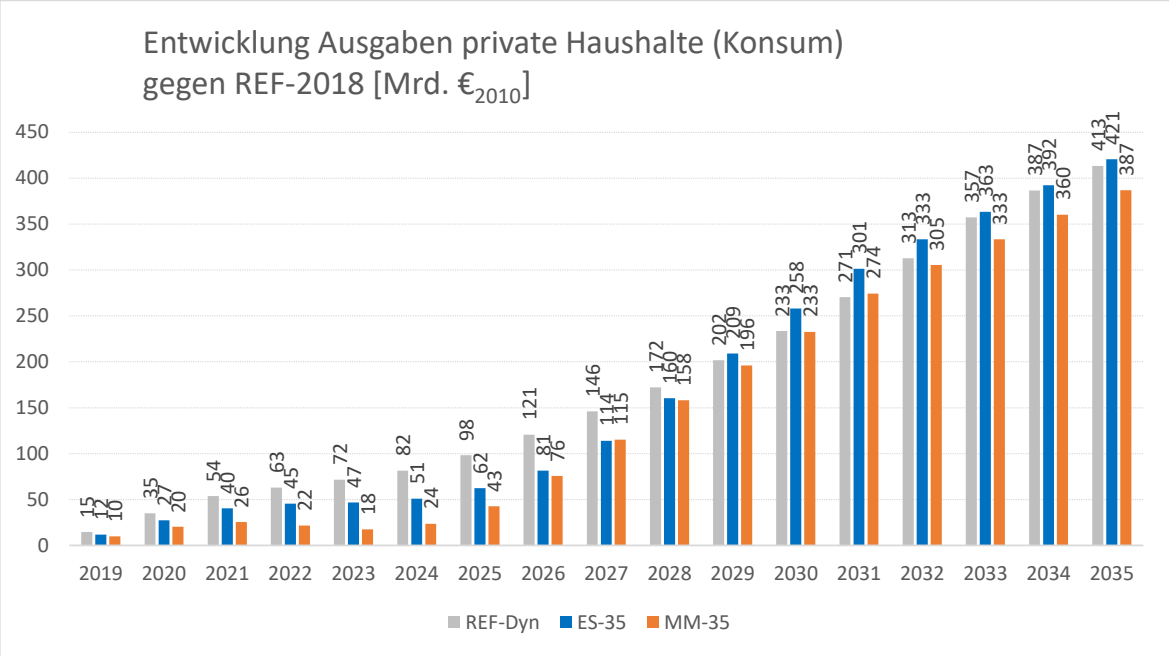
Abbildung 5-26: Veränderung des Konsums der privaten Haushalten gegenüber der Referenz



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Auch beim Konsum soll zunächst der gesamte Konsum in seiner Entwicklung gegenüber dem Niveau von 2018 dargestellt werden (siehe Abbildung 5-27). In allen drei Szenarien wächst der Konsum deutlich gegenüber dem Wert von 2018 mit einer Rate von 1.3% und damit leicht über dem BIP. Unter anderem ist das gegenüber dem BIP schnellere Wachstum ein Effekt der steuerlichen Entlastung im Verkehrsbereich in dem eine Verschiebung von Gütern mit einer MwSt.-Belastung von 19% (z.B. Pkw, fossile Kraftstoffe) zu Gütern und Dienstleistungen mit MwSt.-Belastung von 7% (ÖV-Leistungen) erfolgt. Außerdem sinkt die Energiesteuerbelastung der Haushalte durch effizientere Fahrzeuge und die zunehmende Nutzung elektrifizierter Pkw.

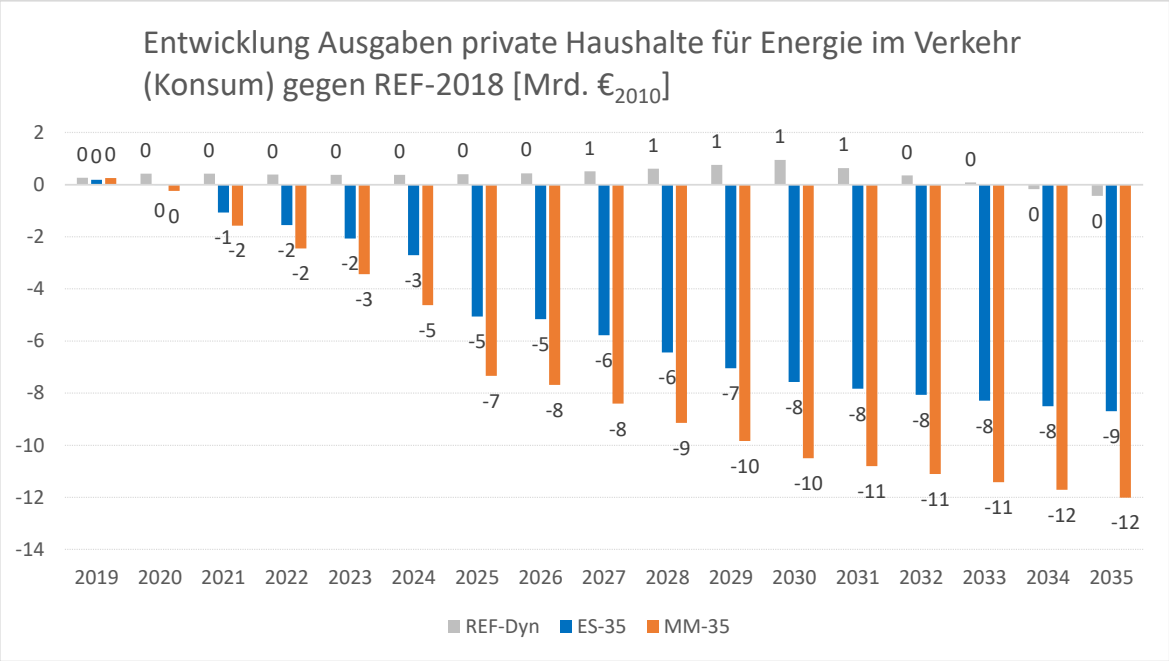
Abbildung 5-27: Veränderung der gesamten Konsumausgaben gegenüber dem Niveau von 2018



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Dies wird noch deutlicher wenn nur die Konsumausgaben der privaten Haushalte für Energie im Verkehr betrachtet werden (siehe Abbildung 5-28). Gegenüber dem Niveau von 2018 sinken die jährlichen Energieausgaben (netto, d.h. ohne Steuern) um bis zu 9 Mrd. $€_{2010}$ bis 2035 in ES-35, und um bis zu 12 Mrd. $€_{2010}$. Kumuliert von 2019 bis 2035 ergeben sich verringerte Energieausgaben von 85 bzw. 122 Mrd. $€_{2010}$ für die privaten Haushalte in ES-35 bzw. MM-35.

Abbildung 5-28: Veränderung der Konsumausgaben für Energie im Verkehr gegenüber dem Niveau von 2018

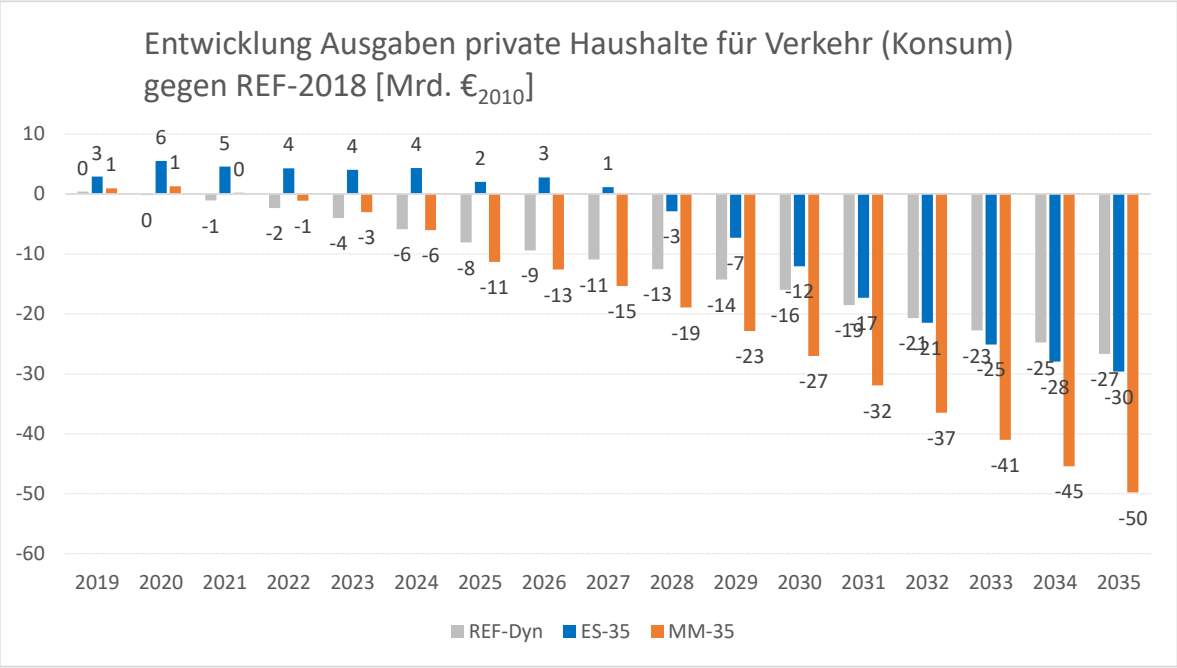


Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Auch die gesamten Konsumausgaben für Verkehr gehen von 2019 bis 2035 zurück (siehe Abbildung 5-29). Hierin enthalten sind Ausgaben für neue Pkw, Wartung, Versicherung, Kraftstoffe, Strom und Verkehrsdienstleistungen (jeweils netto ohne Steuern). Beispielsweise sinken die jährlichen Ausgaben für die Pkw-Versicherung der Haushalte durch die Verkleinerung der Flotte um bis zu 10 Mrd. $€_{2010}$ in ES-35 und um bis zu 16 Mrd. $€_{2010}$ in MM-35. Der Rückgang der Wartungsausgaben der Haushalte liegt sogar noch etwas darüber, da sich hier zusätzlich noch die Elektrifizierung der Pkw auswirkt, da insbesondere batteriebetriebene Pkw gegenüber Pkw mit Verbrennungsmotoren deutlich niedrigere Wartungsaufwendungen erfordern (z.B. kein Ölwechsel, keine Zündkerzen, keine Abgas-Katalysatoren, etc.).

Bereits in der Referenz geht die Neigung privat Neuwagen anzuschaffen zurück und ein wachsender Anteil wird gewerblich beschafft (damit setzt sich ein Trend aus den letzten Jahren fort). In ES-35 ist diese Entwicklung in den ersten Jahren leicht gedämpft. Hinzu kommt, dass die verstärkt gekauften E-Fahrzeuge zu dieser Zeit deutlich teurer als Verbrenner sind. Daher liegt der Verkehrs-Konsum in ES-35 bis 2026 leicht über dem Niveau von 2018.

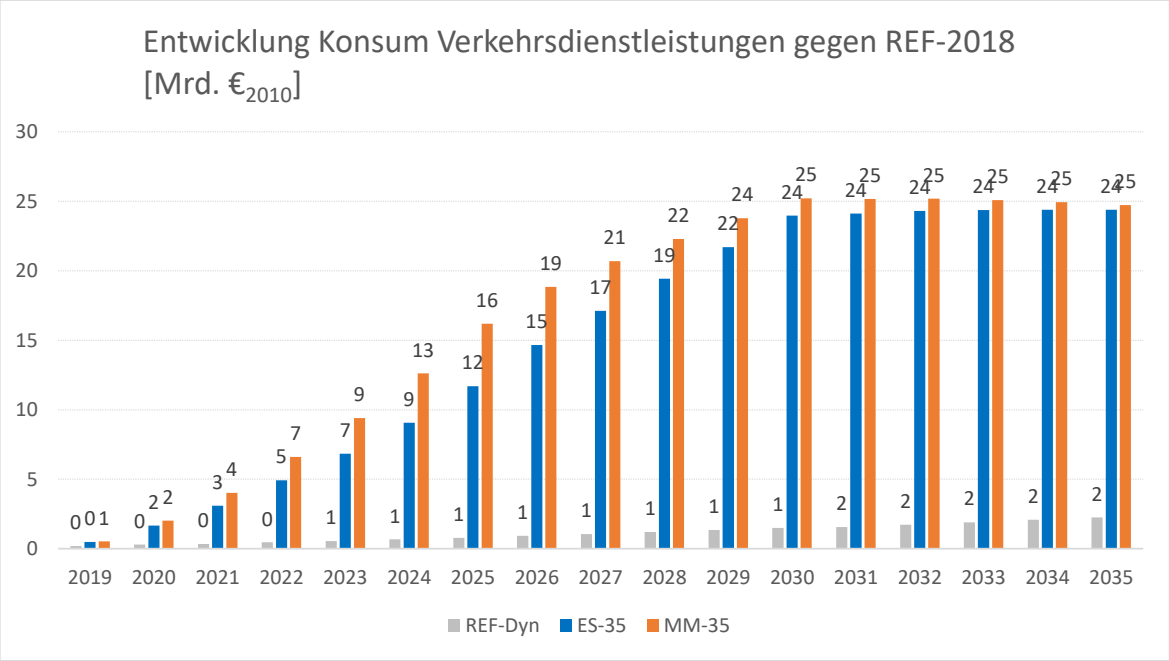
Abbildung 5-29: Veränderung der Konsumausgaben für Verkehr gegenüber dem Niveau von 2018



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Während alle Pkw-bezogenen Konsumausgaben sinken, steigen die Ausgaben für Verkehrsdienstleistungen kontinuierlich an und erreichen in beiden Szenarien ein gegenüber dem Niveau von 2018 um 24 bis 25 Mrd. $€_{2010}$ höher liegendes Ausgabeniveau.

Abbildung 5-30: Veränderung der Konsumausgaben für Verkehrsdienstleistungen gegenüber dem Niveau von 2018

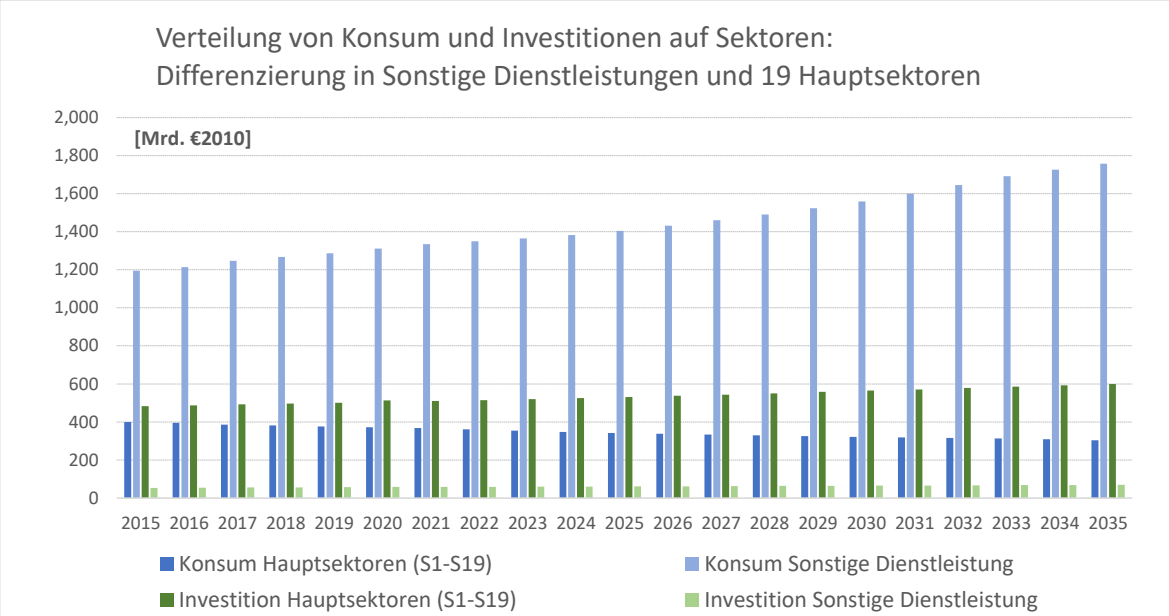


Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

5.5 Sektorale Endnachfrage und Pkw-Komponenten

Die sektorale Betrachtung konzentriert sich auf eine Auswahl von Sektoren, für die erwartet wird, dass diese in der sektoralen Analyse der Beschäftigung von größerer Bedeutung als die übrigen Sektoren sein werden. Dazu werden die 57 in ASTRA-HBS differenzierten Sektoren (siehe Tabelle 13) in 19 Sektoren aggregiert, die im Folgenden für die sektorale und modale Darstellung genutzt und als „Hauptsektoren“ bezeichnet werden, sowie einen Sektor „Sonstige Dienstleistungen“, der die übrigen Sektoren aggregiert (siehe Tabelle 14). Abbildung 5-31 illustriert die Entwicklung der beiden Sektorgruppen in REF-Dyn bis 2035. Für den Konsum (blaue Balken) spielt der Sektor „Sonstige Dienstleistungen“ mit ca. drei Vierteln der Nachfrage die größere Rolle. Für die Investitionen vereinigen die 19 Hauptsektoren fast 90% der gesamten Endnachfrage. Das zeigt die stärkere Orientierung der Auswahl der Hauptsektoren an der Bereitstellung von Investitionen.

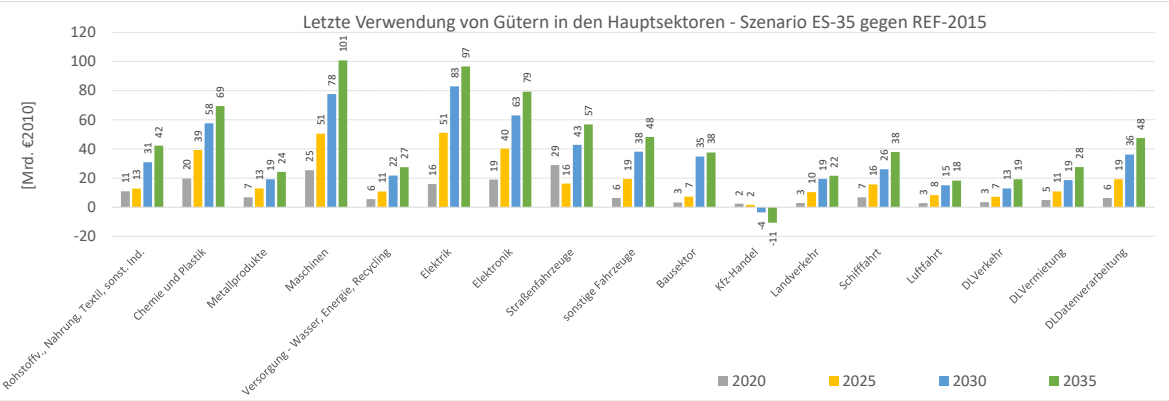
Abbildung 5-31: Verteilung der Konsum- und Investitionsnachfrage auf Sektor „Sonstige Dienstleistungen“ und Hauptsektoren – REF-Dyn



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Die *letzte Verwendung* von Gütern und Dienstleistung beschreibt die sektorale Endnachfrage in der Input-Output-Tabelle. Die letzte Verwendung setzt sich zusammen aus dem Konsum, den Investitionen, dem Staatskonsum und den Exporten. Die letzte Verwendung beschreibt einen Großteil der für die sektorale Beschäftigung relevanten Endnachfrage lässt aber die intermediäre Verwendung der Produktion eines Sektors und die Importe außer acht. Die Entwicklung der letzten Verwendung ist für die Hauptsektoren in Abbildung 5-32 für das ES-35 Szenario von 2020 bis 2035 gegenüber dem Referenzwert in 2015 (REF-2015) dargestellt. Große absolute Zuwächse der Endnachfrage entstehen in den Sektoren Maschinen (+53%), Elektrik (+143%) und Elektronik (+119%). Große relative Zuwächse weisen auch die Sektoren Landverkehr (+150%), DL-Datenverarbeitung (+121%) und sonstige Fahrzeuge (+110%) auf. Unterproportional entwickeln sich die Straßenfahrzeuge (+18%) und der Bausektor (+12%), während der Kfz-Handel sogar zurückgeht (-20%).

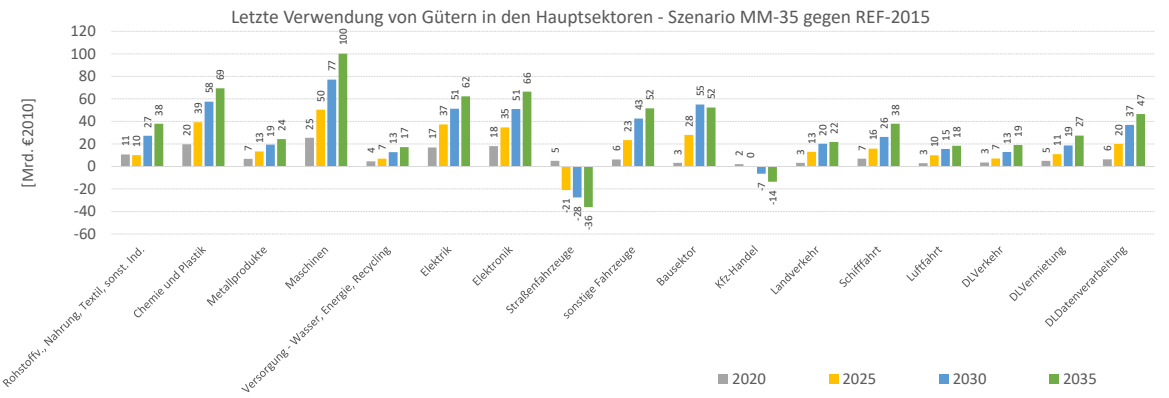
Abbildung 5-32: Veränderung der letzten Verwendung von Gütern in den Hauptsektoren – ES-35 gegen REF-2015



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Für das MM-35 Szenario ist die Entwicklung der letzten Verwendung gegenüber REF-2015 in Abbildung 5-33 dargestellt. Für einige Sektoren verändert sich die Letzte Verwendung gegenüber dem ES-35 kaum, z.B. für Maschinen oder Chemie und Plastik. Für mehrere Sektoren ist die Entwicklung deutlich verhaltener als in ES-35, insbesondere wenn diese durch den geringeren Pkw-Absatz oder die verringerte Pkw-Flotte beeinflusst sind. Dies gilt insbesondere für Straßenfahrzeuge (jetzt -12%), Elektrik (nur noch +92%) und Elektronik (nur noch +99%). Der Bausektor liegt über fast die gesamte Periode von 2020 bis 2035 um rund 20 Mrd. €2010 höher in MM-35 als in ES-35, wobei die prozentuale Erhöhung nur moderat ausfällt.

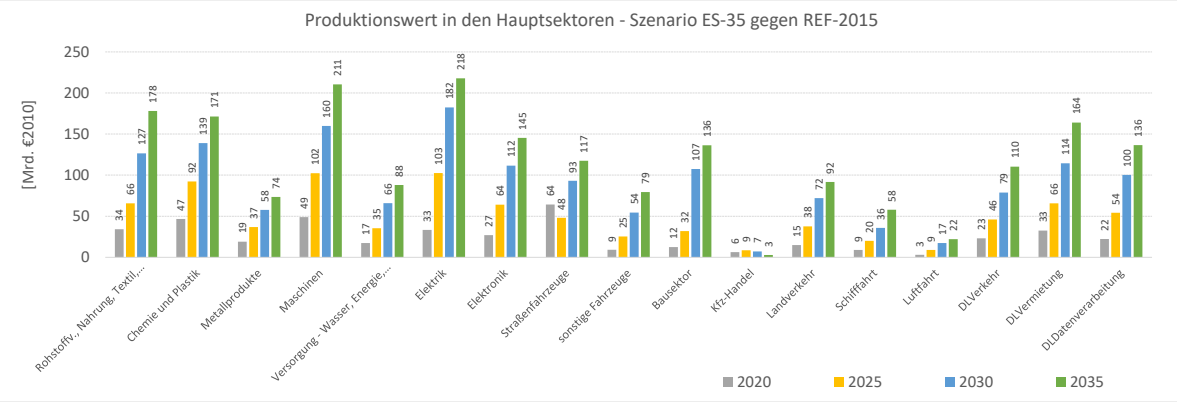
Abbildung 5-33: Veränderung der letzten Verwendung von Gütern in den Hauptsektoren – MM-35 gegen REF-2015



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Der Produktionswert ergibt sich aus der Addition der letzten Verwendung (wie oben dargestellt) und der Produktion von Vorleistungen an Gütern und Dienstleistungen eines Sektors, die in der Input-Output-Tabelle ermittelt werden. Die Entwicklung der Produktionswerte der Hauptsektoren ist in Abbildung 5-34 für ES-35 gegenüber REF-2015 dargestellt. Sektoren mit großen Anteilen der Produktion von Vorleistungen weisen hier nochmals deutlich höhere Werte auf als bei der letzten Verwendung. Dazu gehören z.B. Maschinen, Elektronik sowie Chemie und Plastik.

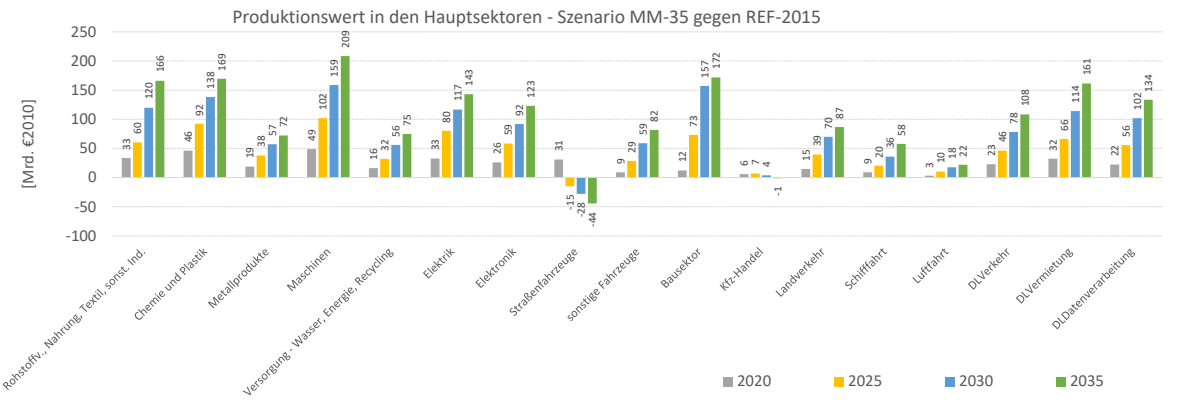
Abbildung 5-34: Veränderung des Produktionswertes in den Hauptsektoren – ES-35 gegen REF-2015



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Abbildung 5-35 zeigt die Entwicklung der Produktionswerte der Hauptsektoren im MM-35 gegenüber REF-2015. Auch hier wird eine Reduktion des Produktionswertes im Sektor Straßenfahrzeuge sichtbar, sowie ein schwächeres Wachstum der in MM-35 stark vom Kraftfahrzeugbau beeinflussten Sektoren Elektrik und Elektronik. Der Bausektor legt auch beim Produktionswert in MM-35 im Vergleich mit ES-35 nochmals deutlich zu.

Abbildung 5-35: Veränderung des Produktionswertes in den Hauptsektoren – MM-35 gegen REF-2015



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Das Wachstum des BIP bedeutet für die nicht besonders von der Nachfrage aus dem Verkehrssystem beeinflussten Sektoren eine ebenfalls kontinuierliche moderat positiv Entwicklung. Vom Verkehr direkt getriggerte abhängige Sektoren können dagegen eine spezifische Entwicklung aufweisen, die gegenüber dem allgemeinen Trend des BIP sowohl beschleunigt sein kann (z.B. *sonstige Fahrzeuge*) oder aber deutlich verlangsamt bzw. sogar gegenläufig zum Wachstum des BIP sein kann (z.B. *Straßenfahrzeuge*, *Kfz-Handel*).

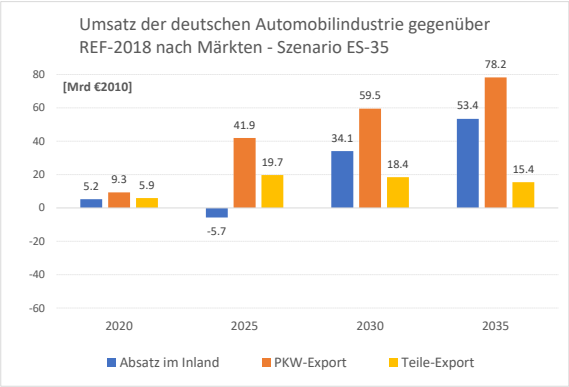
In Kapitel 3.3 ist die Aufteilung der Pkw in 10 verschiedene Fahrzeug-Komponenten beschrieben und die Entwicklung der Herstellkosten und -preise der einzelnen Komponenten erläutert worden. Aus der Multiplikation mit den Absatzzahlen und den Herstellpreisen der einzelnen Komponenten lässt sich der Umsatz in Deutschland nach Sektoren berechnen. Dabei wird die Nachfrage von 8 Komponenten dem Sektor *Straßenfahrzeuge* zugeordnet:

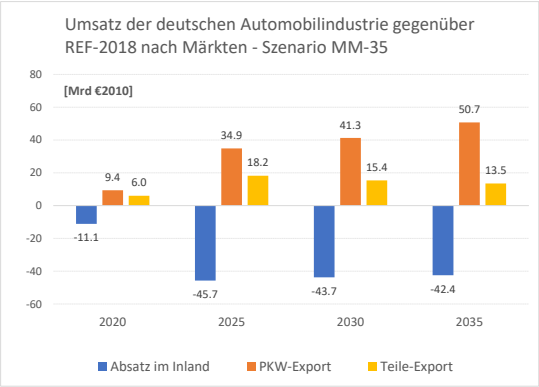
- Fahrwerk (FWK)
- Antriebsstrang (AST)
- Verbrennungsmotor & Aggregate (ICE)
- Karosserie (KAR)
- Exterieur (EXT)
- Interieur (INT)
- Elektronik ohne Fahrerassistenzsysteme (ELE)
- Integration der Komponenten in das Gesamtfahrzeug / Fahrzeugmontage (GFZ).

Die Nachfrage der Komponente *elektrische Antriebe & Aggregate* (EMO), die auch die Batterien beinhaltet, wird dem Sektor *Elektrik* zugeordnet, und die Nachfrage der Komponente *Fahrerassistenzsysteme* (FAS) dem Sektor *Elektronik*. Somit wurde bei der sektoralen Zuordnung der Komponenten auf eine Aufsplittung einer Komponente auf mehrere Sektoren verzichtet. Begründet wird dies damit, dass die entsprechende Aufsplittung für die 8 Komponenten hinreichend genau über die Vorleistungsmatrix der Input-Output-Tabelle erfolgt, während sich die EMO- und FAS-Komponenten in ihrer Struktur so stark unterscheiden, dass diese anderen Sektoren als den *Straßenfahrzeugen* zugeordnet werden, die wiederum eine hinreichende Aufsplittung der Vorleistungen dieser Komponenten aufweisen.

Die Produktions- und globale Absatzstruktur der deutschen Automobilindustrie wurde im Arbeitspapier 3 dieses Vorhabens detailliert beschrieben (Wagner et al. 2019). In 2016 wurden nur noch 36% der von deutschen Herstellern produzierten Pkw auch tatsächlich in Deutschland produziert und dann entweder im Inland verkauft (ca. 23%) oder exportiert (ca. 77%). Folglich sind drei Märkte für die Wertschöpfung und Beschäftigung der deutschen Automobilindustrie zu berücksichtigen: (1) der nationale Absatzmarkt, (2) der Pkw-Exportmarkt der aus Deutschland bedient wird, und (3) der Export von in Deutschland gefertigten Komponenten. Die Entwicklung der drei Märkte wurde ebenfalls in Arbeitspapier 3 (Wagner et al. 2019) beschrieben. Für die Umsatzzahlen der drei Märkte im Zeitverlauf und gegenüber dem Niveau von 2018 ergibt sich für das ES-35 aufgrund steigender Fahrzeugpreise und Segmentverschiebungen zu höherwertigen Segmenten trotz teils sinkender abgesetzter Stückzahlen ein Wachstum gegen 2018 (siehe Abbildung 5-36). In MM-35 sind die kompensierenden Faktoren zu schwach, um den Rückgang der Absatzzahlen aufzufangen, so dass insbesondere für den Umsatz im Inland ein deutlicher Rückgang verzeichnet wird. Ein weiterer Faktor mit kompensierender Wirkung für den Umsatz des Sektors Straßenfahrzeuge ist der Anstieg der Absatzzahlen von Bussen in den Szenarien nachhaltiger Mobilität. Allerdings bleibt der Busmarkt im Vergleich zum Pkw-Markt von untergeordneter Bedeutung.

Abbildung 5-36: Veränderung der Umsätze der deutschen Automobilindustrie gegenüber 2018 nach Märkten

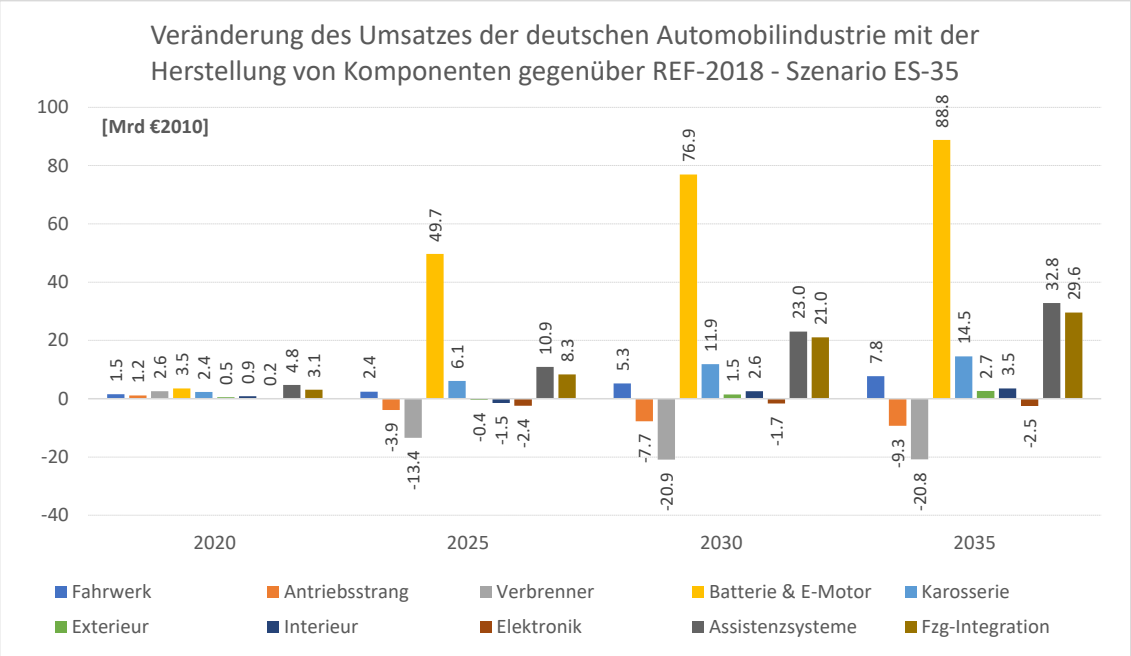




Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Bezogen auf die 10 Komponenten verteilen sich die Umsatzänderungen gegenüber 2018 in ES-35 wie in Abbildung 5-37 dargestellt. Im Bereich der Komponenten Verbrenner und Antriebsstrang wird der Rückgang gegenüber 2018 in 2024 zweistellig und beträgt in 2030 knapp 33 Mrd. $€_{2010}$. Aufgrund der Anforderungen des Leichtbaus wächst der Umsatz im Bereich der Karosserie leicht, genauso wie aufgrund der steigenden Komplexität der Elektrik und Elektronik die Fahrzeugintegration zulegt. Deutliches Wachstum verzeichnen die Komponenten FAS (Fahrerassistenzsysteme) wegen der deutlich steigenden Zahl an eingesetzten Systemen, die zumindest für einen substanziellen Teil der neuen Pkw autonomes Fahren in den Szenarien ermöglichen müssen, und EMO (elektrische Antriebe & Aggregate) zu denen insbesondere die Batterien der E-Pkw gehören.

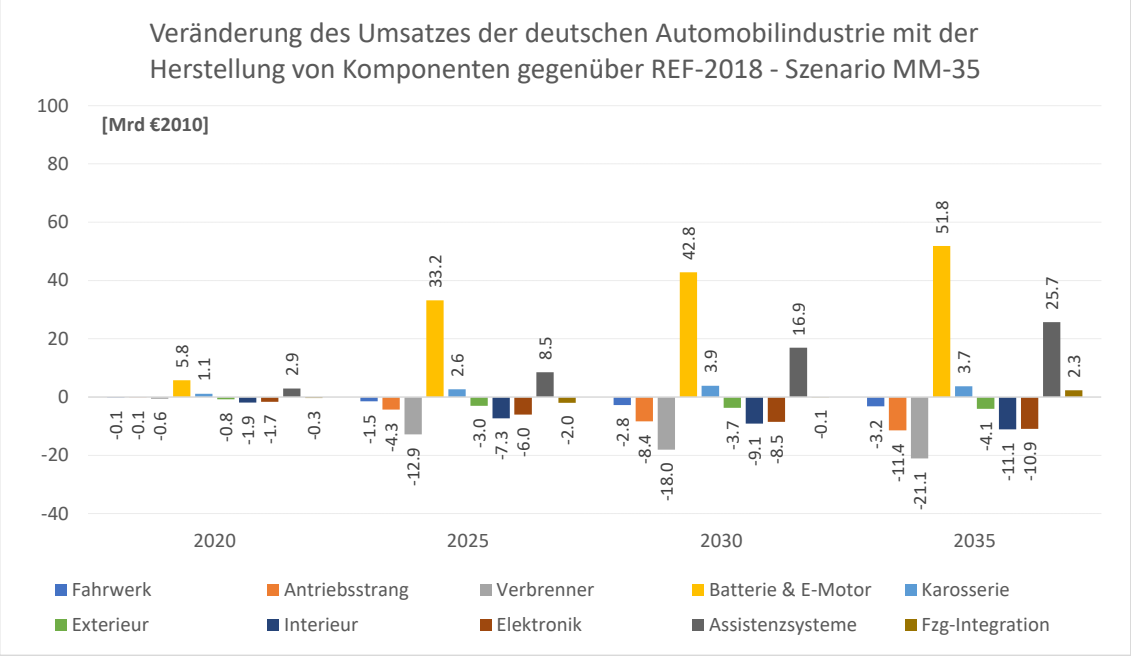
Abbildung 5-37: Veränderung der Umsätze der deutschen Automobilindustrie nach Fahrzeugkomponenten in ES-35 gegen REF-2018



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

In MM-35 steigen zwar die Anforderungen an die Ausstattung mit Fahrerassistenzsystemen durch die Zunahme der Sharing-Systeme für (autonome) Pkw nochmals, aber die Absatzzahlen im Inland und die Exporte ins Ausland gehen doch gegenüber ES-35 so deutlich zurück, dass in MM-35 die Umsatzzahlen in 2025 um knapp 50 Mrd. €$_{2010}$ und 2035 um knapp 130 Mrd. €$_{2010}$ niedriger liegen. Gegenüber 2018 liegt der Umsatz in MM-35 immer noch 22 Mrd. €$_{2010}$ höher.

Abbildung 5-38: Veränderung der Umsätze der deutschen Automobilindustrie nach Fahrzeugkomponenten in MM-35 gegen REF-2018



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Die veränderte Struktur der Antriebsarten bei den Neuzulassungen schlägt sich deutlich in der zukünftigen Entwicklung der Umsätze der deutschen Automobilindustrie nach Komponente nieder. Deutlichen Rückgängen bei Antriebsstrang und Verbrenner in beiden Szenarien stehen deutliche Gewinne bei EMO- und FAS-Komponenten gegenüber. Bei beiden Komponenten zeichnet sich ab, dass besonders pessimistische Annahmen bzgl. des Imports der Komponenten nicht angebracht sind, sondern dass die deutsche Industrie – ggf. auch unterstützt durch Hersteller aus anderen Ländern - in der Lage ist, die Produktion dieser Komponenten hier aufzubauen. Für den Bereich EMO lassen sich dazu die (bereits in AP3 von uns dokumentierten) Ansiedlungen der Batterieproduktion inklusive Zellfertigung in Erfurt und Salzgitter anführen.[28] Im Bereich der Fahrerassistenzsysteme liegen erfolgreiche Cluster in München und Stuttgart und auch die Halbleiterproduktion durch Bosch in Dresden und Reutlingen zeigt das Potenzial in Deutschland neben der Software auch die Hardware zu entwickeln und zu produzieren.

28 Neu hinzugekommen ist die von Tesla angekündigte Fertigung in Grünheide. Daneben sind Batterieproduktionen von Daimler in Kamenz und von BMZ in Karlstein zu nennen.

5.6 Sektorale Entwicklung der Beschäftigung

In den vorhergehenden Kapiteln wurde die gesamtwirtschaftliche Beschäftigung diskutiert und in Form der Erwerbstätigen (d.h. angestellte Beschäftigte, Selbständige, Freie Berufe, Handwerk., Landwirtschaft, mithelfende Familienangehörige, Soldaten und vorübergehend nicht arbeitende Personen (z.B. in Elternzeit)[29]) dargestellt (siehe z.B. Abbildung 5-18). Dabei wurde die Anzahl der **Erwerbstätigen als Vollzeitäquivalente** angegeben, d.h. Teilzeitbeschäftigte wurden in die äquivalente Zahl Vollzeitbeschäftigter umgerechnet. Daneben wird die Beschäftigung als **Erwerbstätige** angegeben **ohne die Differenzierung in Teilzeit- und Vollzeitbeschäftigte** und die Ableitung von Vollzeitäquivalenten, sowie der Begriff der **Beschäftigung** genutzt, der sich **aus den verschiedenen statistischen Grundlagen** ableitet.[30] Eine Verallgemeinerung der Unterscheidung von Beschäftigten und Erwerbstätigen ist hier nicht möglich. Im Allgemeinen umfassen die Angaben zu **Beschäftigten** im Gegensatz zu Erwerbstätigen **nicht** die Selbständigen und freien Berufe, sowie länger abwesende Personen (z.B. bei Elternzeiten mit über 1-jähriger Dauer), sowie teils auch nicht die Leiharbeitnehmer. Damit benutzen wir in unseren eigenen Erhebungen in der Unternehmensdatenbank (Wagner et al. 2019) ebenfalls den Begriff der Beschäftigten, der auf den Angaben der Unternehmen beruht und damit die Arbeiter und Angestellten in Voll- und Teilzeit eines Unternehmens bezeichnet.

Zunächst soll in diesem Kapitel zu den sektoralen Beschäftigungswirkungen ein Überblick über die Zahl der Erwerbstätigen (als VZÄ) für die Hauptsektoren und die Stichjahre 2020, 2025, 2030 und 2035 gegeben werden (siehe Abbildung 5-39). Ungefähr ein Drittel der Erwerbstätigen entfällt auf die Hauptsektoren, die aufgrund ihres Verkehrsbezugs sei es durch Herstellung von Gütern oder durch Dienstleistungen ausgewählt wurden. Die von der Zahl der Erwerbstätigen größten Sektoren liegen alle in den sonstigen Dienstleistungen mit den drei größte Sektoren Immobilien, Einzelhandel und Gesundheit&Soziales. Unter den Hauptsektoren umfasst der Bausektor die größte Zahl an Erwerbstätigen (VZÄ) mit knapp 3 Millionen. Er liegt damit auf Rang 5 der in der Modellierung differenzierten 57 Sektoren. Der Landverkehr liegt mit knapp der Hälfte der Größe des Bausektors und knapp 1,5 Millionen Erwerbstätigen (VZÄ) auf Rang 9 der 57 Sektoren gefolgt vom drittgrößten der Hauptsektoren dem Kfz-Handel mit knapp einer Million Erwerbstätigen (VZÄ). Durch die Zusammenfassung mehrerer der 57 Sektoren zum Hauptsektor *Rohstoffv., Nahrung, Textil, sonst. Industrien* liegt die Zahl der Erwerbstätigen (VZÄ) mit 1,4 Millionen höher als im Kfz-Handel. Als Einzelsektor ist letzterer aber von größerer Bedeutung als die Einzelsektoren des Aggregats *Rohstoffv., Nahrung, Textil, sonst. Industrien*.

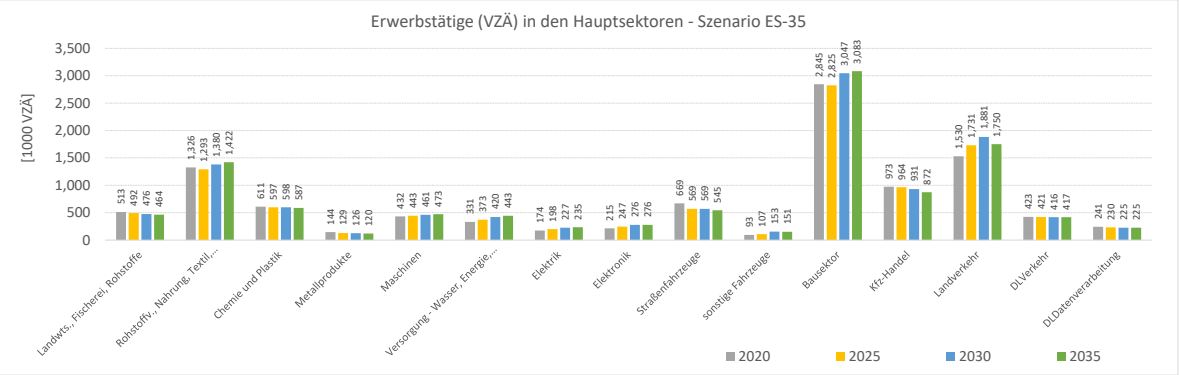
29 Definition nach der Internationalen Arbeitsorganisation (ILO).

30 Das Statistische Bundesamt gibt zu den Statistiken der Beschäftigten eine umfangreiche Information unter dem CODE ERW012. Darin wird für 18 Statistiken erläutert, wie der Beschäftigungsbegriff in der jeweiligen Statistik zu verstehen ist.

Die Darstellung der Erwerbstätigen (VZÄ) (Abbildung 5-39) gibt erste Hinweise über den Verlauf von Änderungen der Erwerbstätigkeit im Szenario ES-35. Die Sektoren *Landverkehr* und *Bausektor* weisen bis 2035 die größten Zuwächse an Erwerbstätigen (VZÄ) auf beide mit einem Zuwachs von rund 300.000 Vollzeitäquivalenten. Relativ zum Ausgangsniveau liegt der Zuwachs am höchsten beim Sektor *Elektronik* (+60%) und *Elektrik* (+51%) gegenüber 2015. Hier ist zu beachten, dass in diesen beiden Sektoren wichtige Zulieferungen der Automobilindustrie geleistet werden, die in der statistischen Klassifikation (nach WZ 2008: WZ 29) nicht dem Sektor Kraftwagenbau (bzw. hier Hauptsektor Straßenfahrzeuge) zugeordnet werden. Dazu gehören im Bereich des Sektors Elektronik z.B. die Fahrerassistenzsysteme und im Bereich des Sektors Elektrik die elektrischen Antriebe und die Batteriesysteme. Leistungselektronik kann in beiden Sektoren (Elektrik, Elektronik) verortet werden. Da diese beiden Komponenten deutlich an Bedeutung in der Herstellung von Pkw in ES-35 gewinnen, legen diese Sektoren an Erwerbstätigen zu. Außerdem gewinnt auch der Sektor *Sonstige Fahrzeuge* an Erwerbstätigen und Endnachfrage (siehe Abbildung 5-32) in ES-35. Dies führt ebenfalls zu steigenden Zulieferungen aus den Sektoren Elektronik und Elektrik, so dass der Zugewinn dieser Sektoren nicht nur aus dem Kraftwagenbau kommt, sondern sich aus einer Überlagerung der Veränderungen aller Sektoren entsteht, die Produkte der Sektoren nachfragen. Es lässt sich aber nicht oder nur mit weiteren aufwändigen Analysen trennen, welcher Effekt durch die einzelnen Sektoren für Elektronik und Elektrik ausgelöst wird. Dies gilt auch für die übrigen Sektoren. Deswegen wird in den folgenden Kapiteln 5.7 und 5.8 jeweils noch eine vertiefte Analyse aus Bottom-up Sicht der Pkw-Herstellung bzw. der Mobilitätsdienstleistungen durchgeführt.

Der größte Rückgang der Erwerbstätigen in ES-35 liegt mit rund 60 bis 70 Tausend Vollzeitäquivalenten in den Hauptsektoren *Straßenfahrzeuge*, *Kfz-Handel* und *Landwirtschaft&Rohstoffe*, welches sich für die beiden erstgenannten Sektoren auf die veränderten Struktur (weniger Verbrennungsmotoren und Getriebe) und geringerer Absatz von Pkw im Szenario ES-35 zurückführen lässt und damit auf die direkte Wirkung des Szenarios, während der dritte Sektor stärker von den indirekten Zuliefer- und Zweitrundeneffekten beeinflusst wird, die als Folge der direkten sektoralen Veränderungen entstehen (siehe auch Abbildung 2-1). Relativ ist der Rückgang der Erwerbstätigen (VZÄ) in ES-35 am größten in den Sektoren Metallprodukte (-20%), Landwirtschaft&Rohstoffe (-13%) und Straßenfahrzeuge (-10%).

Abbildung 5-39: Entwicklung der Erwerbstätigenzahl in den Hauptsektoren in ES-35

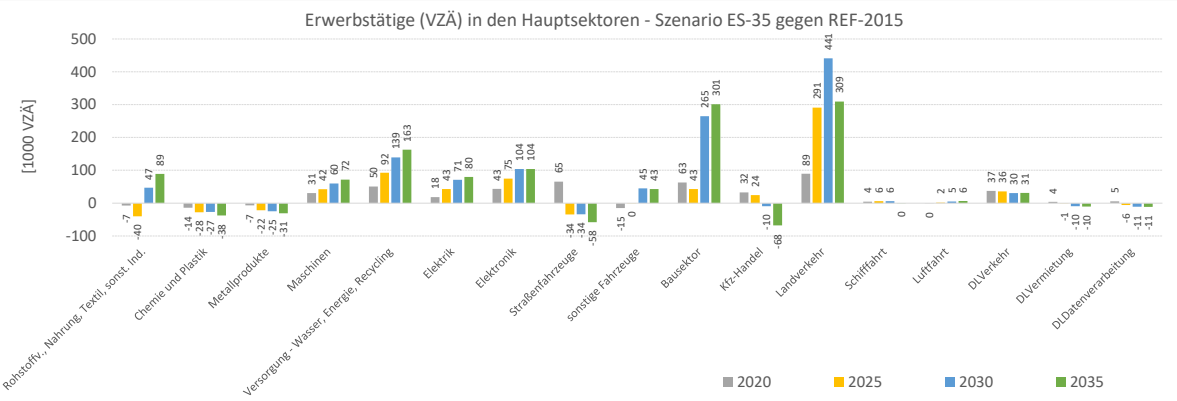


Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Als Gesamtindikator für die Größe der Veränderung der Beschäftigung gegenüber dem Status-quo (REF-2015) lässt sich die Aufsummierung aller Sektoren mit verringerter Erwerbstätigkeit zu den Zeitpunkten 2025 und 2035 gegenüber 2015 interpretieren, sowie die Aufsummierung aller gegenüber 2015 wachsender Sektoren. Wir bezeichnen diese beiden Zahlen als **Gesamtbeschäftigungs-Shift**. Für 2025 beläuft sich der negative Gesamtbeschäftigungs-Shift auf -1.08 Millionen Erwerbstätige (VZÄ) und der positive auf 1.73 Millionen Erwerbstätige. D.h. mindestens 1 Million Menschen müssen sich eine neue Stelle suchen.[31] Für die Suche steht ihnen aber auch ein größeres Angebot von über 1.7 Millionen neuen Stellen für Erwerbstätige in wachsenden Sektoren zur Verfügung. Allerdings wird der Übergang von einem schrumpfenden Sektor auf einen wachsenden Sektor häufig nicht ohne Unterstützung durch die Unternehmen oder den Staat gelingen können. Bis 2035 vergrößert sich der Gesamtbeschäftigungs-Shift sogar nochmals und der negative Gesamtbeschäftigungs-Shift erreicht 1.89 Millionen Erwerbstätige (VZÄ), während der positive Gesamtbeschäftigungs-Shift bis auf 4.03 Millionen Erwerbstätige (VZÄ) ansteigt. Für die Hauptsektoren sind die Veränderungen in ES-35 gegenüber 2015 in Abbildung 5-40 dargestellt.

31 Auf Unternehmensebene kann die Zahl der Arbeitsplatzwechsel noch größer ausfallen als durch den Indikator Gesamtbeschäftigungs-Shift erfasst, wenn einzelne Unternehmen den Strukturwandel nicht stemmen können und aus dem Markt ausscheiden, ihre Mitarbeiter aber in einem Unternehmen desselben Sektors eine neue Stelle finden. Aus sektoraler Sicht fällt dieser Jobwechsel nicht auf. Die Betroffenen mussten aber eine neue Stelle suchen und finden.

Abbildung 5-40: Veränderung der Erwerbstätigenzahl in den Hauptsektoren in ES-35 im Vergleich zum Niveau in 2015 (REF-2015)

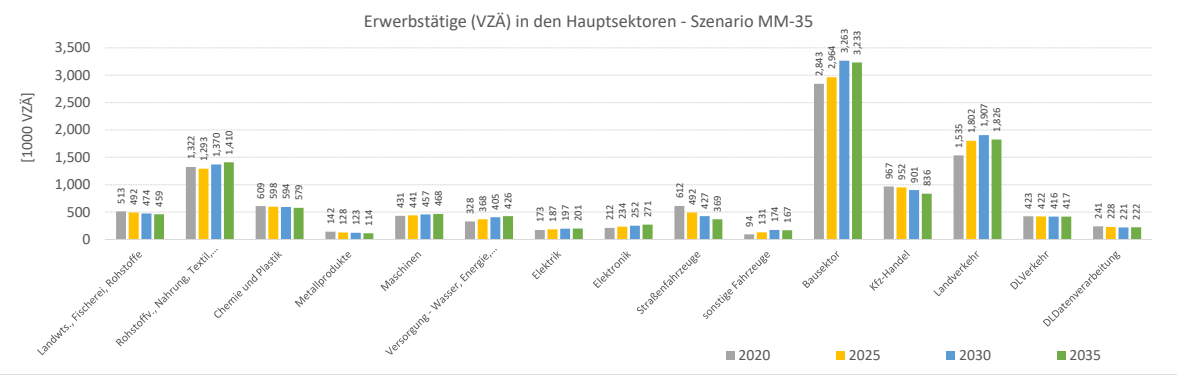


Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Abbildung 5-41 stellt die sektorale Entwicklung der Erwerbstätigen (VZÄ) in den Hauptsektoren für das Szenario MM-35 dar. Der Zuwachs der Erwerbstätigen im Landverkehr erhöht sich nochmals um 80 Tausend und im Bausektor sogar um 150 Tausend und damit sogar um 50% gegenüber dem ES-35 in 2035. Auf der anderen Seite fällt der Rückgang im Straßenfahrzeugbau (-230 Tausend) und im Kfz-Handel (-105 Tausend) deutlich größer aus, und wird auch nur in geringerem Umfang in den Sektoren Elektrik, Elektronik und sonstige Fahrzeuge kompensiert.

Relativ liegt der Rückgang im Sektor Straßenfahrzeugbau mit fast -40% in 2035 gegenüber 2015 am höchsten in MM-35. Der Sektor Metallprodukte erfährt mit einem Verlust von einem Viertel der Erwerbstätigen bis 2035 gegenüber 2015 ebenfalls einen deutlichen Rückgang. Dafür liegt im Landverkehr der Zuwachs der Erwerbstätigen bei gut einem Viertel und im Sektor Elektrik bei fast 30%, damit aber noch deutlich unter dem 50%-igen Wachstum im Szenario ES-35.

Abbildung 5-41: Entwicklung der Erwerbstätigenzahl in den Hauptsektoren in MM-35

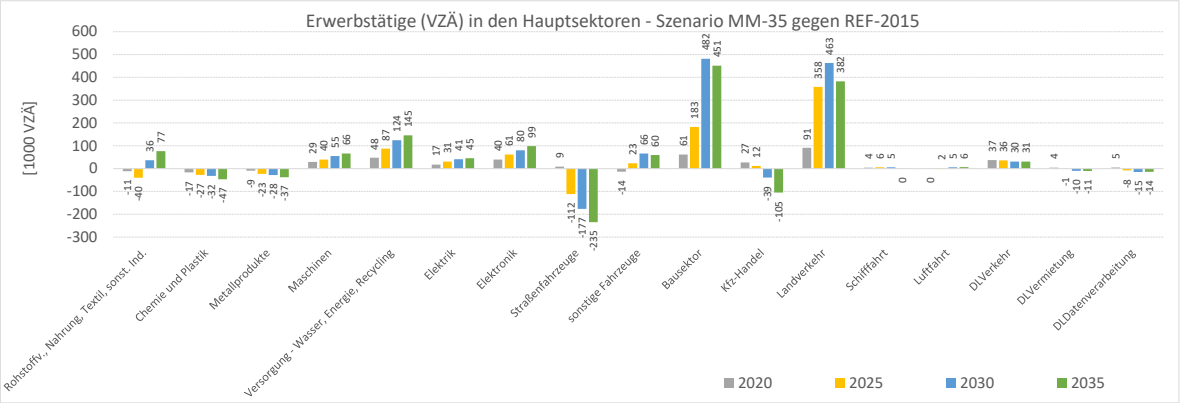


Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Trotz der teils deutlichen Unterschiede der sektoralen Entwicklungen fällt der Gesamtbeschäftigungs-Shift in MM-35 nur moderat unterschiedlich aus als in ES-35. Bis

2025 beläuft sich der negative Gesamtbeschäftigungs-Shift auf -1.19 Millionen Erwerbstätige und der positive Gesamtbeschäftigungs-Shift auf 1.84 Millionen Erwerbstätige. In 2035 ergeben sich für den negativen Gesamtbeschäftigungs-Shift mit -2.2. Millionen Erwerbstätigen die größten Änderungen gegenüber ES-35, während in 2035 der positive Gesamtbeschäftigungs-Shift mit 3.98 Millionen Erwerbstätigen niedriger liegt. Die strukturellen Änderungen der Hauptsektoren gegenüber 2015 sind in Abbildung 5-42 dargestellt.

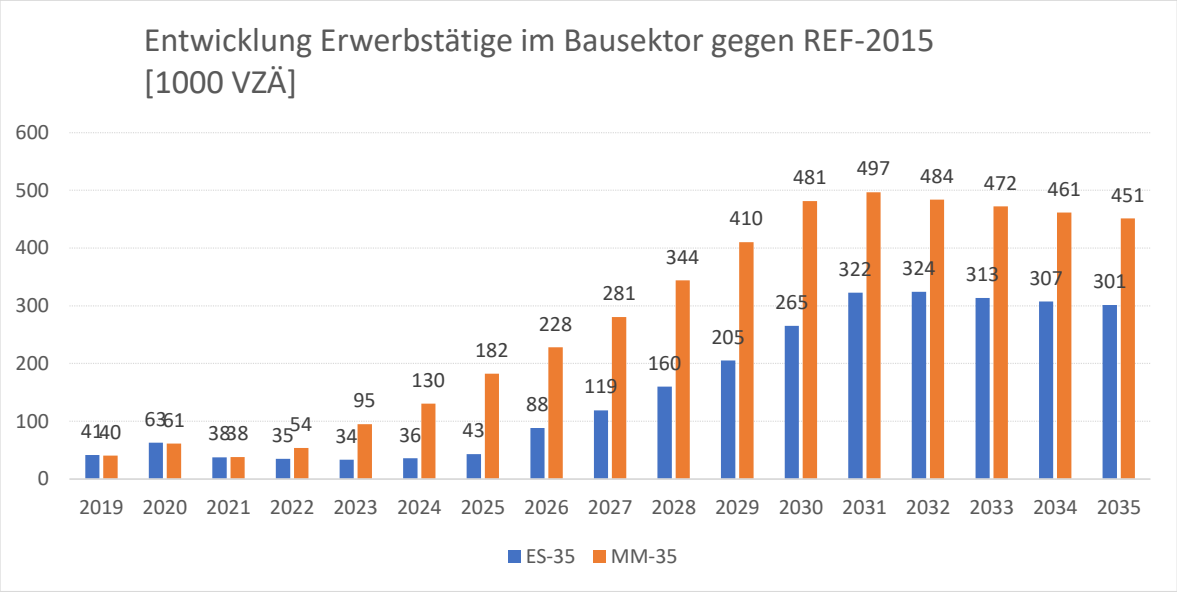
Abbildung 5-42: Veränderung der Erwerbstätigenzahl in den Hauptsektoren in MM-35 im Vergleich zum Niveau in 2015 (REF-2015)



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Der Bausektor profitiert in beiden Szenarien deutlich gegenüber 2015. Allerdings zeigt sich zunächst bis 2022 eine stagnierende Entwicklung der Erwerbstätigen auf dem Niveau von 2018, welches bereits über dem Niveau von 2015 liegt. Erst danach machen sich die positiven Impulse aus Investitionsprogramm in beiden Szenarien bemerkbar und wiegen schwere als die dämpfenden Impulse des sinkenden Pkw-Absatzes (siehe Abbildung 5-43). Durch den größeren Impuls zur Verbesserung der Infrastrukturen in MM-35 als in ES-35 liegt die Beschäftigung in MM-35 über längere Zeiträume um gut 150 Tausend über dem Niveau was in ES-35 im Bausektor erreicht wird. Ausgedrückt in zusätzlichen Beschäftigungsjahren (d.h. 1 zusätzlicher Job für 1 Jahr ist 1 Beschäftigungsjahr) werden in MM-35 über 2 Millionen zusätzliche Beschäftigungsjahre im Bausektor generiert. Dabei sollte bei den Beschäftigten teils nicht an klassischen Bau gedacht werden, sondern an innovative Vorhaben bei denen neue Technologien, komplexe Planungen in einem Verdichtungsraum wie Deutschland und klassische Bautechniken kombiniert werden müssen, um ohne Verzögerungen und Kostenüberschreitungen, die notwendige Infrastruktur funktional aufzubauen. Angesichts der Planer- und Facharbeiterengpässe in Deutschland sowie der Knappheiten in der Bauausführung könnte hier auch ein Betätigungsfeld für Ingenieure und Facharbeiter aus der Automobilindustrie, insbesondere dem Metallbau, liegen.

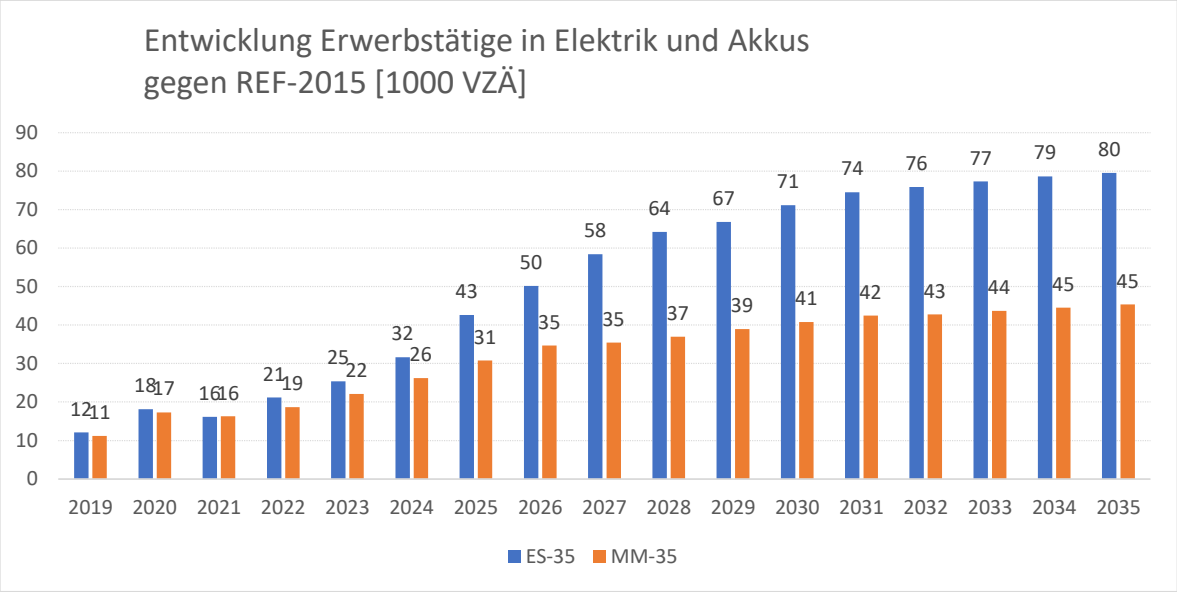
Abbildung 5-43: Veränderung der Erwerbstätigenzahl im Bausektor in den beiden Szenarien - gegen REF-2015



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Auch im Elektrik-Sektor in dem neben elektrische Ausrüstungen für den Energiesektor auch Elektromotoren und Akkumulatoren hergestellt werden, liegt die Zahl der Erwerbstätigen ab 2019 immer über dem Niveau von 2015 (siehe Abbildung 5-44). Im Gegensatz zum Bausektor ist der Effekt aber in ES-35 mit einem Zuwachs von 60 bis 80 Tausend ab 2027 deutlich stärker ausgeprägt als in MM-35 mit um 35 bis 45 Tausend anwachsender Zahl der Erwerbstätigen. In diesem Sektor überlagern sich die gesamtwirtschaftlichen Effekte, die in ES-35 zu einem Zuwachs führen und in MM-35 zu einer Abnahme, mit den Effekten in einzelnen Sektoren wie der Elektrifizierung im Pkw-Bereich, welche in beiden Szenarien positive Impulse auslöst durch die gegenüber 2015 steigende Zahl der verkauften E-Pkw, und dem Ausbau im Bahn- und ÖV-Bereich, der im MM-35 aufgrund der Forcierung multi-modaler Mobilität stärker ausfällt.

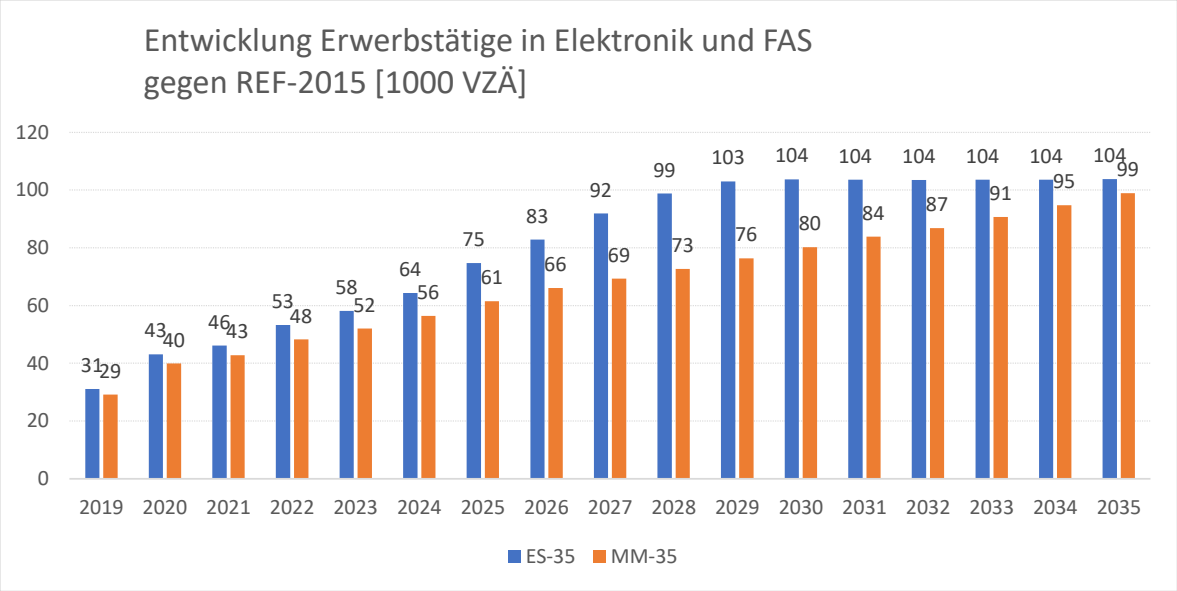
Abbildung 5-44: Veränderung der Erwerbstätigenzahl im Sektor Elektrik (inkl. Batterien) in den beiden Szenarien - gegen REF-2015



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Der Elektroniksektor in dem z.B. optische Geräte (wie Kamera, Radarsensoren) sowie Steuer- und Regelungstechnik (z.B. Fahrerassistenzsysteme) hergestellt werden, ähnelt dem vorhergehenden Elektrik-Sektor im Verlauf. In Beiden Szenarien steigt die Erwerbstätigkeit über das Niveau von 2015 und in ES-35 wird mit zusätzlichen gut 100 Tausend das höhere Niveau erreicht. Allerdings sorgen die kontinuierliche Zunahme der Mobilitätsdienstleistungen mit ihren Anforderungen an Digitalisierung und Steuerung des Systems für einen langfristig ansteigenden Pfad der Erwerbstätigen in MM-35, der sich in 2035 dem Niveau aus ES-35 fast vollständig annähert.

Abbildung 5-45: Veränderung der Erwerbstätigenzahl im Elektroniksektor (inkl. FAS) in den beiden Szenarien - gegen REF-2015

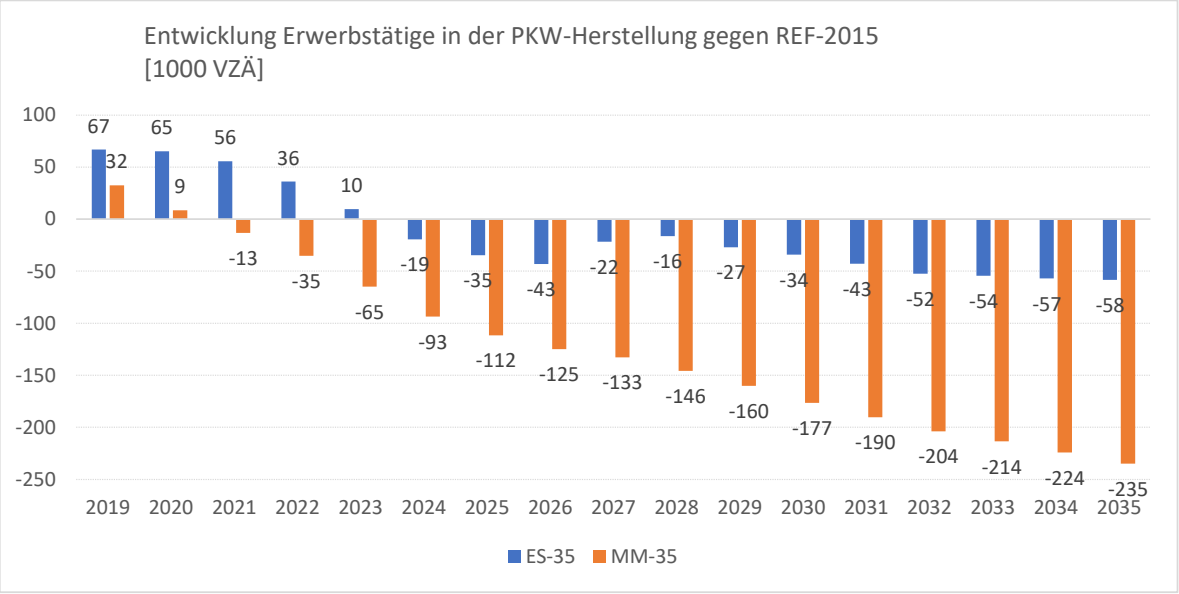


Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Im Sektor Straßenfahrzeuge (bzw. Kraftwagenbau, WZ 29) ist die Entwicklung gegenläufig zu den beiden vorhergehenden Sektoren (siehe Abbildung 5-46). Ab 2024 verringert sich in beiden Szenarien die Zahl der Erwerbstätigen (VZÄ). Der Verlust gegenüber 2015 beträgt in MM-35 235 Tausend Erwerbstätige. Hier addieren sich die beiden Effekte, des verringerten Absatzes an Pkw aus deutscher Produktion im In- und Ausland als auch der Elektrifzierung der Pkw mit der Folge, dass weniger Verbrennungsmotoren und Getriebe hergestellt werden, die beide dem Sektor Kraftwagen als Endnachfrage zu geordnet sind, während E-Motoren und Batterien im vorher beschriebenen Sektor Elektrik und Fahrerassistenzsystem im Sektor Elektronik produziert werden. Der kompensierende Effekt durch den zusätzlichen Absatz von Bussen in beiden Szenarien ist deutlich schwächer als die Veränderung im Pkw-Markt.

Zu beachten ist, dass im relativ kurzen Zeitraum von 2015, dem Referenzszenario der Analyse (Status-quo bzw. REF-2015) bis 2018 nochmal eine deutliche Erhöhung der Erwerbstätigen um 76 Tausend in ASTRA-HBS auftritt[32], die zum Teil die Absatz-Erfolge der Industrie (auch im Ausland) widerspiegelt und zum Teil die Anstrengungen zur Forcierung der E-Mobilität und dem Ausbau der Fahrerassistenzsysteme abbildet. Gegenüber diesem Höchstwert aus 2018 läge die Beschäftigung im Sektor Straßenfahrzeuge in beiden Szenarien von 2019 bis 2035 im negativen Bereich. Dieser Niveau-Effekt zwischen 2015 und 2018 sollte bei allen Betrachtungen zu diesem Sektor berücksichtigt werden.

Abbildung 5-46: Veränderung der Erwerbstätigenzahl im Sektor Kraftwagenbau in den beiden Szenarien - gegen REF-2015

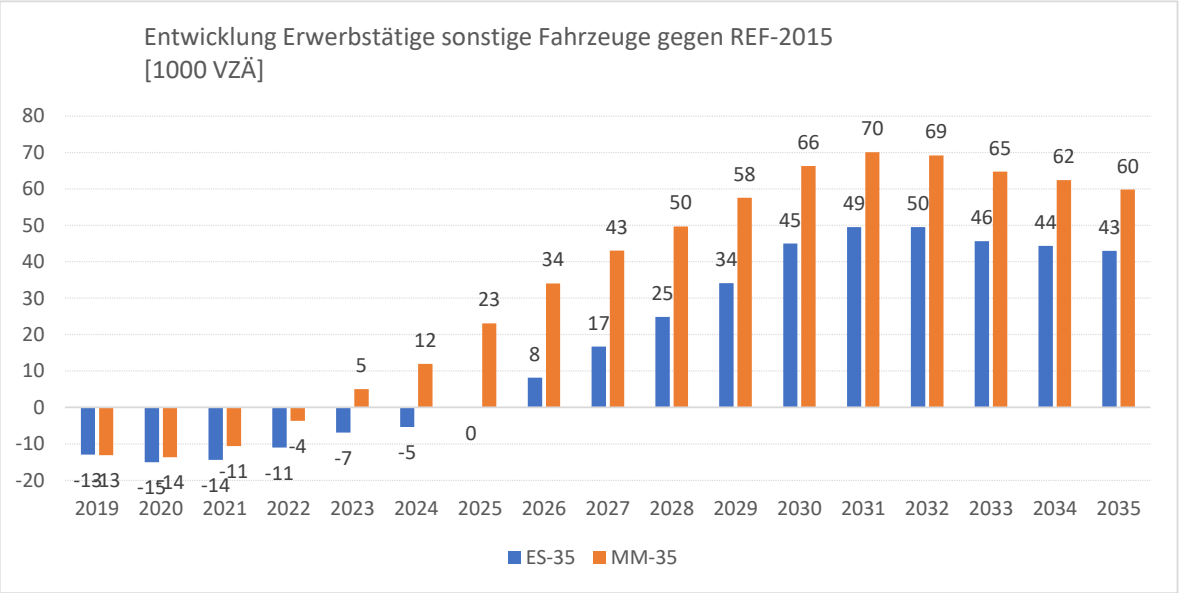


Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

32 DeStatis weist von Anfang 2015 bis Ende 2018 in der Monatsstatistik des Verarbeitenden Gewerbes für WZ-29 auch einen Zuwachs von fast 52 Tausend Beschäftigten aus.

Die Entwicklung der Erwerbstätigen (VZÄ) im Sektor *Sonstige Fahrzeuge*, in dem Züge, Straßenbahnen, Schiffe und Flugzeuge hergestellt werden, verläuft spiegelbildlich zum vorhergehenden Sektor Kraftwagenbau. Zu Beginn dämpft die schlechtere ökonomische Entwicklung den Absatz des Sektors. Ab 2023 überwiegen aber die positiven Impulse aus dem Aus- und Aufbau der Verkehrsdienstleistungen bei der Bahn und dem ÖPNV. Gegenüber 2015 entsteht in ES-35 eine zusätzliche Beschäftigung von bis zu 50 Tausend Vollzeitäquivalenten. In MM-35 sind es in der Spitze 70 Tausend Erwerbstätige (VZÄ). Hier spiegelt sich die hohe Intensität des Ausbaus der Verkehrsdienstleistungen in den Jahren 2014 bis 2031 wider, die anschließend wieder etwas nachlässt. Am Vergleich zwischen den Sektoren Kraftwagenbau und Sonstige Fahrzeuge zeigt sich aber auch, dass letzterer Sektor nicht die Verringerung der Beschäftigung in ersterem Sektor ausgleichen kann. Im Verhältnis werden in den Verkehrsdienstleistungen einfach weniger Fahrzeuge benötigt, da diese in der Tendenz 16h am Tag genutzt werden, während bei privaten Pkw dieser Wert in der Größenordnung von ein bis zwei Stunden liegt. Unterstellte man gedanklich, dass die Wertschöpfungs-Verkehrsleistungs-Produktivitäts-Relationen zwischen Pkw- und ÖV-Fahrzeugen identisch ist, würde man bei diesen Nutzungsverhältnissen nur 1/16 der ÖV-Fahrzeuge benötigen sowie nur 1/16 der Beschäftigung erzeugen.

Abbildung 5-47: Veränderung der Erwerbstätigenzahl im Sektor Sonstige Fahrzeuge in den beiden Szenarien - gegen REF-2015

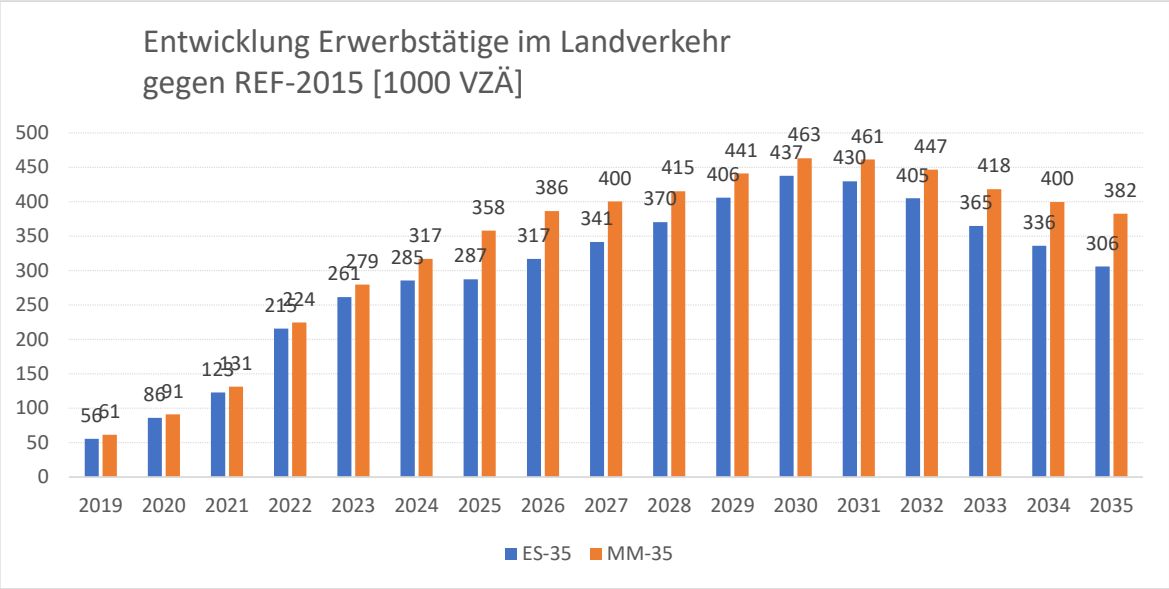


Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Im Sektor Landverkehr sind die Erwerbstätigen aus Verkehrsdienstleistungen sowohl aus dem Personen- als auch dem Güterverkehr enthalten. Der Güterverkehr ist in den Szenarien nicht mit einem eigenständigen Investitions- und Politikprogramm behandelt worden und läuft zur Vollständigkeit der gesamtwirtschaftlichen Analyse im Modell mit. Erwartungsgemäß sorgt die gesteigerte Nachfrage nach Mobilitätsdienstleistungen im Personenverkehr für einen Zuwachs an Erwerbstätigen gegenüber 2015, der aufgrund der

höheren Modal-Anteile des ÖPNV in MM-35 um ca. 40 bis 80 Tausend Vollzeitäquivalente höher ausfällt als in ES-35 (siehe Abbildung 5-48). Eine Aufteilung und Diskussion der Beschäftigtenzahlen in einer Bottom-up Betrachtung nach den verschiedenen Verkehrsdienstleistungen erfolgt im Kapitel 5.8.

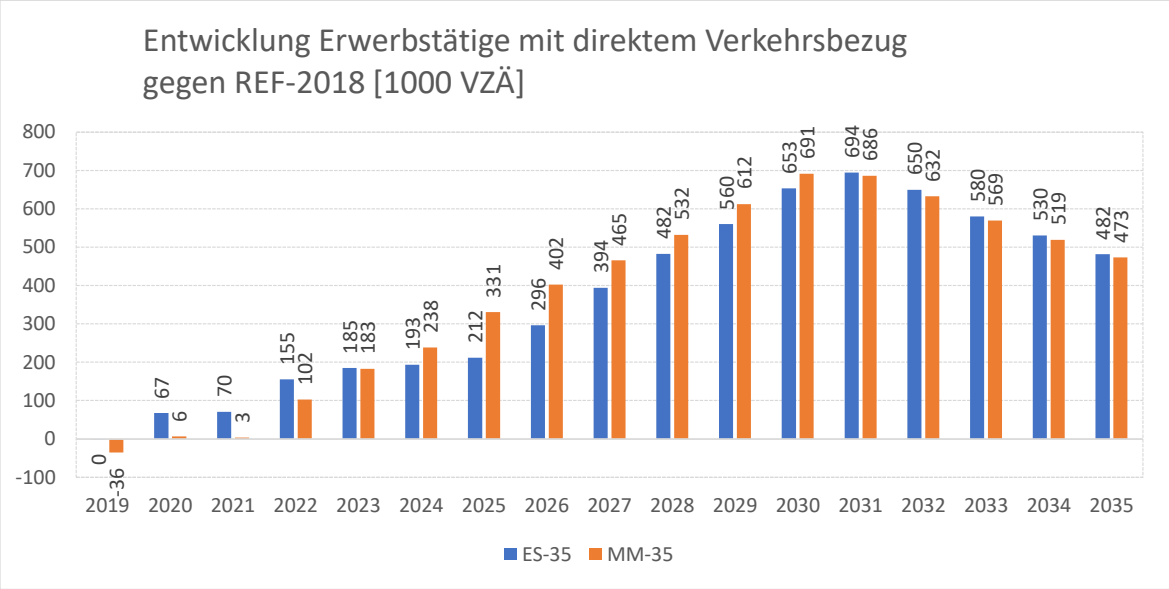
Abbildung 5-48: Veränderung der Erwerbstätigenzahl im Landverkehr in den beiden Szenarien - gegen REF-2015



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Die in den vorhergehenden Absätzen dargestellten Veränderungen der Zahl der Erwerbstätigen (VZÄ) können auch zusammengefasst und gegenüber dem Niveau von heute (2018) dargestellt werden. Abbildung 5-49 stellt den Saldo der Veränderungen der sieben Sektoren (Elektrik, Elektronik, Kraftwagen, Sonstige Fahrzeuge, Bau, Kfz-Handel und Landverkehr) dar. In den ersten Jahren bis 2023 entwickelt sich das ES-35 besser und die Zahl der Erwerbstätigen liegt dort um 185 Tausend in 2023 höher als in 2018. Danach führt der Auf- und Ausbau der Verkehrsinfrastruktur und -dienstleistungen bis 2030 zu einem höheren Niveau in MM-35 mit bis zu 691 Tausend zusätzlichen Erwerbstätigen. Bis 2035 liegen die beiden Szenarien dann nahe beieinander.

Abbildung 5-49: Veränderung der Erwerbstätigenzahl in den Sektoren mit direktem Verkehrsbezug - gegen REF-2018



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

5.7 Beschäftigung auf Pkw-Komponentenebene

Im vorherigen Kapitel ist die Zahl der Erwerbstätigen in der Struktur der SNA der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung dargestellt und in ASTRA-HBS über die Beziehung der Input-Output-Tabelle auch modelliert. Der Vorteil dieses Ansatzes liegt in der Vergleichbarkeit mit Statistiken und Daten, die für den Kraftwagenbau in der Kategorie WZ-29 in der Version der Klassifikation WZ-2008 angelegt wurden.

In diesem Kapitel wird die Datenbasis aus der für dieses Vorhaben aufgebauten Unternehmensdatenbank (siehe Wagner et al. 2019) genutzt. Für die Datenbank wurden Beschäftigte der Unternehmen aus Unternehmensangaben und Industrieveröffentlichungen erhoben und den 10 verschiedenen Komponenten eines Pkw (siehe Kapitel 3.3) zugeordnet. Die Unternehmen unterscheiden in Ihren Veröffentlichungen dabei nicht zwischen Voll- und Teilzeit-Beschäftigten. Durch die Art der Erhebung mit Fokus auf größere Unternehmen werden auch keine Selbständigen oder freien Berufe erfasst. Außerdem werden alle Beschäftigten eines Unternehmens den Komponenten zugeordnet inklusive z.B. der Verwaltung. Damit unterscheidet sich der Beschäftigtenbegriff deutlich von Erwerbstätigen aus dem vorhergehenden Kapitel, die funktional gegliedert werden, d.h. ein OEM-Beschäftigter in der Produktion eines Verbrenners wird WZ-29 zugeordnet, einer aus der Verwaltung kann je nach Funktion im OEM beispielsweise bei Unternehmens-dienstleistungen, Datenverarbeitung oder Kreditgewerbe (z.B. im Bereich der Pkw-Finanzierungsangebote) eingeordnet werden.

Die erhobenen Unternehmensdaten wurden verwendet um in ASTRA-HBS ein sogenanntes Bottom-up Modell zu integrieren, mit dem die Beschäftigtenzahlen auf Komponentenebene abgeschätzt werden können, das sogenannte **Komponentenmodell**. Das Modell wurde bereits in AP3 (Wagner et al. 2019) aufgebaut. Für die Anwendung in AP5 wurden die

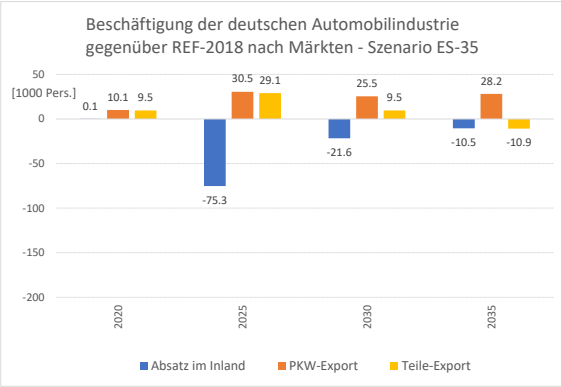
Modellstrukturen nur sehr geringfügig angepasst, um neue Erkenntnisse aufzunehmen (z.B. Verbesserung der Lernkurveneffekte in der E-Mobilität). Für 2015 wurde in AP3 mit dem Bottom-up Modell eine Zahl der Beschäftigten in der Automobilindustrie von 989 Tausend ermittelt. Für AP5 ist die aktualisierte Zahl nicht exakt identisch aber vergleichbar und beläuft sich auf 975 Tausend Beschäftigte.

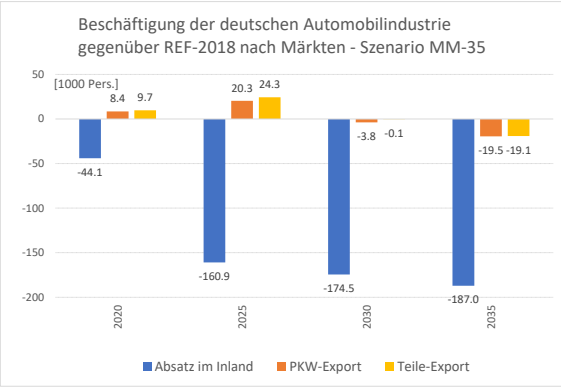
Im Komponentenmodell werden Beschäftigte in der deutschen Automobilindustrie drei verschiedenen Absatzmärkten zugeordnet, für die bereits in AP3 eigene Szenarien aufgestellt wurden (Wagner et al. 2019):

- Dem nationalen Pkw-Absatz, d.h. Pkw die in Deutschland gefertigt und abgesetzt werden.
- Dem Export von Pkw die in Deutschland gefertigt und außerhalb Deutschlands abgesetzt d.h. exportiert werden. Hier wurden Exportszenarien für fünf verschiedene Weltregionen quantifiziert.
- Dem Export von Komponenten die in Deutschland gefertigt und außerhalb Deutschlands in Pkw eingebaut werden, sei es in Neuwagen deutscher OEM, die im Ausland gefertigt werden, oder als Ersatzteile für im Ausland genutzte Pkw aus deutscher Herstellung (Teile-Export in Abbildung 5-50).

Die Entwicklung der Beschäftigten aus dem Bottom-up Modell unterscheidet sich deutlich in den drei Märkten. Die Verringerung des Absatzes im Inland hat zunächst in beiden Szenarien den größten Einfluss auf die Beschäftigung, so dass in 2025 in ES-35 gut 75 Tausend Beschäftigte weniger für den Pkw-Absatz in Deutschland arbeiten, in MM-35 beträgt der Rückgang sogar 160 Tausend Beschäftigte. Der Pkw-Export aus Deutschland bleibt in ES-35 bis 2035 ein Treiber für zusätzliche Beschäftigung mit einem Zuwachs von um die 30 Tausend Personen. Dabei überlagern sich vier Entwicklungen, die zu diesem Ergebnis führen: in Europa sinkt der Absatz auch deutlich, da dort eine Mobilitäts-Entwicklung wie in Deutschland erwartet wird. Nach NAFTA und China stagniert der Export auf eher niedrigem Niveau im Vergleich zu den Gesamtmärkten, und nach Asien ohne China, Afrika und Südamerika steigen die Exporte, da dort weitere ökonomische Verbesserungen erwartet werden ohne eine Dämpfung der Nachfrage nach deutschen Premium-Pkw durch neue Mobilitätsdienstleistungen. Insgesamt steigt der Preis der exportierten Pkw kontinuierlich und deutlich an, da mehr Assistenz- und andere Komfortsysteme verbaut werden und der Absatz aus deutscher Produktion im Ausland immer stärker zu einem Premium-Absatz wird. In MM-35 wird langfristig aber auch der Pkw-Export zu einer Verringerung der Beschäftigung um 20 Tausend gegenüber 2018 führen. Der Teile-Export verringert sich ebenfalls stärker als der Pkw-Export, da hier die Premium-Eigenschaft sich weniger auswirkt, und weniger werthaltige Komponenten zunehmend direkt an den Standorten der deutschen Hersteller im Ausland hergestellt werden.

Abbildung 5-50: Veränderung der Beschäftigung in der Pkw-Herstellung aus Komponentenmodell - gegen REF-2018

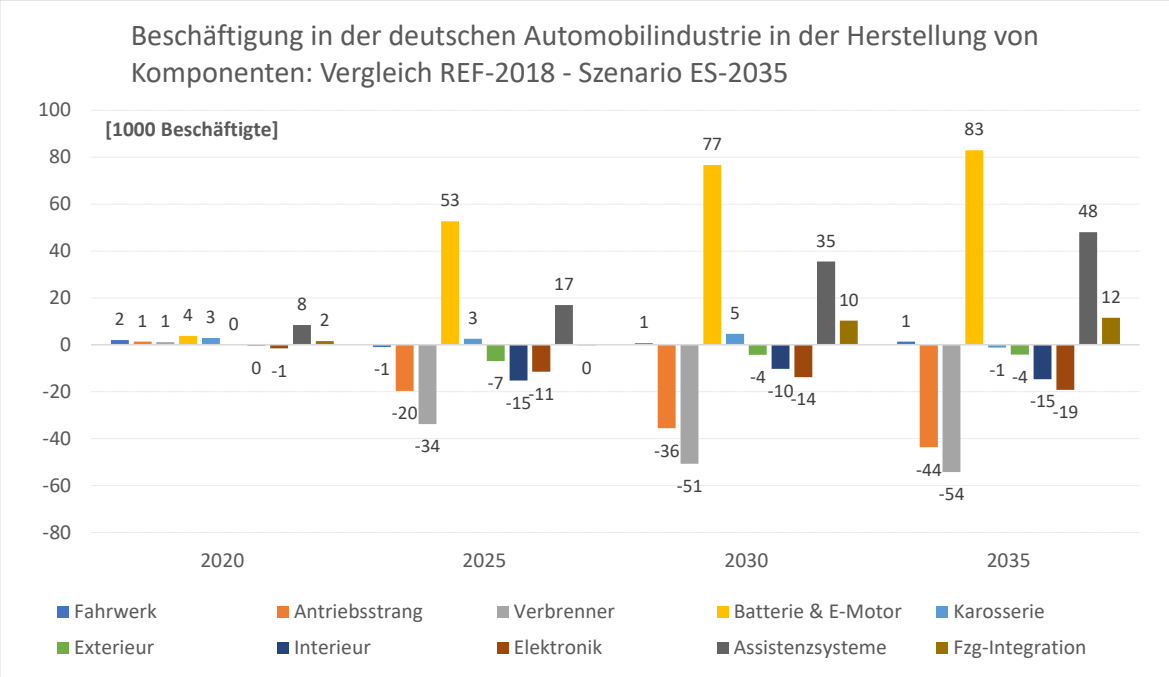




Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Die Änderung der Beschäftigung im Komponentenmodell kann auch nach Komponente für die Szenarien dargestellt werden. Abbildung 5-51 zeigt den deutlichen Zuwachs der Beschäftigung für die Herstellung der Komponente Batterie & Elektromotor von bis zu 83 Tausend in ES-35 in 2035. Ebenfalls werden Zunahmen im Bereich der Assistenzsysteme (durch den Einbau einer größeren Zahl an komplexer werdenden Assistenzsystemen) und der Fahrzeug-Integration (durch die komplexere Kombination von Elektrik/Elektronik, Hochvolt-Anlagen und Leichtbau) erwartet. Die Größenordnung der Beschäftigungszunahme bei den Fahrerassistenzsystemen liegt bei bis zu 48 Tausend Beschäftigten. Der Vergleich von Komponentenmodell und sektoraler Analyse zeigt, dass im Bereich der Elektrik (siehe Abbildung 5-44) ein Großteil des Zuwachses der Erwerbstätigen aus dem Kraftwagenbau kommt, während im Bereich der Elektronik (siehe Abbildung 5-45) der Zuwachs von 104 Tausend Erwerbstätigen mit 48 Tausend nur zur Hälfte aus den Beschäftigten aus dem Kraftfahrzeugbau stammt. Die Komponenten Antriebsstrang und Verbrenner führen zusammen zu einem Rückgang von 54 Tausend Beschäftigten in 2025 und 98 Tausend in 2035.

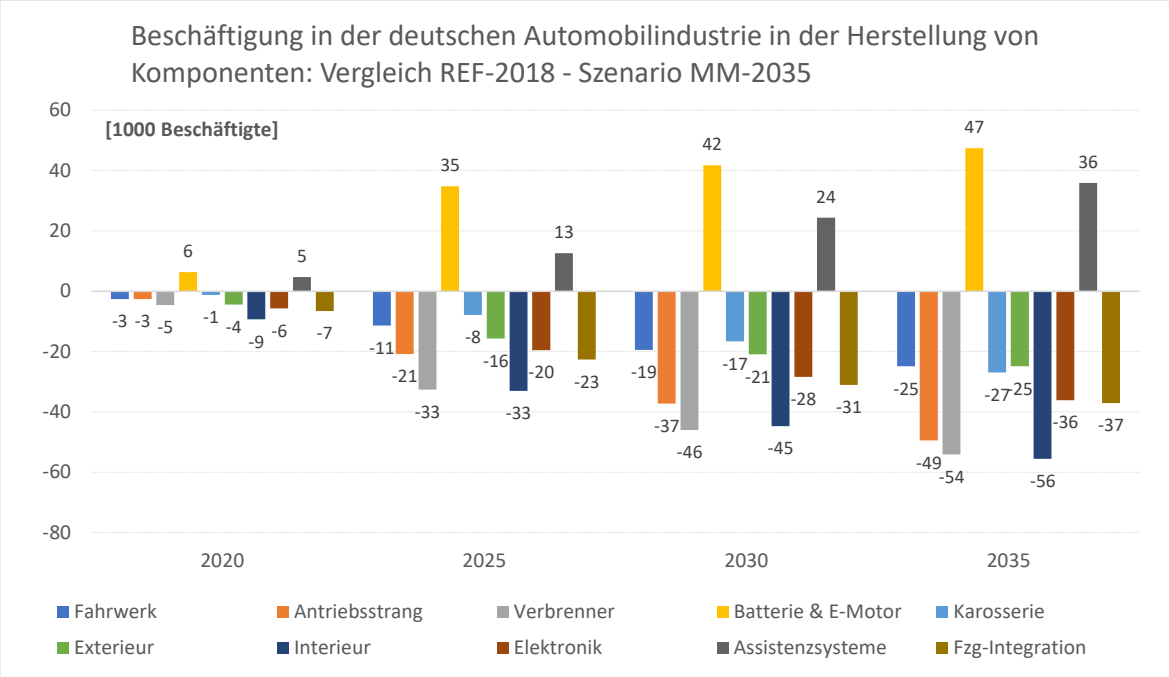
Abbildung 5-51: Veränderung der Beschäftigung in der deutschen Automobilindustrie nach Fahrzeugkomponenten in ES-35 gegen REF-2018



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Im MM-35 Szenario verstärken sich die Rückgänge der Beschäftigten in 8 der 10 Komponenten, und in den beiden Komponenten Batterie & E-Motor sowie Assistenzsysteme fällt der Zuwachs geringer aus (siehe Abbildung 5-52). Es entsteht zusätzliche Beschäftigung von bis zu 47 Tausend im Bereich der Komponenten der E-Mobilität (Batterie & E-Motor) und von 36 Tausend im Bereich der Assistenzsysteme. Die übrigen Komponenten verlieren in 2025 zusammen gut 163 Tausend Beschäftigte und in 2035 sogar 309 Tausend Beschäftigte. Damit fällt im Komponentenmodell der Rückgang der Beschäftigung größer aus, als bei der Abschätzung der Erwerbstätigen mit -234 Tausend (siehe Abbildung 5-46). Im Bereich von Antriebsstrang und Verbrenner erreicht der Verlust an Beschäftigten in 2035 103 Tausend Personen.

Abbildung 5-52: Veränderung der Beschäftigung in der deutschen Automobilindustrie nach Fahrzeugkomponenten in MM-35 gegen REF-2018



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

5.8 Beschäftigung in neuen Mobilitätsdienstleistungen

Die Beschäftigung im Sektor Landverkehr wurde ebenfalls durch ein Bottom-up Modell tiefer differenziert. Dieses verarbeitet die Impulse der neuen Mobilitätsdienstleistungen, welche im Kapitel 5.1.3.2 beschrieben wurde.

In den **Transport- und Mobilitätsdienstleistungen**[33] wächst die Beschäftigung in beiden Szenarien deutlich gegenüber 2015. In ES-35 entstehen etwa 300.000 neue Arbeitsplätze (davon gut die Hälfte in Mobilitätsdienstleistungen), in MM sogar 380.000 (davon zwei Drittel in Mobilitätsdienstleistungen). Diese Entwicklungen sind das Endergebnis mehrerer modellierter Trends, von denen die wichtigsten der Ausbau des öffentlichen Verkehrs, das Wachstum neuer Mobilitätsformen wie Car-Sharing und Automatisierung sind. Obwohl durch Automatisierung viele Arbeitsplätze verloren gehen wird dieser Trend von den positiven Arbeitsmarktentwicklungen durch die wachsenden Mobilitätsformen dominiert.

Durch das Zusammenwirken der verschiedenen Trends ergibt sich ein deutlicher Gipfel bzw. ein Plateau in der Beschäftigungsentwicklung mit bis zu 100.000 mehr Arbeitsplätzen als in den 2035er-Werten. In beiden Szenarien kommt es im Jahr 2030 zu einem Höchststand an Beschäftigung: in MM mit etwa 80.000 Beschäftigten mehr als im Jahr 2035, in ES sogar etwa 130.000 mehr, jeweils mit einem ähnlich hohen Plateau in den Jahren davor und

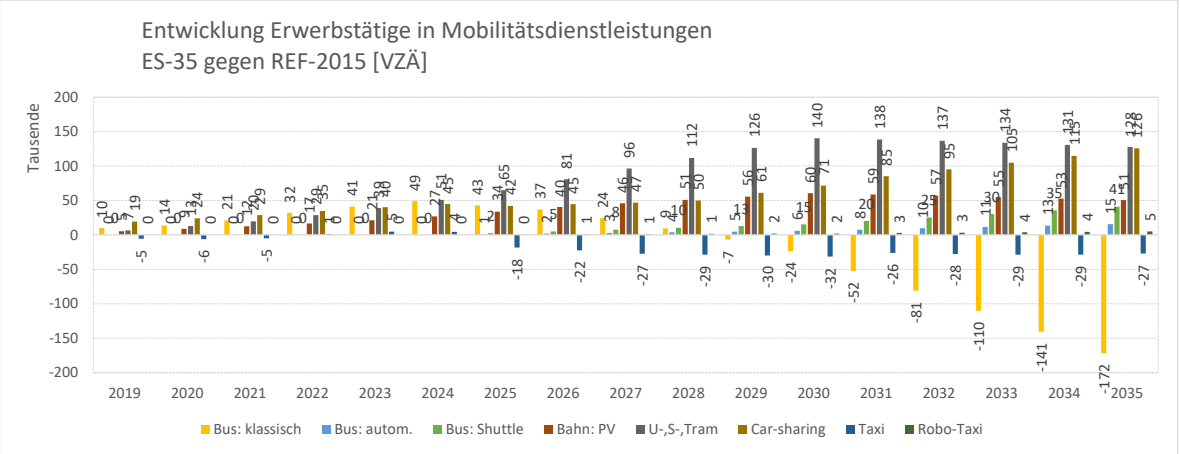
33 Mit Mobilitätsdienstleistungen sind hier die Busse (klassisch, automatisiert, on-demand), Bahn, U-,S-,Tram, Car-sharing, Taxi und Robo-Taxi einbezogen. Als Transportdienstleistungen werden LKW (im Nah-, Regional- und Fernverkehr) und Schienengüterverkehr bezeichnet.

danach (siehe auch Abbildung 5-48). In diesen Jahren profitiert der Arbeitsmarkt bereits erheblich von dem Wachstum öffentlicher Verkehrsmittel und neuer Mobilitätsformen, während die Automatisierung noch in einem frühen Stadium ist.

Die genaue Dynamik dieser Entwicklung hängt von den Annahmen zur Entwicklung autonomer Technologien ab. Wir haben in der Modellierung einen Hochlauf angenommen, der 2024 ansetzt und sich ab 2030 beschleunigt (siehe Abbildung 5-10). Sollte Automatisierung sich später durchsetzen, wäre auch der Gipfel der Beschäftigungsentwicklung später und außerdem höher, da mehr des prognostizierten Wachstums vor Einsetzen der Automatisierung beginnen und im Aggregat nicht durch diese ausgeglichen würde. Bei einem früheren Hochlauf autonomer Verkehrsmodi ist entsprechend mit einem früheren Gipfel und insgesamt niedrigeren Beschäftigungszahlen in den 2020er Jahren zu rechnen.

Die großen Wachstumstreiber sind Car-Sharing mit 125.000 (ES-35) bzw. 190.000 (MM-35) zusätzlichen Erwerbstätigen im Jahr 2035 und der Schienenverkehr inklusive S- und U-Bahnen. Das Wachstum im Schienenpersonenverkehr führt dazu, dass die Beschäftigungsentwicklung im öffentlichen Verkehr insgesamt positiv ist, obwohl im Busverkehr viele Arbeitsplätze durch Automatisierung verloren gehen. Das Wachstum der rein autonomen Modi hat dagegen relativ geringe Beschäftigungswirkungen, mit 5000 bis 6500 Erwerbstätigen durch Robotaxis, 15.000 (ES-35) bzw. 10.000 (MM-35) durch autonome Busse und 41.000 (ES-35) bzw. 31.000 (MM-35) durch autonome Shuttles (siehe auch Abbildung 5-53 und Abbildung 5-54).

Abbildung 5-53: Veränderung der Erwerbstätigenzahl in den Mobilitätsdienstleistungen – ES-35 gegen REF-2015

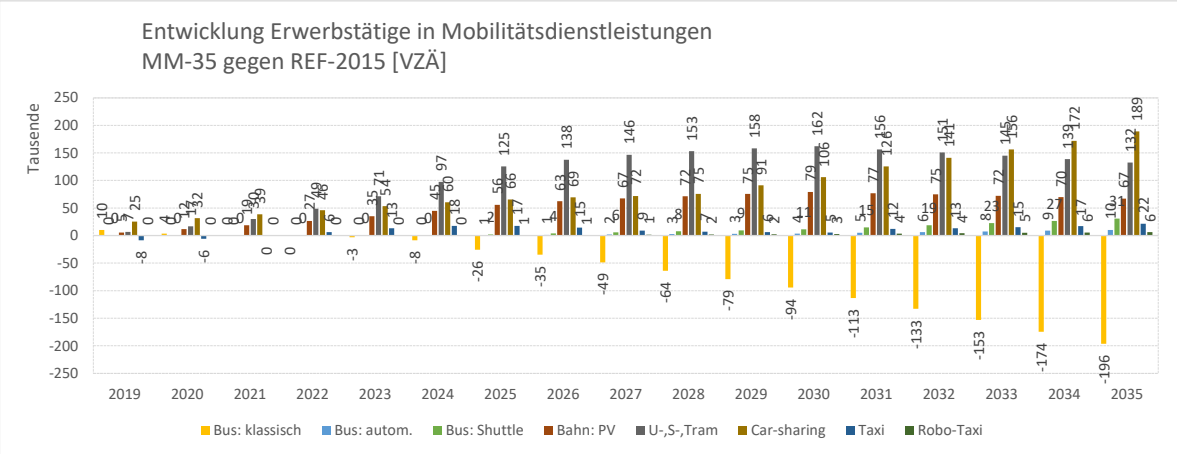


Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Auf der anderen Seite gehen Arbeitsplätze vor allem durch **Automatisierung** verloren. Dieser Trend betrifft vor allem den Busverkehr. Im konventionellen Busverkehr gehen im ES-35-Szenario 171.000 Arbeitsplätze gegenüber 2015 verloren, während durch autonome Busse und Shuttle 56.000 neue entstehen (Netto-Verlust von 115.000 Arbeitsplätzen). Im MM-35-Szenario entsteht ein Nettoverlust von 155.000 Arbeitsplätzen gegenüber 2015, mit

einem Minus bei konventionellen Bussen von 196.000 und einem Plus bei autonomen Bussen und Shuttles von 41.000. Die unterschiedlichen Größenordnungen ergeben sich dabei vor allem durch die unterschiedlichen Entwicklungen der Verkehrsleistungen des Bussektors in den beiden Szenarien.

Abbildung 5-54: Veränderung der Erwerbstätigenzahl in den Mobilitätsdienstleistungen – MM-35 gegen REF-2015



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

In den nicht komplett automatisierten Verkehrsmitteln ist eine teilweise Automatisierung zu erwarten. Mit einer Produktivitätssteigerung von 20% (in Anlehnung an AP4) gehen gegenüber dem Fall ohne Produktivitätssteigerung durch Automatisierung im Schienenpersonenverkehr des MM-Szenarios (inklusive S- und U-Bahn) 66.000 Arbeitsplätze verloren, im ES-Szenario 61.000. Noch deutlich stärker sind die Verluste bei Lkw und leichten Nutzfahrzeugen, mit etwa 253.000 Arbeitsplatzverlusten in beiden Szenarien. Diese Verluste sind in den oben beschriebenen Zahlen der Erwerbstätigen enthalten (Abbildung 5-53 und Abbildung 5-54).

Im Zuge der Automatisierung kann es außerdem zu einem Outsourcing computerbasierter Arbeit ins Ausland kommen. Automatisierung bringt einen erhöhten Bedarf an Kontroll-, Überwachungs- und Supporttätigkeiten mit sich, die nicht direkt im Fahrzeug ausgeführt werden. Sobald autonome Modi ausreichend etabliert sind, könnten diese Tätigkeiten so weit standardisiert werden, dass eine Auslagerung an ausländische Dienstleister möglich wäre. Im Modell haben wir als zusätzliche Sensitivitäts-Variante einen Anstieg der Importanteile an der Wertschöpfung um 15% implementiert, gültig für alle rein autonomen Modi (autonome Busse, Shuttles, Robotaxi) sowie Nutzfahrzeuge. Diese führt in beiden Szenarien zu etwa 90.000 weniger Beschäftigten im Jahr 2035. Die Variation der Importe von Mobilitätsdienstleistungen ist nicht in den obigen Zahlen der Erwerbstätigen angewendet worden.

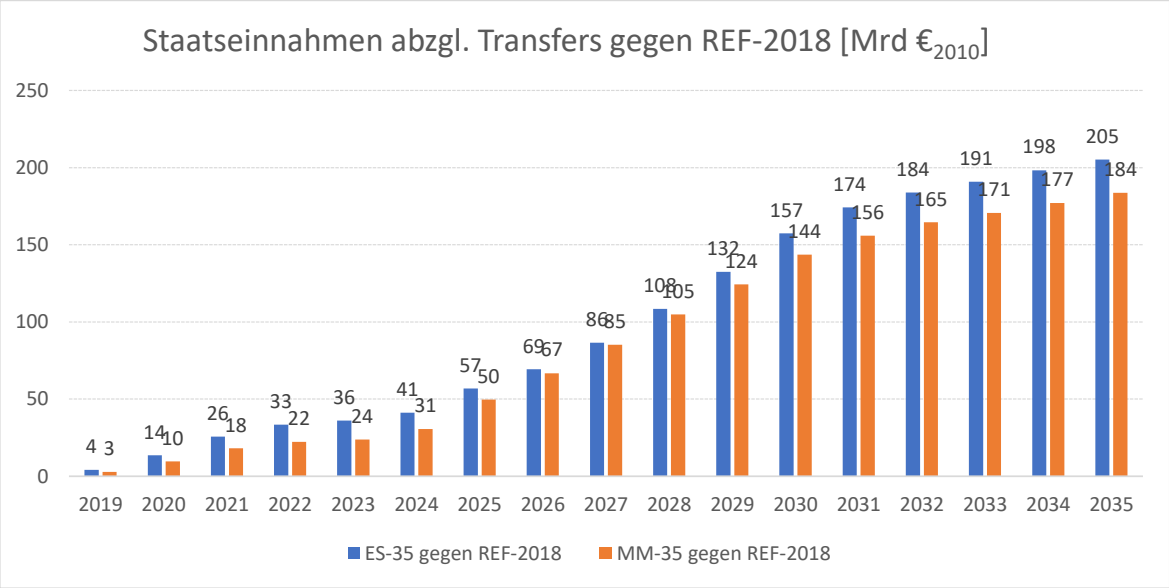
5.9 Wirkungen auf den Staatshaushalt

Der Staatshaushalt lässt sich neben den Investitionen und dem Staatskonsum in drei große Gruppen einteilen. Dabei sind die ersten beiden Gruppen der Einnahmeseite zuzuordnen und die dritte Gruppe der Ausgabenseite:

- Indirekte Steuern und Abgaben zu denen die MwSt. sowie sonstige Steuern auf Waren und Dienstleistungen gehören. Darunter fallen auch Steuern und Abgaben im Verkehrsbereich, wie die Energiesteuern, die Einnahmen aus der CO_2-Bepreisung im Verkehr, die Mauteinnahmen oder die MwSt. auf Fahrzeuge, Verkehrsdienstleistungen oder Versicherungsleistungen im Verkehr (z.B. Kfz-Haftpflicht-Versicherungen).
- Direkte Steuern und Sozialabgaben wie die Lohn- und Einkommenssteuern oder die Beiträge zu den Sozialversicherungen.
- Transferzahlungen, wie Arbeitslosenhilfe, Kindergeld oder Rentenzahlungen.

In ASTRA-HBS werden diese Kategorien, teils vereinfacht, im Modell abgeschätzt, und stehen so zur Verfügung, um in den Szenarien die potenzielle Wirkung auf den Staatshaushalt zu protokollieren und berücksichtigen zu können. Lohn- und Einkommenssteuern sind dabei als fester Anteil am BIP von der Entwicklung des BIB abhängig. Die MwSt.-Einnahme wird aus den detaillierten Konsumausgaben abgeleitet und die Sozialabgaben aus den Zahlen der Erwerbstätigen. Bei den Transferzahlungen unterscheiden sich die Beträge für Kindergeld und Rentenzahlungen nicht in den Szenarien, aber die Zahlung des Arbeitslosengeldes hängt von der Zahl der Arbeitslosen ab, welche sich wiederum szenariospezifisch ergibt. Die Einnahmen aus dem Verkehrssystem werden über die Nachfrage aus den Verkehrs-, Flotten- und Energiemodellen und die Steuer- bzw. Gebührensätze in den Szenarien bestimmt. Alle außerhalb des Verkehrssystems zu verortenden Steuer- und Gebührensätze bleiben gleich zwischen allen Szenarien. Damit ergibt sich die in Abbildung 5-55 dargestellte Entwicklung des Saldos aus veränderten Einnahmen und Transferzahlungen, welcher wiederum als Indikator für Spielräume für (zusätzliche) staatliche Investitionen im Verkehr genutzt werden kann. Der Saldo wächst gegenüber 2018 über die gesamte Zeitperiode bis 2035. Beispielsweise stünden in ES-35 in 2025 57 Mrd. $€_{2010}$ mehr Mittel zur Verfügung, die unter anderem im Verkehrsbereich investiert werden könnten.

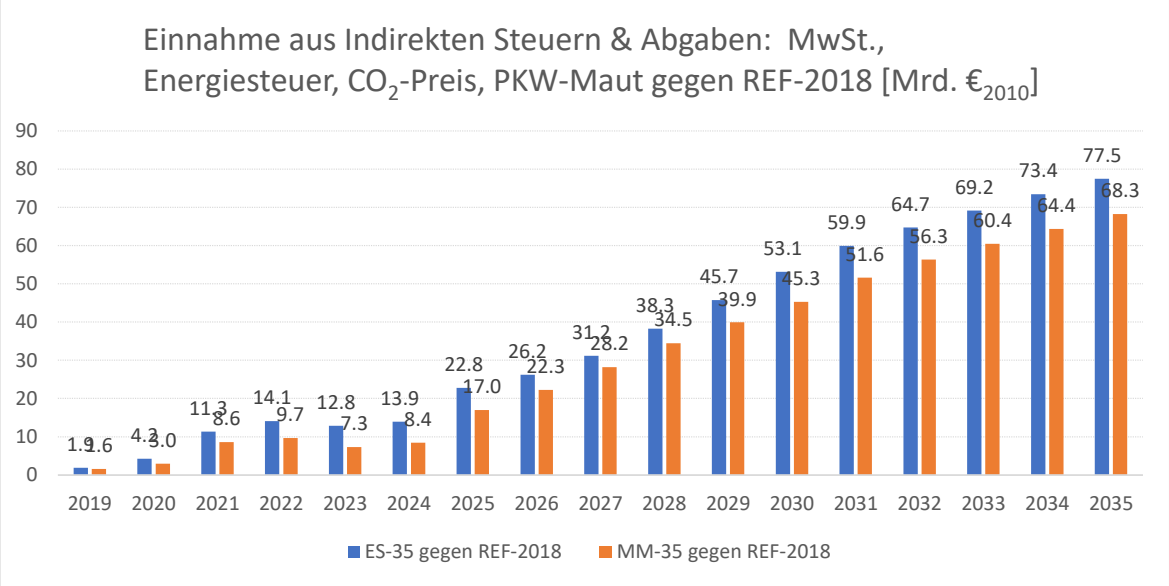
Abbildung 5-55: Entwicklung der staatlichen Einnahmen abzgl. Transfers gegen 2018



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Werden nur die indirekten Steuern betrachtet, zu denen als größter Block die MwSt.-Einnahme gehört, und die auch die gesamten Einnahmen aus Steuern und Abgaben im Verkehrssystem umfassen, ergibt sich ein ähnliches Bild mit einem kontinuierlichen Anstieg der Einnahmen bis 2035 gegenüber dem Niveau von 2035. Die Einnahmen aus dem Verkehrssektor sind allerdings in Summe rückläufig (siehe auch Abbildung 5-57).

Abbildung 5-56: Entwicklung der indirekten Steuern und Abgaben inklusive der Verkehrssteuern und -abgaben gegen 2018

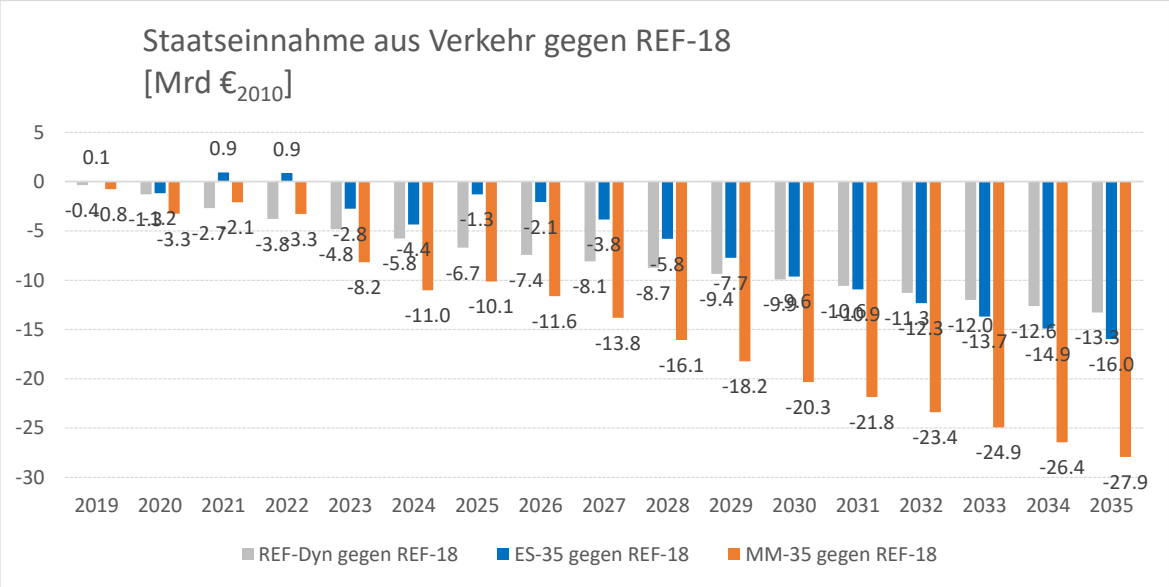


Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Die isolierte Betrachtung der Steuer- und Gebühreneinnahmen aus dem Verkehr ist in Abbildung 5-57 dargestellt. Enthalten sind die Einnahmen aus der Energiesteuer (fossile Kraftstoffe (flüssig, gasförmig), Strom), der Maut (Pkw; Lkw), EEG aus Verkehr, Kfz-Steuer

(vereinfacht), CO2-Preis und MwSt. auf Konsumausgaben für Verkehr (ÖV-Tickets, Pkw; Kraftstoffe, Pkw-Versicherung und Wartung). Bereits in der Referenz gehen diese Einnahmen deutlich zurück und liegen in 2025 6.7 Mrd. €$_{2010}$, niedriger als 2018 und in 2035 13.3 Mrd. €$_{2010}$. Dies kann insbesondere durch den Rückgang der Energiesteuereinnahmen und der Kfz-Steuer erklärt werden (siehe auch Abbildung 5-58). Während in ES-35 die Einführung der CO_2-Bepreisung ab 2020 den Rückgang weitgehend kompensieren kann, führt die deutliche Abnahme der Pkw-Flotte und Pkw-Nutzung in MM-35 auch zu geringeren Einnahmen von Steuern und Gebühren aus dem Verkehr, die in 2025 bereits um 10,1 Mrd. €$_{2010}$ niedriger als 2018 liegen und in 2035 dann 27,9 Mrd. €$_{2010}$. Aber auch in ES-35 liegt in 2035 die Einnahme um 16 Mrd. €$_{2010}$ niedriger als 2018. Dies deutet darauf hin, dass die neu eingeführte Pkw-Maut im Zeitverlauf stärker steigen müsste, um die Einnahmeausfälle aus Verkehr zu kompensieren und die Investitionstätigkeit für den Verkehr in den Szenarien gegenzufinanzieren.

Abbildung 5-57: Entwicklung der staatlichen Steuer- und Gebühreneinnahmen aus dem Verkehrssektor gegen 2018

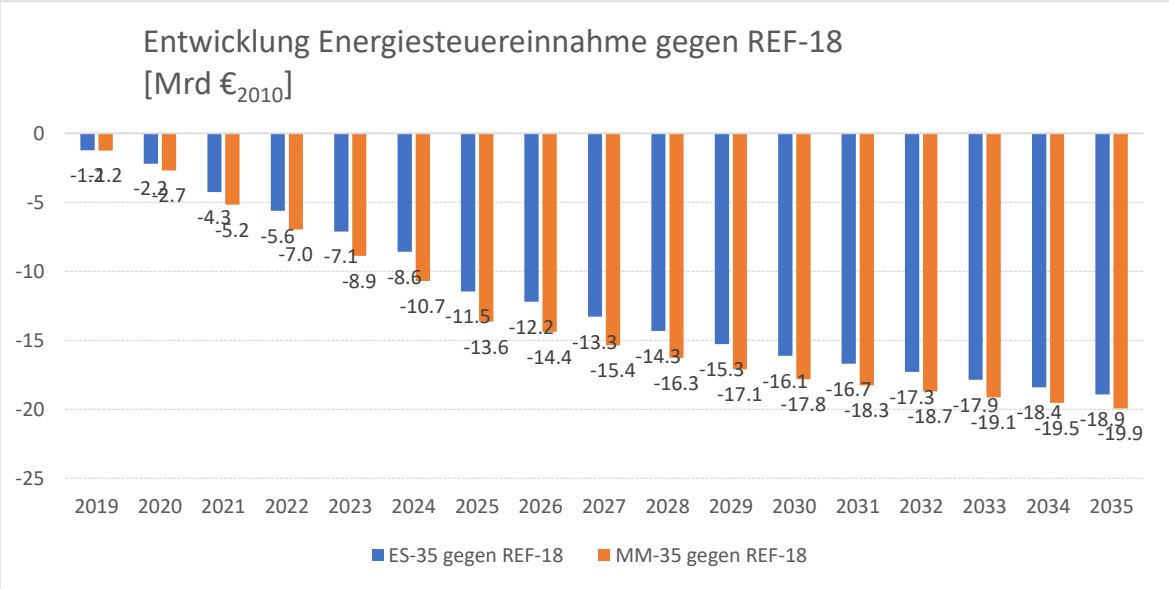


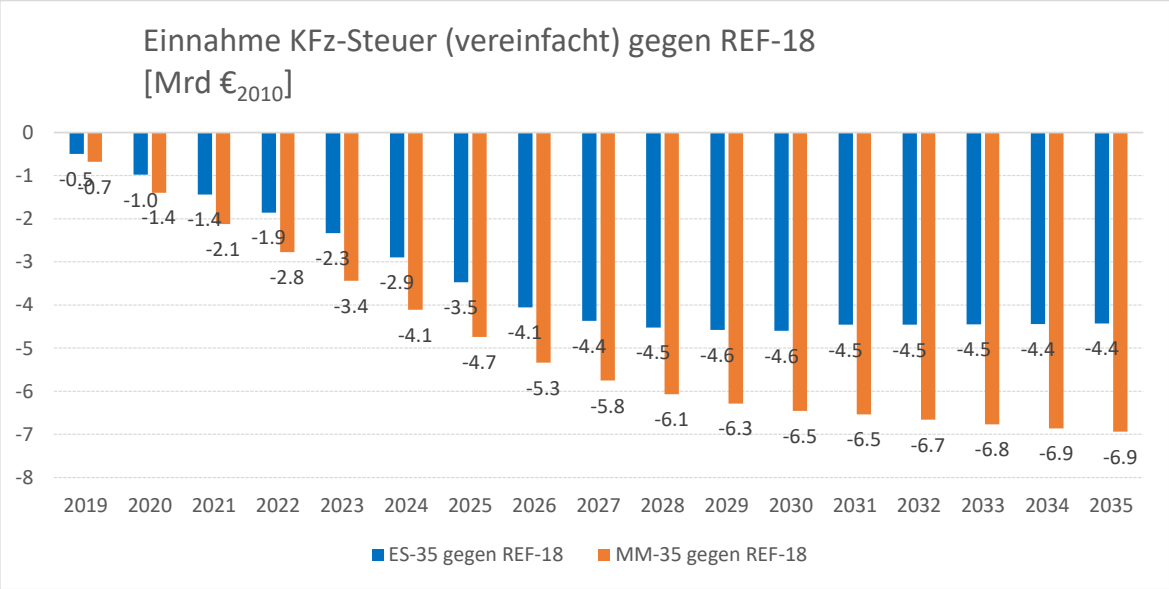
Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Die Veränderung in der Pkw-Flottenstruktur mit der Abkehr vom Verbrenner, der Elektrifizierung und der Verkleinerung der Pkw-Flotte als Bestandteile beider Szenarien nachhaltiger Mobilität führen zu einem Rückgang der staatlichen Einnahmen aus Verkehr, die den Energieverbrauch und die Pkw-Flotte als Bezugsgröße für die Besteuerung nutzen. Die CO_2-Effizienzsteigerung der Verbrenner und die Elektrifizierung führen zu einem Rückgang des Verbrauchs der fossilen Kraftstoffe und damit der Energiesteuereinnahmen, da der Anstieg der Stromsteuereinnahmen den Rückgang bei fossilen Kraftstoffen nicht kompensiert. Der Rückgang der Energiesteuereinnahmen bis 2025 liegt in den Szenarien in der Größenordnung von gut 11 bis knapp 14 Mrd. €$_{2010}$ und vergrößert sich bis 2035 auf 19 bis 20 Mrd. €$_{2010}$ gegenüber dem Niveau von 2018 (siehe Abbildung 5-58 oben). Die verkleinerte Pkw-Flotte, die CO2-Effizienzverbesserung der Verbrenner (verringert die CO_2-

Komponente der Kfz-Steuer) und die Elektrifizierung (E-Pkw zeitweise befreit von Kfz-Steuer) führen zu einer deutlichen Abnahme der Einnahmen aus der Kfz-Steuer (siehe Abbildung 5-58 unten). In der vereinfachten Rechnung der Kfz-Steuer mit grober Zuordnung der Steuersätze zur Flotte ergibt sich eine Reduktion von gut 4 bis 7 Mrd. €$_{2010}$ bis 2035 gegenüber 2018. Kumuliert liegt der Einnahmeausfall der Energiesteuer bei 201 Mrd. €$_{2010}$ bzw. 226 Mrd. €$_{2010}$ bis 2035 in ES-35 bzw. MM-35 jeweils gegenüber der Annahme eines gleichbleibenden Niveaus der Einnahmen aus dem Jahre 2018. Für die vereinfachte Abschätzung der Kfz-Steuer ergibt sich ein kumulierter Rückgang von 58 bzw. 83 Mrd. €$_{2010}$ bis 2035.

Abbildung 5-58: Entwicklung wichtiger Kategorien der Verkehrssteuern mit sinkenden Einnahmen gegen REF-2018



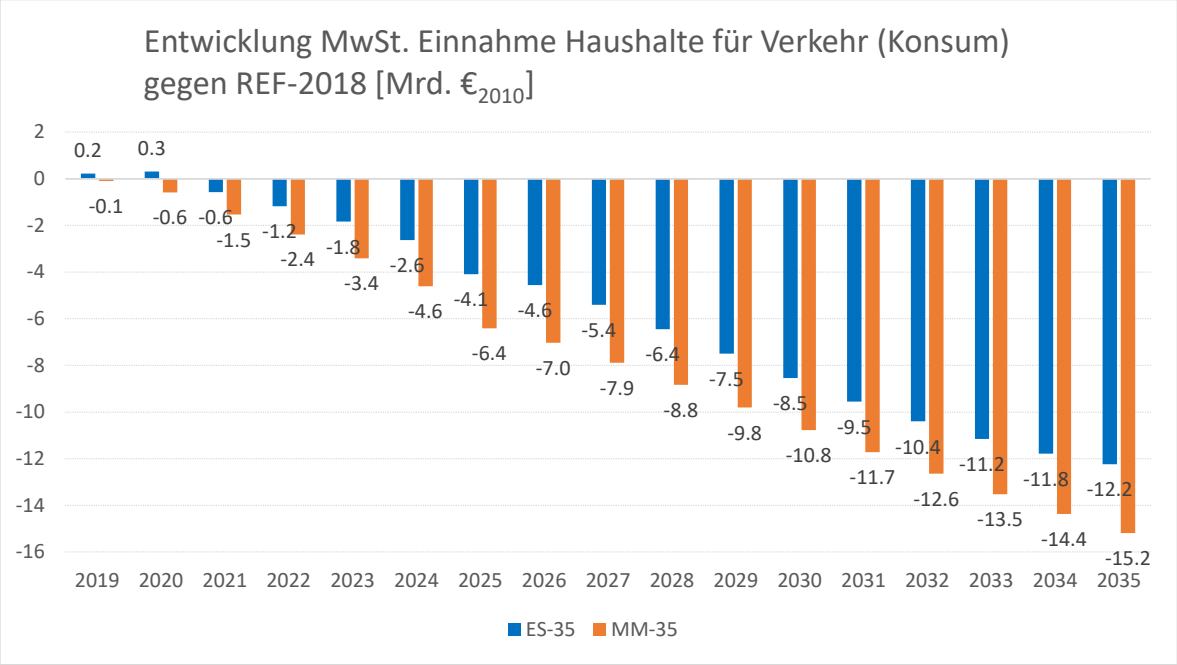


Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Die Ausgaben der privaten Haushalte für Güter und Dienstleistungen mit Verkehrsbezug führen zu MwSt.-Einnahmen des Staates. Dieser Verkehrskonsum umfasst z.B. den Kauf

neuer Pkw, den Kauf von ÖV-Tickets, von Kraftstoffen, die laufenden Beiträge zur Kfz-Versicherung oder die Wartungsausgaben. Zum einen wirkt sich hier der Rückgang von Pkw-Besitz und -Nutzung dämpfend aus, zum anderen die Verlagerung auf den öffentlichen Verkehr, der im Nahverkehr mit 7% MwSt. beaufschlagt ist.[34] Abbildung 5-59 zeigt, dass dadurch auch die MwSt.-Einnahmen aus Verkehr in den Szenarien nachhaltiger Mobilität bis 2035 deutlich sinken. Der Rückgang erreicht bis 2035 ein Niveau von 12 bis 15 Mrd. $€_{2010}$ gegenüber 2018.

Abbildung 5-59: Entwicklung der MwSt.-Einnahmen aus dem Verkehrssektor gegen 2018



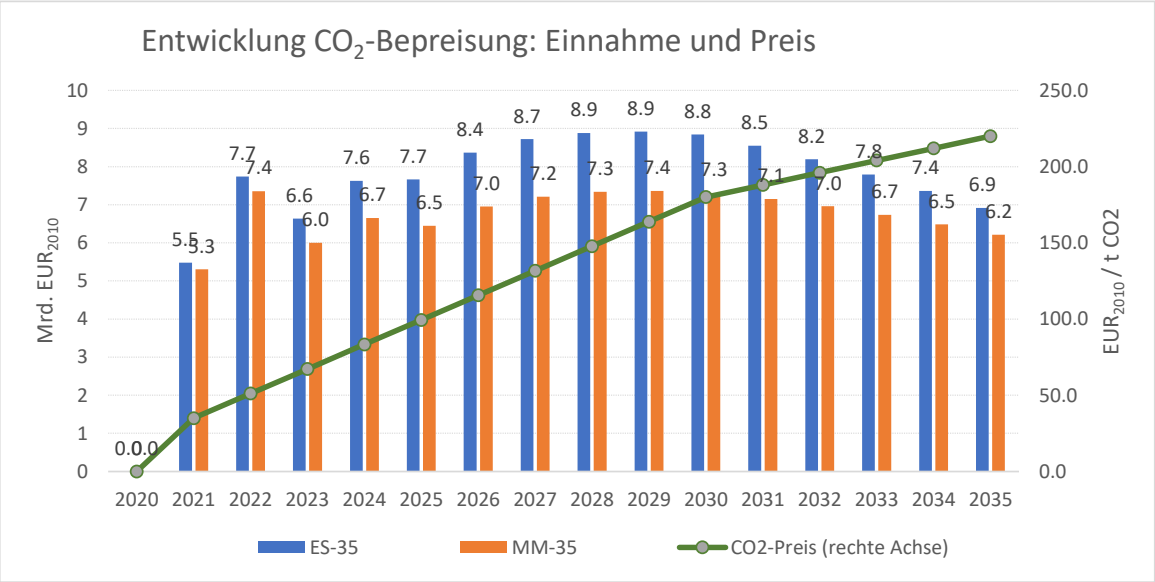
Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Diesen sinkenden staatlichen Einnahmen aus Verkehr stehen einige steigende oder neue Finanzströme aus dem Politikprogramm der Szenarien gegenüber. Insbesondere ist dies die neu eingeführte CO_2-Bepreisung ab 2020 sowie die Pkw-Maut ab 2025. Die folgende Abbildung 5-60 stellt die Entwicklung der Einnahmen aus der CO_2-Bepreisung nur für den Pkw-Verkehr dar. Es zeigt sich die Überlagerung zweier gegenläufiger Entwicklungen. Der von 35 auf 220 $€_{2010}/tCO_2$ kontinuierlich ansteigende CO_2-Preispfad führt zunächst bis 2029 zu einem Anstieg der Einnahmen auf bis zu 8.9 Mrd. $€_{2010}$. Parallel zum Preisanstieg sinkt aber der Bestand an fossil betriebenen Pkw, so dass sich der fossile Kraftstoffverbrauch verringert. Ab 2029 dominiert dieser Trend, so dass trotz des weiteren Anstiegs des CO2-Preises von gut 160 auf 220 $€_{2010}/tCO_2$ die Einnahme aus der CO2-Bepreisung deutlich zurückgeht. Wenn das Ziel einer vollständigen Dekarbonisierung aus dem Pkw-Verkehr in 2050 erreicht wird, würden die Einnahmen aus der CO_2-Bepreisung null betragen. Die CO_2-Bepreisung stellt somit nur ein vorübergehend einsetzbares Instrument im Verkehr dar. Für

34 Die Absenkung der Mwst. von 19% auf 7% im Fernverkehr der Bahn ab Anfang 2020 ist hier noch nicht berücksichtigt.

die Phase der Transformation zu einem dekarbonisierten Verkehrssystem ist es auf jeden Fall ein wichtiges Instrument. Es kann aber nicht das alleinige und zentrale Instrument im Personenverkehr sein.

Abbildung 5-60: Entwicklung der Einnahmen aus der CO_2-Bepreisung (Pkw)



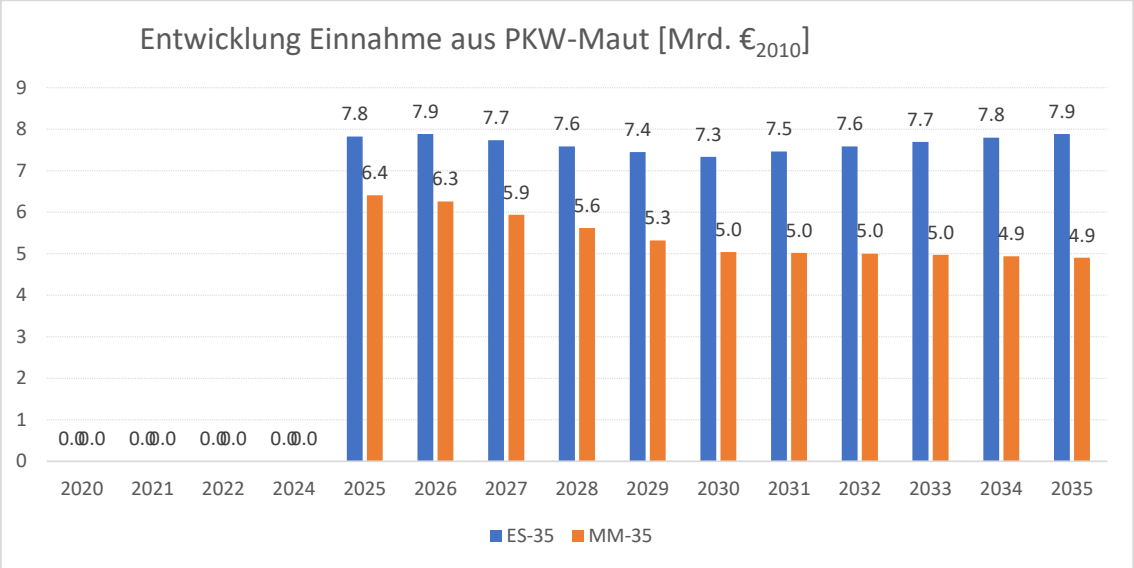
Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Langfristig sollte das zentrale Instrument mit Lenkungs- und Einnahmewirkung die Nutzerfinanzierung sein. Die Leitlinie „Getting the prices right“ zieht sich seit mehr als 20 Jahren durch die EU Politikstrategie für den Verkehr und ist in den letzten beiden EU Weißbüchern zur Verkehrspolitik (EC 2001, EC 2011) als ein zentraler Bestandteil der gemeinsamen Verkehrsstrategie verankert. Ziel ist eine angemessene Nutzerfinanzierung des Verkehrs unter Berücksichtigung der externen Kosten der Verkehrsträger. Andererseits ist dies auch der Bereich, der in Bewertungen der Umsetzung der europäischen Politikstrategie durch die Mitgliedsstaaten immer wieder die geringsten Fortschritte aufweist, insbesondere im Straßenverkehr. Die Einführung der Lkw-Maut in Deutschland in 2005 ist europaweit tatsächlich eine der wenigen positiven Ausnahmen des Einstiegs in die Nutzerfinanzierung auf der Straße. Bisher sprach vor allem eine gerechte Kostenanlastung, die verbesserte Steuerungsmöglichkeit zur Kapazitätsnutzung (Peak-Pricing) und die Beseitigung von Marktverzerrungen durch Internalisierung externer Kosten für die Nutzerfinanzierung. Die obige Diskussion zeigt, dass als neuer gewichtiger Grund die Finanzierung des Verkehrs bzw. seiner Infrastrukturen hinzukommt, da die bisher wichtigste Quelle der Energiesteuern aus Verkehr im Zuge der Transformation der Mobilität zurückgehen wird und auch die CO_2-Bepreisung, vorausgesetzt die Dekarbonisierung gelingt, nur vorübergehend zu Einnahmen führen wird. Deswegen wurde in das Politikprogramm auch die Einführung einer zunächst sehr moderaten Pkw-Maut[35]

35 Eine Maut ist immer km-basiert bzw. distanzabhängig. Hinzu können zeitabhängige Aufschläge kommen, um die Infrastrukturauslastung zu steuern.

aufgenommen, die in den beiden Szenarien zu 5 bis 8 Mrd. €$_{2010}$ Einnahmen pro Jahr führt (siehe Abbildung 5-61). Wie in Abbildung 5-57 gezeigt wurde, ist die Höhe der Maut noch nicht ausreichend, um die Verluste bei anderen Einnahmen aus dem Verkehr auszugleichen. Hier ist eine tiefergehende Analyse eines feiner als in dieser Studie detaillierten Politikprogramms zu empfehlen, um die Höhe und perspektivische Entwicklung der Pkw-Maut festzulegen und regelmäßig zu überprüfen.

Abbildung 5-61: Entwicklung der Einnahmen aus der Pkw-Maut



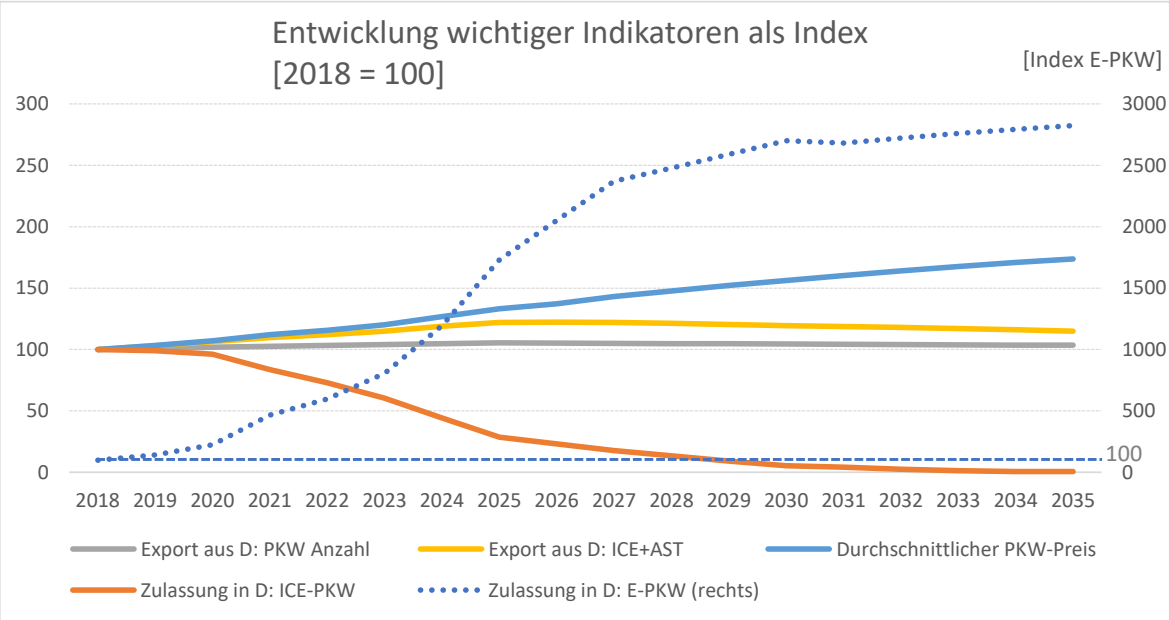
Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Die Analyse der staatlichen Einnahmen an Steuern und Abgaben aus dem Verkehr hat gezeigt, dass diese Einnahmen im Zuge der Transformation zu nachhaltiger Mobilität im Personenverkehr sinken werden. Die bisher im analysierten Politikprogramm eingesetzten Instrumente reichen nicht aus, um diese Abnahme zu verhindern. Gleichzeitig wachsen die Anforderungen an die Investitionen ins Verkehrssystem und die daran gekoppelte Energieversorgung. Bleibt die Finanzierung der Verkehrsinfrastrukturen wie bisher weiter eine staatliche Aufgabe, werden entweder Aufstockungen zum hier dargestellten Politikprogramm erforderlich, oder größere Teile der notwendigen Investitionen werden über andere Quellen des Haushalts finanziert werden müssen (Stichwort Steuerfinanzierung). Dies erscheint zumindest teilweise möglich, da durch das weitere BIP-Wachstum in den Szenarien nachhaltiger Mobilität und die daran angekoppelten staatlichen Einnahmen, wie die Einkommens- und MwSt.-Steuer zusätzliche Spielräume entstehen. Damit würde allerdings eine weitere Verschiebung der Finanzierung des Verkehrs vom nutzer-finanzierten Teil in den steuer-finanzierten Teil erfolgen. Das widerspräche wiederum den bereits lange proklamierten strategischen Zielen der EU- und damit auch der deutschen Verkehrspolitik zum Ausbau der Nutzerfinanzierung.

5.10 Sensitivitätsanalysen

Die Sensitivitätsanalysen sollen die Bedeutung für die Ergebnisse wichtiger Variablen der gesamtwirtschaftlichen Analyse erläutern. Als Einstieg in die Sensitivitätsanalysen sind zunächst einige Indikatoren aus ES-35 als Index gegenüber dem Zeitpunkt 2018 dargestellt (siehe Abbildung 5-62). Zwei zentrale Größen betreffen die Zulassung der Pkw nach Antriebsart in Deutschland. Bis 2030 sinkt die Zulassung von Pkw mit Verbrennungsmotor in Deutschland auf 10% des Wertes von 2018. Dagegen steigt die Zulassung elektrifizierter Pkw um über 2700%-Punkte gegenüber 2018. Der durchschnittliche Pkw-Preis aus Produktion in Deutschland erhöht sich um 73% bis 2035 gegenüber 2018. Dagegen bleibt die Zahl der aus Deutschland exportierten Pkw nahezu unverändert, wobei die Struktur sich deutlich ändert mit starken Abnahmen der Exporte nach Europa und starken Zunahmen der Exporte nach Afrika, Südamerika und Asien ohne China. Der Export der beiden Komponenten *Verbrennungsmotor* und *Antriebsstrang* ausgedrückt in Werteinheiten steigt bis 2026 leicht an, und fällt dann bis 2035 leicht ab, liegt aber in 2035 immer noch 14% über dem Niveau aus 2018.[36] Dies ergibt sich aus einer Kombination von veränderten Stückzahlen, die sich auch an den Exportmärkten der Pkw orientiert, einer Annahme der Verlagerung von 25% der Produktion der beiden Komponenten aus Deutschland in andere Länder sowie steigenden Preisen der Komponenten orientiert am generellen Index der Pkw-Exporte.

Abbildung 5-62: Entwicklung wichtiger Indikatoren aus der Sensitivitätsrechnung in ES-35



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

36 Von 2010 bis 2018 hatte sich der Export der Komponente Antriebsstrang aus Deutschland ungefähr verdoppelt. D.h. ein nur 14%-iges Wachstum von 2018 bis 2035 ist bereits ein massiver Trendbruch.

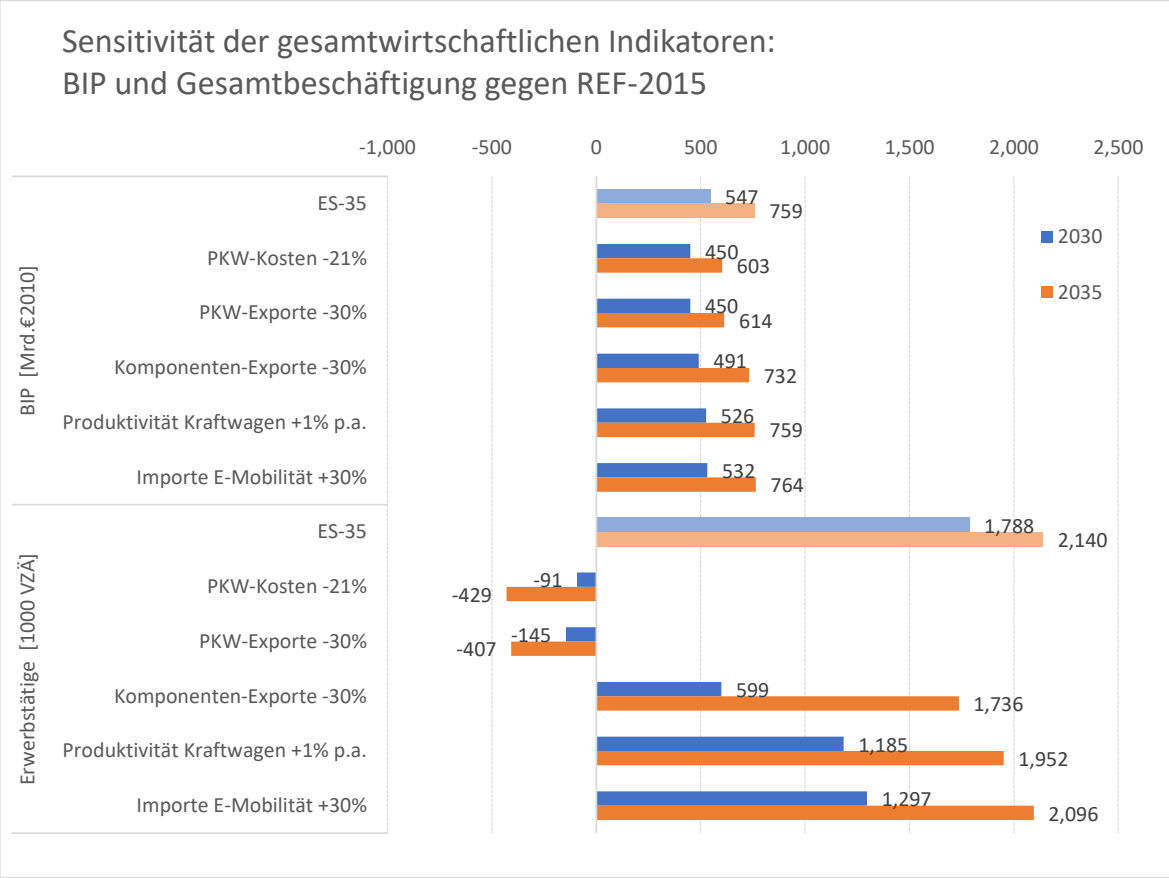
Als Sensitivitätsanalysen wurden Faktoren ausgewählt, die (1) anhand der obigen Indexveränderungen als wichtig identifiziert werden konnten, (2) die während der Modellierung bereits als stark wirkend erkannt wurden, oder (3) die in anderen ähnlich gelagerten Studien als wichtig erachtet wurden. Die folgenden fünf Sensitivitätsanalysen mit einem Fokus auf den Bereich der Pkw-Exporte und -Kosten sowie der Produktivität im Kraftwagenbau wurden durchgeführt:

- **Pkw-Kosten -21%**: sukzessive Verringerung der Pkw-Preise ab 2020 gegenüber dem Verlauf in ES-35 um 7% bis 2025 und um 21% bis 2035.
- **Pkw-Exporte -30%:** sukzessive Verringerung der **Anzahl** exportierter Pkw ab 2020 bis 2035. Bis 2025 10% Verringerung, in 2035 dann 30%. Wirkt auch dämpfend auf Komponenten-Exporte.
- **Komponenten-Exporte -30%:** sukzessive Verringerung der **wertmäßigen** Exporte von Komponenten ab 2020 bis 2035. Bis 2025 10% Verringerung, in 2035 dann 30%.
- **Produktivität Kraftwagen +1%:** Erhöhung der jährlichen Verbesserung der Produktivität im Sektor Kraftwagenbau um 1% ab 2020 bis 2035.
- **Importe E-Mobilität +30%:** Erhöhung der Importe von Komponenten der Elektromobilität, so dass jeweils 15% der Nachfrage in den Sektoren Elektrik (z.B. Batterie) und Kraftwagen (z.B. E-Pkw) zusätzlich importiert wird.

Die Sensitivitätsrechnung wurde anhand des Vergleichs mit den Ergebnissen des Szenarios ES-35 mit der Referenz im Jahr 2015 bewertet. Die Prozentangaben in der Bezeichnung der Sensitivitäten beziehen sich also auf Veränderungen gegenüber dem Verlauf in ES-35. Abbildung 5-63 zeigt die Ergebnisse für die gesamtwirtschaftlichen Indikatoren BIP und Gesamtbeschäftigung. Beide werden teils deutlich in der Sensitivitätsrechnung verändert. Die beiden stärksten Einflüsse erfolgen durch die Kosten- bzw. Preisentwicklung der Pkw und durch die Anzahl exportierter Pkw. Die Sensitivität Pkw-Kosten -21% führt beim BIP zu einer Reduktion von -4.2% gegenüber ES-35 und bei der Gesamtbeschäftigung von -7%. Damit ist der Pkw-Preis der stärkste Einflussfaktor für die gesamtwirtschaftliche Entwicklung. Anders ausgedrückt: gelingt es der deutschen Automobilindustrie wie in der Vergangenheit die Pkw werthaltiger zu entwickeln und zu verkaufen, z.B. durch zusätzliche Assistenzsysteme, besondere Eigenschaften der Batterien, besondere Leichtbau-eigenschaften oder Komfort-Merkmale, dann ergibt sich das Szenario ES-35. Gelingt dies nicht, sondern läge die Werthaltigkeit und damit Kosten und Preise um 21% niedriger als in ES-35, dann ergäbe sich die Entwicklung wie in der dargestellten Sensitivität.

Die Sensitivität mit Reduktion der Anzahl in Deutschland produzierter und dann exportierter Pkw um 30% führt zu einem BIP-Verlust von 3.9% gegenüber ES-35 in 2035 und zu einer Reduktion der Erwerbstätigen (VZÄ) um 6.9%.

Abbildung 5-63: Sensitivitätsrechnung für BIP und Gesamtbeschäftigung - in ES-35 gegen REF-2015



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Neben den gesamtwirtschaftlichen Sensitivitäten ist eine Betrachtung der sektoralen Sensitivität der Beschäftigung wichtig für die Einordnung der Ergebnisse. Dafür wurden die Sensitivitäten von drei Sektoren ausgewertet: Kraftwagenbau, Elektrik und Kfz-Handel (siehe Abbildung 5-64). Der Sektor Kraftwagenbau gehört zu den Sektoren, die gegenüber REF-2015 eine negative Beschäftigungsentwicklung in ES-35 aufweisen, während der Sektor Elektrik eine positive Entwicklung nimmt. Damit sind zwei gegensätzliche Pole in den Szenarien erfasst. Hinzugenommen wurde noch der Sektor Kfz-Handel, um auch einen Dienstleistungssektor zu prüfen.

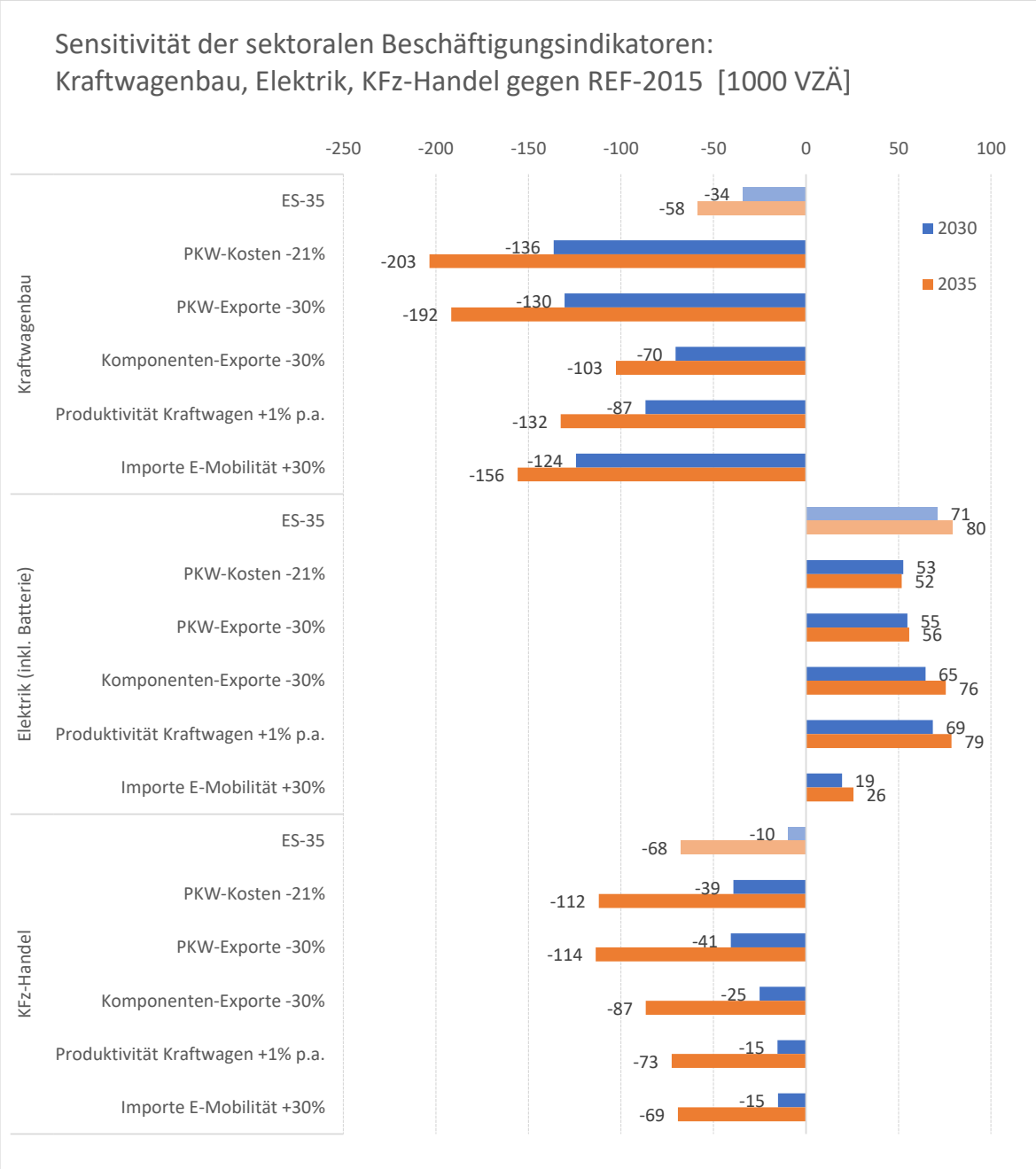
Auf der sektoralen Ebene liegen, wie erwartet, die Veränderungen in den Sensitivitäten deutlich höher als auf der gesamtwirtschaftlichen Ebene. Gesamtwirtschaftlich liegen bei der Beschäftigung die größten Effekte bei einer Änderung von 7%, während auf der sektoralen Ebene fast 27% erreicht werden. Der Kraftwagenbau ist von allen Szenarien stark betroffen. Am geringsten mit einer Abweichung von -8.1% zu ES-35 in 2035 fällt die Veränderung durch verringerte Exporte von Komponenten (*Komponenten-Exporte -30%*) aus. Der Verlust an Erwerbstätigen (VZÄ) in 2035 gegenüber 2015 erhöht sich von -58 Tausend um -45 Tausend auf -103 Tausend (siehe Abbildung 5-64). Die Erhöhung der Produktivität im Kraftwagenbau um +1% pro Jahr führt zu einer Veränderung der Erwerbstätigen (VZÄ) um -13.6% gegenüber ES-35, bzw. in absoluten Zahlen einer Reduktion von 132 Tausend Erwerbstätigen (VZÄ) im Kraftwagenbau gegenüber 2015. Das

entspricht 22% und damit gut einem Fünftel der Beschäftigten des Kraftwagenbaus in 2015. Der Effekt der gesteigerten Importe der E-Mobilität bei Batterien und E-Pkw um 15% fällt mit -19.7% gegenüber ES-35 in 2035 noch deutlicher aus. Gegenüber 2015 betrüge der Verlust an Erwerbstätigen (VZÄ) im Kraftwagenbau dann 156 Tausend. Auch im Kraftwagenbau führen die Sensitivitäten der Reduktion der Pkw-Kosten und -Preise und der Pkw-Exporte zu den stärksten Effekten. Mit einer Reduktion von -26.6% der Erwerbstätigen (VZÄ) im Kraftwagenbau gegen ES-35 fällt der Effekt der Pkw-Kostenreduktion um -21% am stärksten aus, gefolgt vom Effekt der Reduktion der Pkw-Exporte um 30% mit 24.5% weniger Erwerbstätigen (VZÄ). Gegenüber 2015 verringert sich die Zahl der Erwerbstätigen (VZÄ) im Kraftwagenbau bei den verringerten Pkw-Kosten um 203 Tausend und bei den verringerten Pkw-Exporten um 192 Tausend.

Für den Sektor Elektrik unterscheidet sich die Bedeutung der verschiedenen Sensitivitäten im Vergleich mit dem Kraftwagenbau. In allen Sensitivitätsrechnungen verbleibt ein Zuwachs an Beschäftigung gegenüber 2015. Den stärksten negativen Effekt hat für diesen Sektor aber die Sensitivität der gesteigerten Importe für E-Mobilität um 15%. Hier verliert der Sektor Elektrik 25% seiner Erwerbstätigen im Vergleich mit ES-35, bzw. gegenüber 2015 steigt die Zahl der Erwerbstätigen (VZÄ) nur um 26 Tausend und nicht um 80 Tausend wie in ES-35 (siehe Abbildung 5-64). Die Veränderungen der Pkw-Kosten- und der Pkw-Exporte-Sensitivität liegen in der Größenordnung von 24 bis 28 Tausend weniger Erwerbstätigen (VZÄ) gegenüber ES-35 in 2035 (10-11%), und für Komponenten-Export und Produktivität Kraftwagen bei 1 bis 4 Tausend (ca. 1%).

Die Effekte der Sensitivitäten im Kfz-Handel liegen deutlich niedriger als in den anderen beiden Sektoren mit 0.3% bis 5.2% Reduktion der Erwerbstätigen (VZÄ) gegenüber ES-35 in 2035. Dies zeigt, dass der Sektor nur indirekt von den betrachteten Sensitivitäten betroffen ist. Aufgrund der Größe des Sektors hinsichtlich der Zahl der Erwerbstätigen kann aber der absolute Verlust der Erwerbstätigen (VZÄ) mit bis zu 46 Tausend durch die Sensitivität zusätzlich gegenüber 2015 verlorengehenden Arbeitsplätzen fast genauso hoch ausfallen wie z.B. im Sektor Elektrik. Bei Verringerung der Pkw-Exporte um 30% gäbe es dann 114 Tausend Erwerbstätigen (VZÄ) weniger im Sektor Kfz-Handel als in 2015 (siehe Abbildung 5-64).

Abbildung 5-64: Sensitivitätsrechnung für die sektorale Beschäftigung ausgewählter Sektoren - in ES-35 gegen REF-2015



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Tabelle 5 fasst die prozentualen Veränderungen der gesamtwirtschaftlichen und der sektoralen Indikatoren für die fünf Sensitivitätsrechnungen zusammen. Es wird nochmals deutlich, dass die größten Effekte im Kraftwagenbau entstehen, durch verringerte Pkw-Preise, Pkw-Export oder gesteigerte Importe bei der E-Mobilität (-19.7% bis -26.6%). In ähnlicher Größenordnung ist sonst nur noch der Effekt gesteigerten Importe bei der E-Mobilität auf den Sektor Elektrik (-25%).

Tabelle 5: Zusammenfassung der prozentualen Abweichungen von ES-35 in 2035 durch die Sensitivitätsrechnungen

Sensitivität	Gesamt-wirtschaftliche Sensitivität		Sektorale Sensitivität		
			Kraftwagen bau	Elektrik	Kfz-Handel
	BIP	EWT	EWT	EWT	EWT
Pkw-Kosten -21%	-4.2%	-7.0%	-26.6%	-11.8%	-5.1%
Pkw-Exporte -30%	-3.9%	-6.9%	-24.5%	-10.1%	-5.2%
Komponenten-Exporte -30%	-0.7%	-1.1%	-8.1%	-1.7%	-2.1%
Produktivität Kraftwagen +1% p.a.	0.0%	-0.5%	-13.6%	-0.4%	-0.5%
Importe E-Mobilität +30%	0.2%	-0.2%	-19.7%	-25.0%	-0.3%

Quelle: eigene Berechnungen, M-Five, ASTRA-HBS

Die durchgeführten Sensitivitätsanalysen dienten alle der Prüfung, um wieviel negativer die Wirkungsabschätzungen der Szenarien nachhaltiger Mobilität ausfallen würden, wenn bestimmte Trends mit Wirkung auf die Automobilindustrie ungünstiger als in der vorliegenden Modellierung entwickelt und angenommen ausfallen. Es sind auch weitere Sensitivitätsanalysen vorstellbar und zu empfehlen, mit denen sich in der intuitiven Erwartung ein positiveres Ergebnis einstellen würde. Dazu gehört z.B. ein zusätzlicher Export-Impuls von Fern-, U-/S-Bahn-Zügen oder Trams in MM-35, der Export von Konzepten nachhaltiger Mobilitätsdienstleistungen als Folge der Entwicklung eigener Kompetenzen in neuen Mobilitätsdienstleistungen oder der Export von innovativen kombinierten IT-&Mobilitäts-Technologien unter Einhaltung von hochwertigen Datenschutzrichtlinien.

5.11 Synthese der gesamtwirtschaftlichen Analyse

Die Synthese ist in drei Bereiche gegliedert: (1) Aussagen zur gesamtwirtschaftlichen Wirkung, (2) Erkenntnisse zur Beschäftigungswirkung, und (3) eine methodische Reflexion.

5.11.1 Gesamtwirtschaftliche Wirkungen

Die Umsetzung der Szenarien nachhaltiger Mobilität erfordern ein deutlich verändertes Investitionsprogramm gegenüber der Struktur von 2015. Dazu gehören steigende Investitionen in ÖV- und Rad-Infrastrukturen, Ladesäulen- und Netzausbau für die E-Mobilität, Fahrzeuge für den ÖPNV, F&E und Erstellung von Produktionsanlagen für neue Technologien im Fahrzeugbereich, d.h. für Batteriezellen und -pakete, für Halbleiter und Assistenzsysteme. Der Verlauf der Investitionen wird ab 2018 für die Szenarien variiert.

Tabelle 6 stellt die kumulierten Investitionen gruppiert für vier in den beiden Szenarien relevante Bereiche des Verkehrssystems dar. Dabei wurden die jährlichen Werte über die Periode 2019 bis 2035 aggregiert. In ES-35 ergeben sich für die *Verkehrsnetze* Investitionen von 476 Mrd. $€_{2010}$. Aufgrund des stärkeren Ausbaus des ÖPNVs in MM-35 erhöht sich die kumulierte Investition in Verkehrsnetze auf 537 Mrd. $€_{2010}$. Der zweitgrößte investive Bereich dient der *Stromversorgung des Verkehrs* mit dem Auf- und Ausbau von Erzeugungsanlagen, Verteilnetzen und Ladestationen. Dieser fällt im Elektrifizierungsszenario ES-35 erwartungsgemäß mit 123 Mrd. $€_{2010}$ deutlich größer aus als in MM-35 mit 72 Mrd. $€_{2010}$. *ÖV-Fahrzeuge & Stationen* (d.h. Bahnhöfe, Bus-Terminals) liegen in beiden Szenarien gleichauf mit 70 Mrd. $€_{2010}$. In der Struktur unterscheiden sie sich deutlich, da in ES-35 Investitionen in Bus-Systeme deutlich höher liegen und in MM-35 der Fokus auf Bahn-Systemen liegt. Außerdem wurden zusätzliche Investitionen[37] für szenario-spezifische innovative Technologiebereiche berücksichtigt, die zum einen dem Aufbau einer *Batteriezellproduktion* in Deutschland dienen und zum anderen dem Aufbau einer *Halbleiterproduktion* beides gestützt auf zusätzliche *F&E* Aufwendungen. Hier ist eine zusätzliche Investition von 18 Mrd. $€_{2010}$, die auch einen Bestandteil der steigenden Fahrzeugpreise bildet. Zum Vergleich der Größenordnungen sei hier noch auf die Investitionen in Straßenfahrzeuge (d.h. Pkw und NFz ohne Busse) in Deutschland über den Zeitraum von 2010 bis 2018 hingewiesen, welche 408 Mrd. $€_{2010}$ betrugen. Dies macht deutlich, dass zwar Infrastrukturen oft als größter Block der Investition ins Verkehrssystem diskutiert werden, tatsächlich aber die Investition in Fahrzeuge größer ist.

Tabelle 6: Investitionsprogramm für Personenverkehr 2019 bis 2035 nach Bereichen

Investitionen nach Bereichen in Mrd. $€_{2010}$	ES-35	MM-35
Verkehrsnetze	476	537
ÖV-Fahrzeuge & Stationen	70	70
Stromversorgung des Verkehrs	123	72
Batteriezelle & Halbleiter	18	18

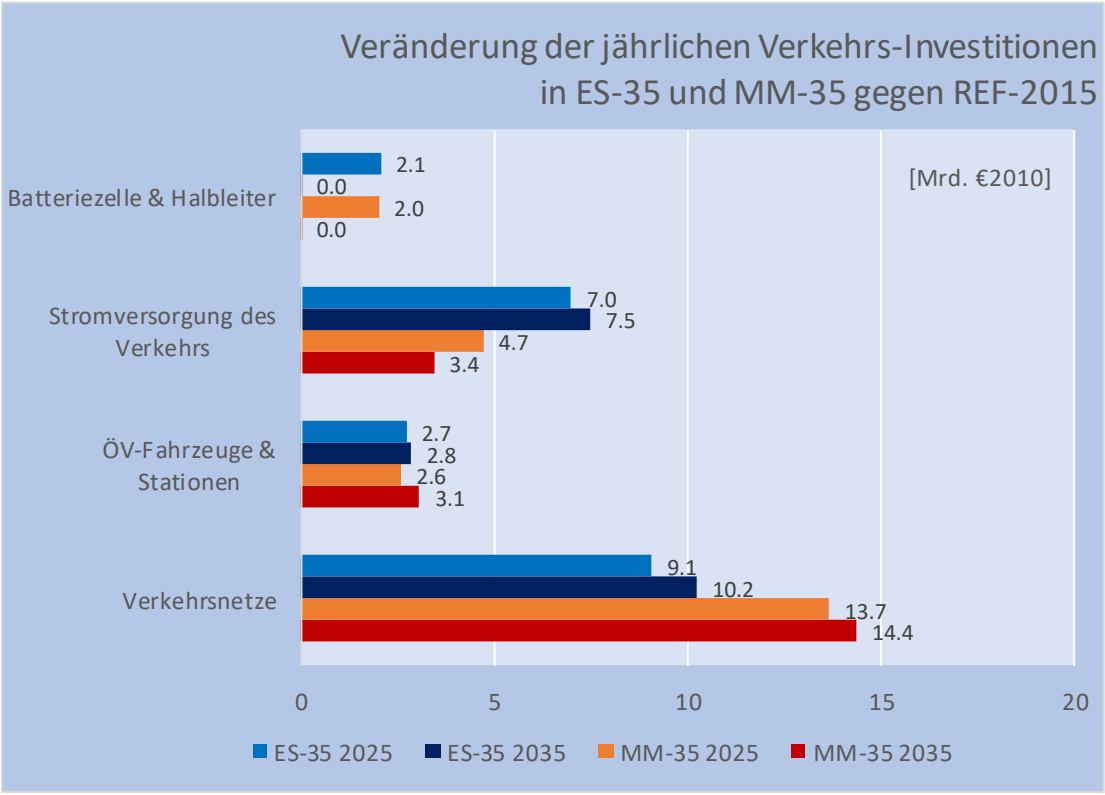
Quelle: eigene Berechnungen, M-Five, ASTRA-HBS

Abbildung 5-65 stellt die Veränderung der **jährlichen** Investitionen in den vier Bereichen gegenüber dem Status-quo in 2015 (REF-2015) dar. Hier ergibt sich dieselbe Struktur: MM-35 liegt mit um die 14 Mrd. $€_{2010}$ zusätzlichen Investitionen in Verkehrsnetze um rund 4

37 „Zusätzlich“ bedeutet, dass hier nicht angestrebt wurde den gesamten Investitionsbedarf zu quantifizieren. Sonst hätte auch der vermiedene Investitionsaufwand der Automobilindustrie für auslaufende Technologien abgeschätzt und mit dem gesamten Aufwand für Innovationen saldiert werden müssen. Stattdessen ist für diese innovativen Technologien eine aus aktuellen Projekten ableitbare Investitions-Anstrengung als zusätzlich unterstellt worden.

Mrd. €$_{2010}$ höher als ES-35, während ES-35 mit gut 7 Mrd. €$_{2010}$ zusätzlichen Investitionen in die Stromversorgung des Verkehrs um etwa 3 Mrd. €$_{2010}$ höher liegt als MM-35.

Abbildung 5-65: Veränderung der jährlichen Investitionen für Personenverkehr in den Szenarien gegen REF-2015 (ohne Pkw)

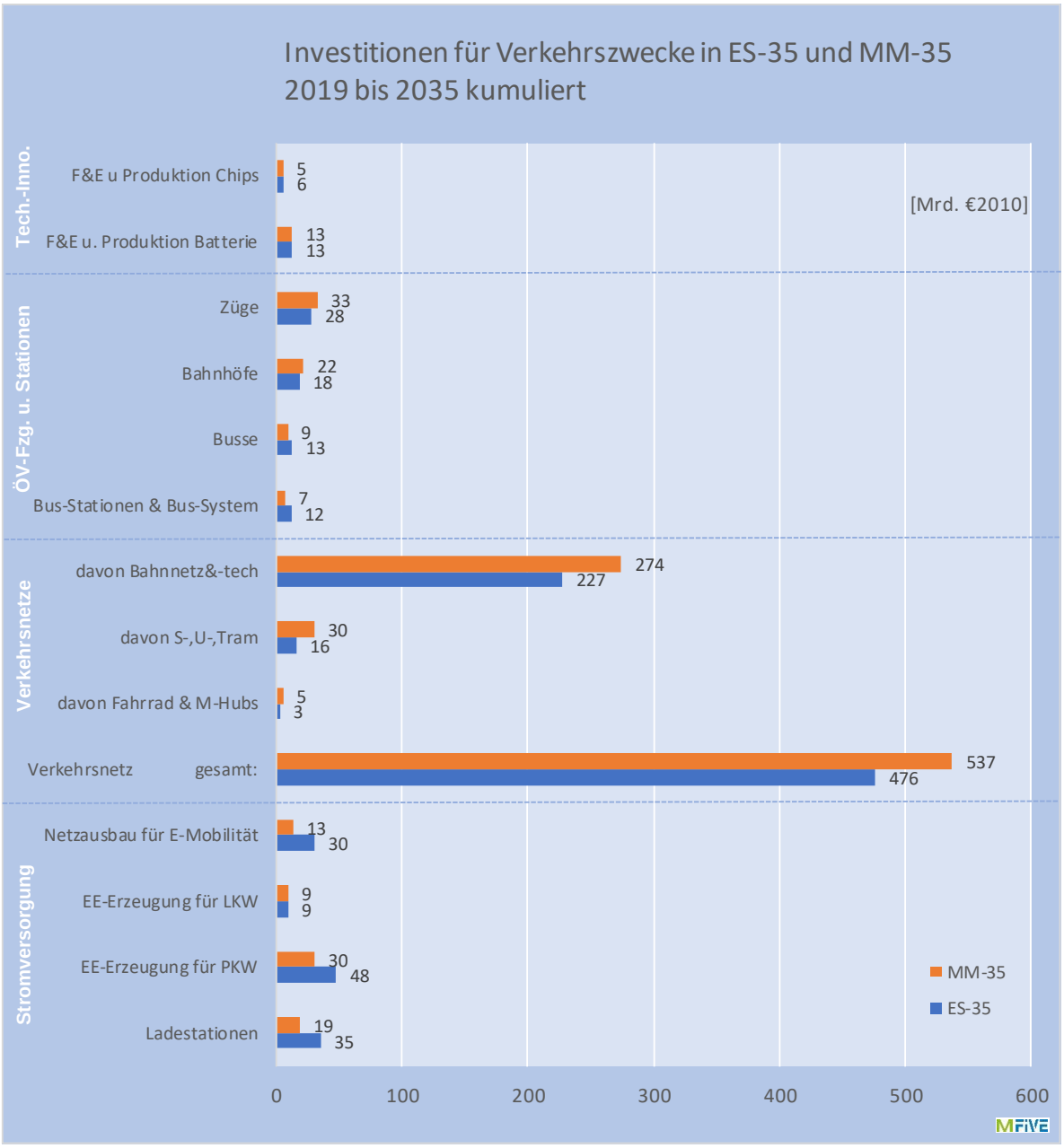


Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Abbildung 5-66 schlüsselt die kumulierten Investitionen der vier Bereiche weiter auf. Es wird deutlich, dass der große Unterschied zwischen ES-35 und MM-35 bei den Verkehrsnetzen durch die Bahnnetze & Technologien resultiert (47 Mrd. €$_{2010}$), sowie durch den Ausbau der Netze für S-/U-/Trambahnen (14 Mrd. €$_{2010}$). Dabei beinhaltet der Bereich Bahnnetze & Technologien Netzinfrastrukturen wie den Ausbau der großen Knoten in Deutschland, die Realisierung der Flächenbahn, etc. und die Ausstattung der Infrastruktur mit innovativen Steuerungstechnologien (z.B. ETCS Level 2 oder höher).

Auch die Verschiebung im Bereich ÖV-Fahrzeuge & Stationen mit dem Fokus auf Bus-Systeme in ES-35 (jeweils 4-5 Mrd. €$_{2010}$ höher als in MM-35) und auf Bahn-Systeme in MM-35 (jeweils 4-5 Mrd. €$_{2010}$ höher als in ES-35) wird offensichtlich. Die Investitionen in die Stromversorgung in ES-35 liegt ungefähr doppelt so hoch für den Netzausbau und die Ladestationen als in MM-35. Der Investitionsbedarf an EE-Erzeugungsanlagen ist über 50% höher in ES-35 als in MM-35.

Abbildung 5-66: Veränderung der kumulierten Investitionen für Personenverkehr in den Szenarien gegen REF-2015 (ohne Pkw)



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

In Deutschland ist das reale BIP in den letzten 18 Jahren (2000 bis 2018) im Durchschnitt um 1,3% pro Jahr (Compound Annual Growth Rate, CAGR) gewachsen.[38] In ES-35 beträgt die CAGR für die nächsten 16 Jahre von 2019 bis 2035 1.2%, und in MM-35 1.1%.[39] Ein Unterschied von 0.2% in der CAGR ist allerdings nicht vernachlässigbar, sondern bedeutet in absoluten Zahlen in 2035 eine Differenz des BIP in Deutschland von gut 110 Mrd. $€_{2010}$.

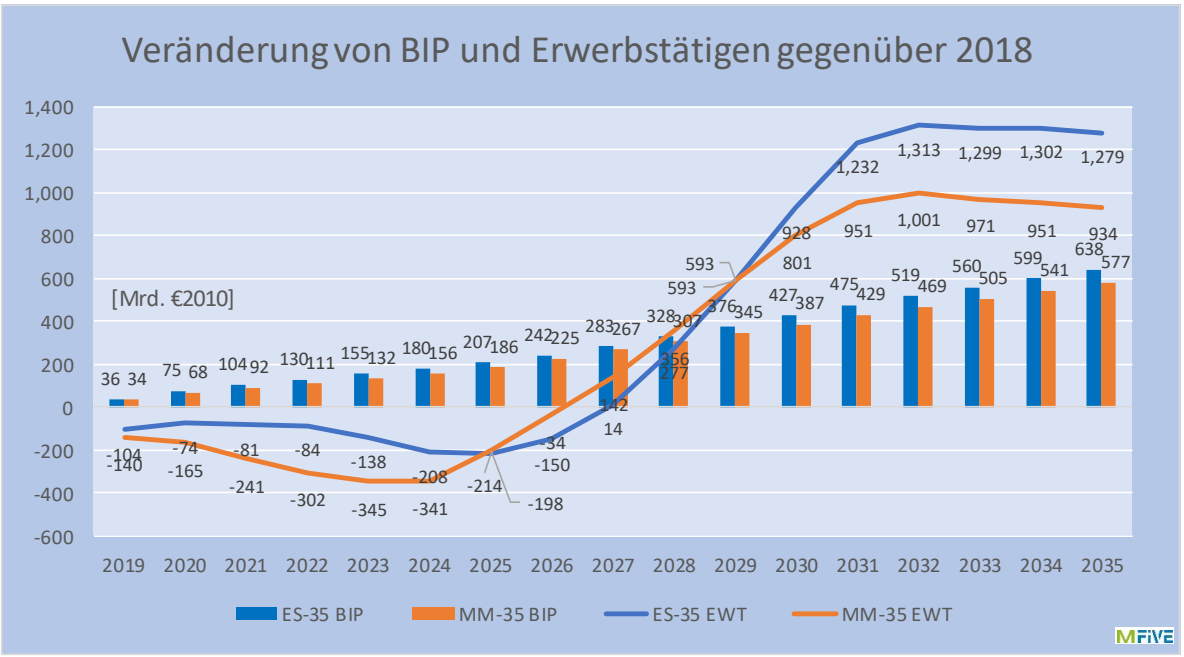
38 Zur historischen Entwicklung des BIP und des Volkseinkommens siehe auch DeStatis (2019a).

39 Gerundet. Ohne Rundung wäre die Differenz der CAGR kleiner, statt 0.1% dann 0.084%.

In ES-35 beträgt der absolute Zuwachs des BIP von 2018 bis 2035 638 Mrd. €$_{2010}$ und in MM-35 577 Mrd. €$_{2010}$ (siehe Abbildung 5-67). Der durchschnittliche absolute jährliche Zuwachs des BIP betrug von 2000 bis 2018 43 Mrd. €$_{2010}$. Das durchschnittliche jährliche absolute Wachstum des BIP sinkt in ES-35 auf 38 Mrd. €$_{2010}$ und in MM-35 auf 34 Mrd. €$_{2010}$.

Die Zahl der gesamten Erwerbstätigen (VZÄ) zeigt eine vom kontinuierlich wachsenden BIP abweichende Entwicklung. Zunächst sinkt die Zahl bei steigendem BIP, da für den Investitionshochlauf von 2019 bis 2024 mehr Tätigkeiten mit höherer Wertschöpfung und Produktivität anfallen, während im Dienstleistungsbereich ein leichter Rückgang der Erwerbstätigen entsteht. D.h. es ergibt sich eine leichte Verschiebung der Verteilung der Wertschöpfung von Sektoren mit im Mittel niedrigerer Produktivität zu Sektoren mit höherer Produktivität. Auch nach 2024 werden zusätzliche Ingenieure und Facharbeiter (z.B. im Elektrik- oder im Bau-Sektor) benötigt, und es entsteht zusätzliche Nachfrage in den Mobilitätsdienstleistungen (Sektor Landverkehr) sowie in sonstigen Dienstleistungen. Diese weisen tendenziell eine unterdurchschnittliche Arbeitsproduktivität auf, so dass die Zahl der Erwerbstätigen zu steigen beginnt und in ES-35 ein Zuwachs von 1.3 Mio. Erwerbstätigen (VZÄ) abgeschätzt wird. In MM-35 ist die grundsätzliche Beschäftigungsdynamik vergleichbar mit ES-35. Aufgrund der schwächeren BIP Dynamik liegt in MM-35 der Zuwachs an Erwerbstätigen in den 2030ern bei knapp 1 Mio.

Abbildung 5-67: Veränderung von BIP und Zahl der Erwerbstätigen (VZÄ) in den Szenarien gegen 2018[40]



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

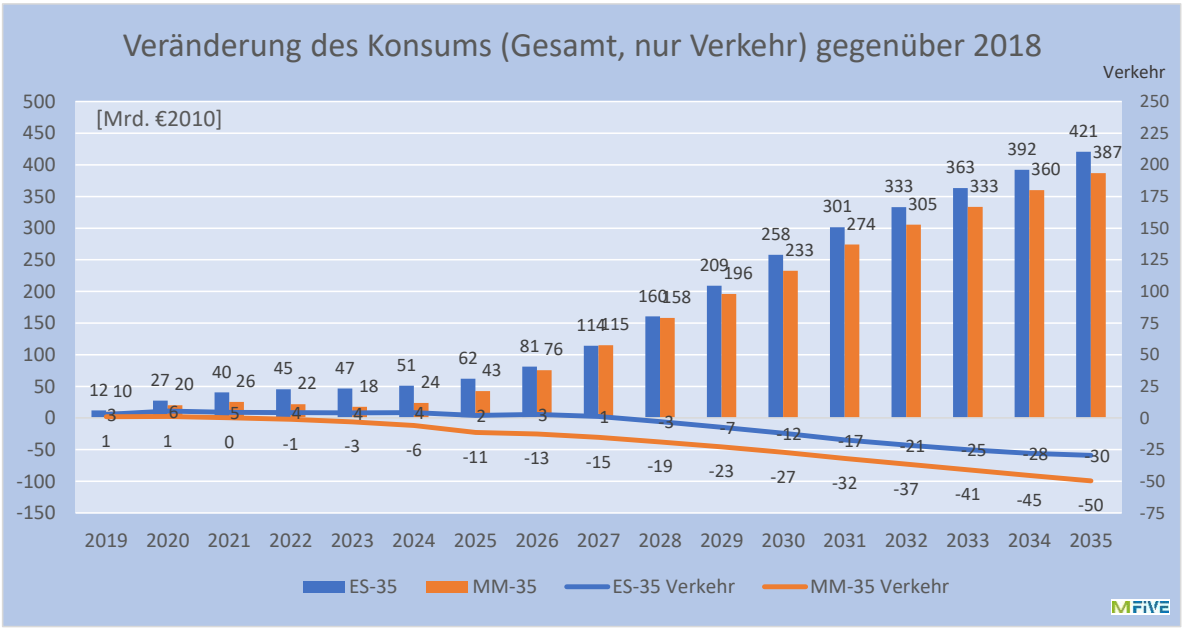
40 Die Skala ist gleich für BIP und Erwerbstätige, aber die Einheiten sind verschieden.

Die dritte gesamtwirtschaftlich bedeutsame Größe nach BIP und Zahl der Erwerbstätigen ist der Konsum, d.h. die Ausgaben der privaten Haushalte. Der Konsum wird in ASTRA-HBS (wie in allen Modellen der ASTRA Modellfamilie) netto ohne Steuern (MwSt., Energiesteuer, etc.) modelliert. Etwas mehr als die Hälfte des BIP entfällt auf den Konsum und dieser Anteil ist in der Tendenz bis 2035 ansteigend.

Abbildung 5-68 stellt die Entwicklung des Konsums gegenüber 2018 in den beiden Szenarien nachhaltiger Mobilität dar. In 2035 liegt der Konsum in ES-35 um 421 Mrd. $€_{2010}$ höher als 2018. In MM-35 beträgt der Anstieg des Konsums 387 Mrd. $€_{2010}$. Die jährliche Wachstumsrate liegt mit 1.3% CAGR über der des BIP. Dieser Effekt ist unter anderem auf die steuerliche Entlastung im Verkehrsbereich zurückzuführen in dem eine Verschiebung von Gütern mit einer MwSt.-Belastung von 19% (z.B. Pkw, fossile Kraftstoffe) zu Gütern und Dienstleistungen mit MwSt.-Belastung von 7% (ÖV-Leistungen) erfolgt, so dass ein größerer Teil des vom BIP abhängenden verfügbaren Einkommens für den tatsächlichen Konsum zur Verfügung steht. Außerdem sinkt die Energiesteuerbelastung der Haushalte durch effizientere Fahrzeuge und die zunehmende Nutzung elektrifizierter Pkw.

Aber nicht nur die steuerliche Belastung des Konsums für Verkehr sinkt, sondern auch die Konsumausgaben für Verkehr direkt gehen zurück (siehe Abbildung 5-68, rechte Achse). In ES-35 beträgt der Rückgang in 2035 30 Mrd. $€_{2010}$ und in MM-35 sogar 50 Mrd. $€_{2010}$. Das Einkommen, welches die Haushalte nicht für Verkehr ausgeben, werden Sie wiederum für andere Sektoren des Konsums ausgeben. Eine Veränderung der Sparquote wurde hier nicht exogen eingeführt. Dieser Rückgang der Ausgaben für Verkehr lässt sich auch mit dem Rückgang des privaten Pkw-Besitzes und dem Umstieg auf ÖV und Rad erklären. Pro gefahrenen Kilometer sind die Kosten des ÖV oder Fahrrades niedriger als bei Berücksichtigung aller Kosten des Pkws, wie sie automatisch in einer gesamtwirtschaftlichen Betrachtung erfolgt (bzw. erfolgen sollte). Letztendlich ist es die spiegelbildliche Reaktion zum Rückgang der Nachfrage nach Pkw und damit gekoppelten Leistungen, dass diese Ausgaben in anderen Sektoren getätigt werden, d.h. sowohl in Mobilitätsdienstleistungen als auch in Sektoren wie Einzelhandel, Hotels und Gaststätten, DV-Geräte und -Dienstleistungen, etc.

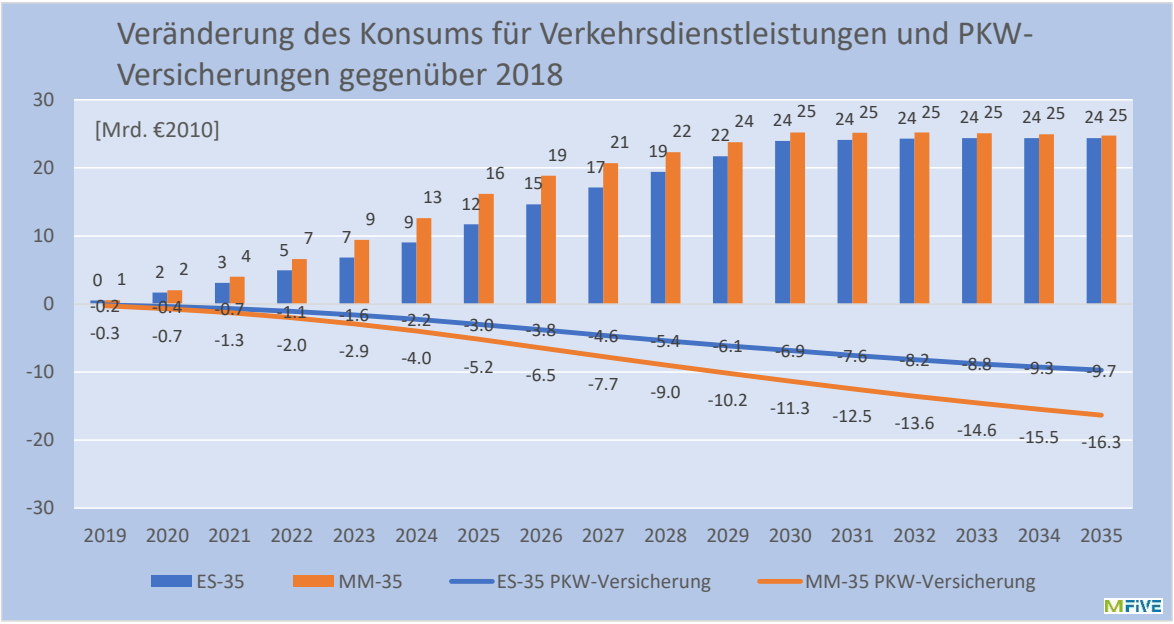
Abbildung 5-68: Veränderung des Konsums insgesamt und für den Verkehr in den Szenarien gegen 2018



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Während andere verkehrsbezogene Konsumausgaben der privaten Haushalte zurückgehen steigt der Konsum von Verkehrsdienstleistungen in beiden Szenarien bis 2030 kontinuierlich über das Niveau von 2018 an und erreicht in 2030 ein Plateau von zusätzlich 24 Mrd. $€_{2010}$ in ES-35 und von 25 Mrd. $€_{2010}$ in MM-35 (siehe Abbildung 5-69). Im Gegenzug sinken die Ausgaben für Versicherung, Energie und Wartung wegen des Rückgangs und der Elektrifizierung der privaten Pkw-Flotte. Beispielhaft ist hier die Einsparung bei privaten Pkw-Versicherungen dargestellt, die in ES-35 ein Niveau von -10 Mrd. $€_{2010}$ erreicht, welches in MM-35 bereits in 2029 erreicht wird. Dort sinken die Konsumausgaben für Pkw weiter und die Einsparung gegenüber 2018 erreicht 2035 über 16 Mrd. $€_{2010}$.

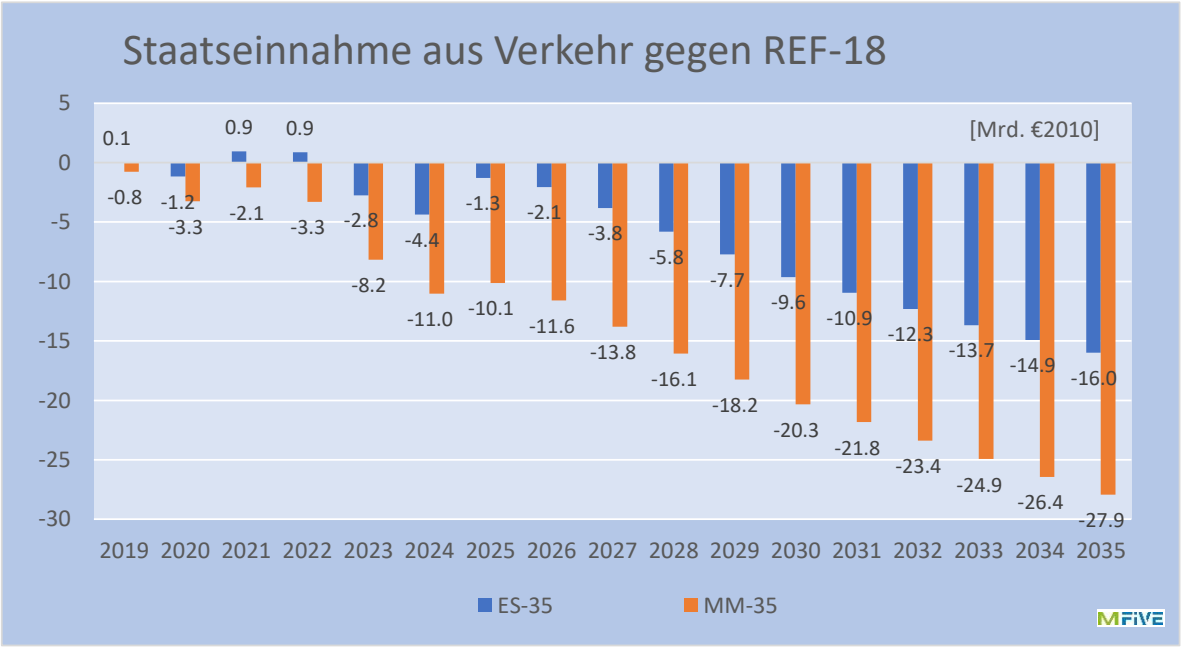
Abbildung 5-69: Veränderung der Konsumausgaben für Verkehrsdienstleistungen und Pkw-Versicherungen in den Szenarien gegen 2018



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Bereits bei der Diskussion der Ergebnisse des gesamtwirtschaftlichen Konsums wurde deutlich, dass sich in den Szenarien nachhaltiger Mobilität die staatliche Einnahmesituation deutlich verändern wird. Abbildung 5-70 stellt die Steuer- und Gebühreneinnahmen aus dem Verkehr dar. Enthalten sind die Einnahmen aus der Energiesteuer (fossile Kraftstoffe (flüssig, gasförmig), Strom), der Maut (Pkw, Lkw), EEG aus Verkehr, Kfz-Steuer (vereinfacht), CO_2-Preis und MwSt. auf Konsumausgaben für Verkehr (ÖV-Tickets, Pkw; Kraftstoffe, Pkw-Versicherung und Wartung). Diese Einnahmen gehen bis 2026 in ES-35 zunächst kaum zurück, um dann in 2035 gegenüber dem Niveau von 2018 um 16 Mrd. $€_{2010}$ niedriger zu liegen. Tatsächlich ist der Rückgang in der dynamischen Referenz ebenfalls zu beobachten und fällt nur leicht schwächer aus als in ES-35. In MM-35 liegt bereits 2025 das Einnahmeniveau des Staates aus Verkehr 10 Mrd. $€_{2010}$ niedriger als 2018. Der Rückgang verstärkt sich bis 2035 auf eine Reduktion von 28 Mrd. $€_{2010}$. Die Rückgänge können in allen Szenarien insbesondere auf die sinkenden Energiesteuereinnahmen und die Reduktion der Kfz-Steuer zurückgeführt werden. Der Rückgang der realen Energiesteuereinnahmen bis 2025 liegt in den Szenarien in der Größenordnung von gut 11 bis knapp 14 Mrd. $€_{2010}$ und vergrößert sich bis 2035 auf 19 bis 20 Mrd. $€_{2010}$ gegenüber dem Niveau von 2018. Kumuliert liegt der Einnahmeausfall der Energiesteuer bei 201 Mrd. $€_{2010}$ bzw. 226 Mrd. $€_{2010}$ bis 2035 in ES-35 bzw. MM-35 jeweils gegenüber der Annahme eines gleichbleibenden Niveaus der Einnahmen aus dem Jahre 2018 (siehe auch Kapitel 5.9).

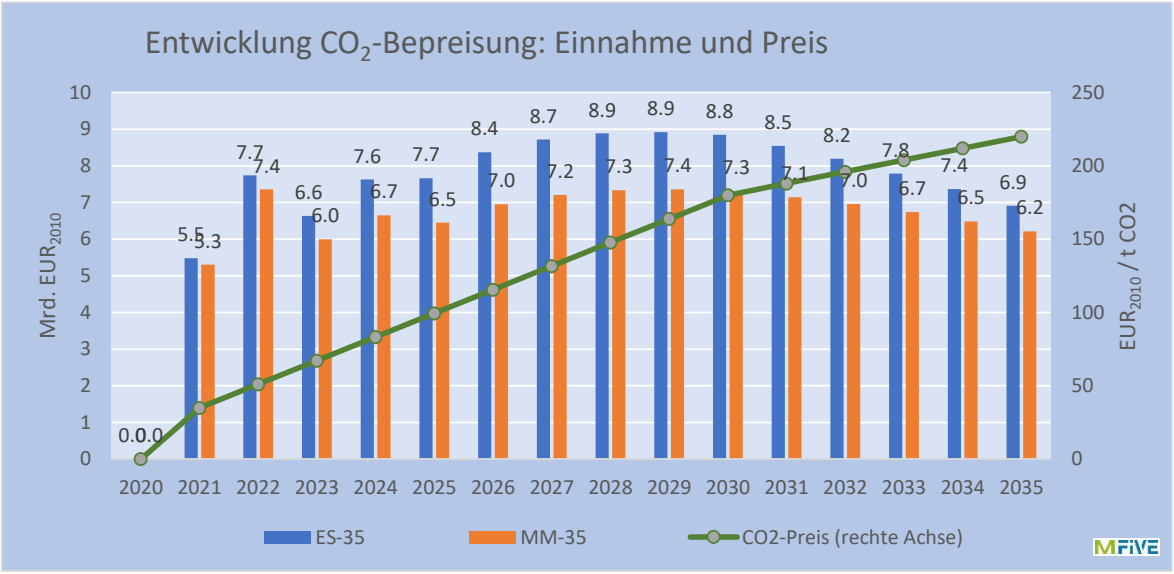
Abbildung 5-70: Veränderung der Staatseinnahmen aus Verkehr in den Szenarien gegen 2018



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Es stellt sich die Frage, ob und wieso die kompensierenden Maßnahmen im Politikprogramm nicht ausreichen, um die Staatseinnahmen aus Verkehr zumindest auf einem konstanten Niveau zu halten und so die Steuerfinanzierung der staatlichen Investitionen im Investitionsprogramm der beiden Szenarien in Grenzen zu halten. Auf den ersten Blick wäre die wichtigste kompensierende Maßnahme die CO_2-Bepreisung, die in 2021 bei 35 $€_{2010}$/t CO_2 ansetzt und über 180 $€_{2010}$/t CO_2 in 2030 auf 220 $€_{2010}$/t CO_2 in 2035 ansteigt (siehe Abbildung 5-71). Die CO_2-Bepreisung wird weitgehend nur für Pkw fällig, da für Lkw ein eigenständiges Politikprogramm entwickelt werden müsste, was aber kein Bestandteil dieses Vorhabens ist. Auffallend ist, dass die Einnahmen zunächst wie erwartet mit dem deutlich zunehmenden CO_2-Preis ansteigen, aber bereits in den Jahren 2027 bis 2029 stagnieren und dann abfallen. Grund ist die massive Dekarbonisierung im Pkw-Verkehr aufgrund der Kombination von Effizienzsteigerung der Verbrenner durch CO_2-Standards als auch durch die Elektrifizierung in den Szenarien, durch die bereits 2030 knapp ein Drittel der Pkw in der Flotte in ES-35 elektrifiziert sind und in 2035 dann bereits knapp 60%. In MM-35 verläuft die Elektrifizierung aufgrund der geringeren Zahl der Neuzulassungen deutlich langsamer und erreicht ein Fünftel in 2030 und zwei Fünftel in 2035. Aufgrund der dynamischen Struktur des Austausches der Pkw-Flotte beschleunigt sich aber in den 2030er Jahren der Austausch von Verbrennern durch E-Pkw massiv, da der Großteil der Verbrenner, dann in den Altersklassen mit hohen Verschrottungsraten einzuordnen sein wird.

Abbildung 5-71: Entwicklung der Einnahmen aus der CO_2-Bepreisung



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Der Rückgang der Einnahmen aus der CO_2-Bepreisung ab 2029 bedeutet, dass eine andere Einnahmequelle aus dem Verkehr benötigt wird, um den Beitrag des Verkehrs zu seiner Finanzierung stabil zu halten: hier bietet eigentlich nur die Nutzerfinanzierung durch eine km-basierte Pkw-Maut eine langfristig verfügbare Basis, die zudem im politischen Bereich schon lange z.B. von der EU priorisiert wird. Die km-basierte Pkw-Maut wurde auch eingeführt im Politikprogramm der Szenarien ab 2025. Allerdings sind die Maut-Sätze von 1 bis 2 ct/km nicht ausreichend, um die notwendigen Einnahmen zu generieren. Die Einnahmen aus der Pkw-Maut liegen fast stabil bei 5 bis 8 Mrd. $€_{2010}$ in den beiden Szenarien. Hier sind weitere Untersuchungen notwendig, um den Übergang von Energiesteuern zu CO_2-Bepreisung zu km-basierter Pkw-Maut zu gestalten, vor allem in ihrem zeitlichen Ablauf.

5.11.2 Differenzierte Wirkungen auf die Beschäftigung

Für die Analyse und Darstellung der sektoralen Beschäftigungsänderungen in den Szenarien nachhaltiger Mobilität wurden die 57 in ASTRA-HBS differenziert modellierten Sektoren zu Hauptsektoren aggregiert mit dem Fokus, die Sektoren mit direktem Verkehrsbezug darin abzubilden. Abbildung 5-72 gibt einen Überblick über 15 Hauptsektoren mit größeren Veränderungen gegenüber dem Referenzjahr 2018. Die Veränderungen liegen in der Größenordnung von einer Verringerung um knapp 300 Tausend Erwerbstätigen (VZÄ) und einer Erhöhung um gut 400 Tausend. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit der Darstellung ist der Sektor *Sonstige Dienstleistungen*, der um eine Größenordnung mehr Arbeitsplätze auf sich vereinigt als die übrigen Sektoren und den Dienstleistungsbereich außerhalb des Verkehrs abdeckt, nicht dargestellt. In diesem Sektor kann durchaus ein substanzieller Teil der Zweitrundeneffekte fallen, die über verändertes Einkommen der Haushalte und deren Konsum von Veränderungen betroffen sein können (z.B. Einzelhandel, Gastronomie oder Nachrichtenübermittlung).

Die am stärksten von Änderungen der Erwerbstätigen betroffenen Hauptsektoren lassen sich in Abbildung 5-72 leicht identifizieren. In ES-35 weist der *Landverkehr* mit Abstand den größten Zuwachs auf gegenüber dem Niveau von 2018 mit bis zu 400 Tausend zusätzlichen Erwerbstätigen (VZÄ), allerdings bereits in 2030 und danach sinkt die Zahl durch die zunehmende Automatisierung der Verkehrsdienstleistungen wieder. In MM-35 liegen der *Bausektor* und der *Landverkehr* nahezu gleichauf mit einem Zuwachs von 429 bzw. 423 Tausend zum Zeitpunkt 2030. Auch hier nimmt der Zuwachs nach 2030 wieder ab, beim *Bausektor* dadurch, dass die Hochphase der zusätzlichen Investitionen in den Verkehr bereits in der zweiten Hälfte der 2020er Jahre durchlaufen wurde und beim *Landverkehr* ebenfalls durch Automatisierung. Zu den wachsenden Sektoren gehören in beiden Szenarien auch die *Sonstigen Fahrzeuge* aufgrund der steigenden Nachfrage nach Zügen, S-/U-Bahnen und Trams, sowie die Sektoren *Elektrik* und *Elektronik*, die zum Einen von der Nachfrage nach E-Pkw ausgestattet mit Batterien und Leistungselektronik und der Nachfrage nach Fahrerassistenzsystemen für Pkw profitieren, zum anderen aber auch von der steigenden Nachfrage aus anderen Sektoren wie *Sonstige Fahrzeuge*, *Bausektor* oder der Digitalisierung der Mobilität profitieren. Auffallend ist auch die positive Entwicklung der Erwerbstätigen im *Versorgungssektor*, die unter anderem auf die Elektrifizierung des Verkehrs und die daraus resultierende Stromnachfrage zurückzuführen ist.

Die Sektoren bei denen deutliche Rückgänge verzeichnet werden, sind entweder direkt mit der Produktion von Pkw mit Verbrennungsmotoren befasst (*Straßenfahrzeuge*), mit deren Wartung und dem Pkw-Verkauf (*Kfz-Handel*) oder mit der Zulieferung (*Chemie und Plastik; Metallprodukte; Landwirtschaft, Fischerei, Rohstoffe* über die Zulieferung von fossilen Energieträgern und Rohstoffen der Metallerzeugung). Erwartungsgemäß tritt der größte Verlust an Erwerbstätigen bei den *Straßenfahrzeugen* auf und fällt mit bis zu 128 Tausend Erwerbstätigen (VZÄ) in ES-35 gegen 2018 und fast 295 Tausend in MM-35 im letzteren Szenario mehr als doppelt so hoch aus. Hier ist allerdings zu beachten, dass ein Teil der verlorenen Arbeitsplätze in der Pkw-Produktion nun in den Sektoren *Elektrik* und *Elektronik* wieder als Zuwachs auftauchen. Die Automobilindustrie verteilt sich in der funktionalen Betrachtung der IO-Tabelle und der WZ-2008, die beide in ASTRA-HBS genutzt werden, auf mehrere Sektoren mit dem Schwerpunkt auf *Straßenfahrzeuge*, *Metallprodukte*, *Elektrik* und *Elektronik*. Der *Kfz-Handel* verliert ebenfalls 99 bzw. 135 Tausend Erwerbstätige (VZÄ) bis 2035 gegenüber 2018 und ist damit nach dem *Straßenfahrzeugbau* aufgrund des zurückgehenden Pkw-Absatzes und der wartungsärmeren E-Pkw am stärksten von den Szenarien nachhaltiger Mobilität betroffen. Relativ ist in ES-35 allerdings der Rückgang der Erwerbstätigen bei den Metallprodukten mit -20% am größten auch gegenüber den Straßenfahrzeugen mit -10%. Beim Sektor Metallprodukte überlagert sich der Effekt der Reduktion der Pkw-Absatzzahlen (z.B. schrumpfender Absatz an Karosserien oder Fahrwerken) mit der Elektrifizierung und daraus resultierenden Reduktion des Absatzes von Verbrennungsmotoren im verbleibenden Pkw-Markt.

Abbildung 5-72: Veränderung der Beschäftigung in den Hauptsektoren in beiden Szenarien gegen 2018

Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Als Gesamtindikator für die Größe der Veränderung der Beschäftigung gegenüber dem Status-quo (REF-2015) lässt sich zu jedem Zeitpunkt die Aufsummierung aller Sektoren mit verringerter Erwerbstätigkeit und aller Sektoren mit wachsender Erwerbstätigkeit gegenüber 2015 nutzen. Wir bezeichnen diesen Indikator als **Gesamtbeschäftigungs-Shift** und haben ihn für die Jahre 2025 und 2035 gegenüber 2015 bestimmt (siehe Tabelle 7). Für 2025 beläuft sich beispielsweise der negative Gesamtbeschäftigungs-Shift in ES-35 auf -1.08 Millionen Erwerbstätige (VZÄ) und der positive auf +1.73 Millionen Erwerbstätige. D.h. mindestens 1 Million Menschen müssen sich eine neue Stelle suchen.[41] Für die Suche steht ihnen aber auch ein größeres Angebot von über 1.7 Millionen neuen Stellen für Erwerbstätige in wachsenden Sektoren zur Verfügung. Allerdings wird der Übergang von einem schrumpfenden Sektor auf einen wachsenden Sektor häufig nicht ohne Unterstützung durch die Unternehmen oder den Staat gelingen können. Tabelle 7 zeigt,

41 Auf Unternehmensebene kann die Zahl der Arbeitsplatzwechsel noch größer ausfallen als durch den Indikator Gesamtbeschäftigungs-Shift erfasst, wenn einzelne Unternehmen den Strukturwandel nicht stemmen können und aus dem Markt ausscheiden, ihre Mitarbeiter aber in einem Unternehmen desselben Sektors eine neue Stelle finden. Aus sektoraler Sicht fällt dieser Jobwechsel nicht auf. Die Betroffenen mussten aber eine neue Stelle suchen und finden.

dass sich bis 2035 der Gesamtbeschäftigungs-Shift in beiden Szenarien nochmals vergrößert, wobei die Entwicklung des negativen Shift unter einer Verdopplung bleibt, während der positive Shift, d.h. das entstehen zusätzlicher Arbeitsplätze sich mehr als verdoppelt. Der Gesamtbeschäftigungs-Shift ähnelt sich in beiden Szenarien. Dieser Befund legt nahe, dass eine Transformation zu nachhaltiger Mobilität für die Beschäftigten sehr wahrscheinlich einen Wandel in der beschriebenen Größenordnung nach sich zieht unabhängig davon, ob die Transformation verstärkt durch Mobilitätsdienstleistungen oder durch Elektrifizierung getrieben wird.

Tabelle 7: Gesamtbeschäftigungs-Shift in den Szenarien gegenüber dem Niveau von 2015

Szenario	Millionen Erwerbstätige VZÄ	2025	2035
ES-35	Negativer Gesamtbeschäftigungs-Shift	-1.08	-1.89
	Positiver Gesamtbeschäftigungs-Shift	+1.73	+4.03
MM-35	Negativer Gesamtbeschäftigungs-Shift	-1.19	-2.2
	Positiver Gesamtbeschäftigungs-Shift	+1.84	+3.98

Quelle: eigene Berechnungen, M-Five, ASTRA-HBS

Bei der Bewertung des positiven Gesamtbeschäftigungs-Shiftes ist zu berücksichtigen, dass bereits von 2015 bis 2018 eine Zunahme der Erwerbstätigen um 1.67 Millionen stattgefunden hat (siehe z.B. DeStatis 2019a). D.h. im positiven Gesamtbeschäftigungs-Shift gemessen gegenüber 2015 (Tabelle 7) überlagern sich die Effekte der beiden Szenarien und der positiven Entwicklung am Arbeitsmarkt zwischen 2015 und 2018.

Parallel und stützend zur in den vorherigen Abschnitten beschriebenen sektoralen Analyse der Beschäftigung wird die Beschäftigung in der Pkw-Herstellung in ASTRA-HBS mit einem sogenannten Komponentenmodell (siehe auch Kapitel 3.3 und 5.7, sowie Wagner et al. 2019) abgeschätzt. In diesem Modell wird jeder Pkw zerlegt in 10 Komponenten (siehe Spalte 1 und 2 in Tabelle 8). Die unterschiedliche Ausstattung der 7 betrachteten Pkw-Segmente führt zu wertmäßig unterschiedlicher Ausstattung der Komponenten in den Segmenten. Ähnlich bestimmt die Antriebsart den eingesetzten Wert einer Komponente in einem Pkw, welcher damit durch Segment, Antriebsart, Komponentenwert und Kaufzeitpunkt in seinem Wert bestimmt ist. Die Multiplikation der Pkw-Absatzzahlen mit den so bestimmten Pkw-Komponentenwerten ergibt den Umsatz nach Komponente aus dem wiederum die Beschäftigung abgeleitet wird. Die Ergebnisse dieser Bottom-up Berechnung der Beschäftigung in der Pkw-Herstellung basierend auf Komponentenebene sind in Tabelle 8 als Veränderung der Beschäftigtenzahl (nicht VZÄ) gegenüber 2015 (REF-2015) für beide Szenarien dargestellt.

In MM-35 ist die typische zu erwartende Entwicklung viel deutlicher ausgeprägt (siehe Tabelle 8): alle Komponenten (und damit die Firmen, die diese Komponenten herstellen)

verlieren an Beschäftigung mit Ausnahme der *Elektrischen Antriebe & Aggregate* zu denen auch die Batterieproduktion inklusive Zelle gehört (EMO) und der *Fahrerassistenzsysteme* (FAS). EMO gewinnt auch in MM-35 noch 47 Tausend Beschäftigte hinzu und FAS 36 Tausend. In der vorherigen sektoralen Betrachtung finden sich diese Beschäftigten auch als Zuwachs in den Hauptsektoren *Elektrik* (enthält EMO) und *Elektronik* (enthält FAS) wieder. Die übrigen 8 Komponenten können alle dem Sektor *Straßenfahrzeuge* (bzw. Kraftwagen, WZ-29) zugeordnet werden. Diese verlieren in MM-35 bis 2025 163 Tausend Beschäftigte gegenüber 2015 und bis 2035 309 Tausend. Im Saldo ergibt sich für das MM-35 für die Pkw-Herstellung ein Verlust von 116 Tausend bis 2025 und von 226 Tausend bis 2035.

ES-35 zeigt durch die Elektrifizierung und stark steigende Ausstattung mit Fahrerassistenz und anderen Komfortsystemen ein Wachstum der Fahrzeugpreise sowie eine Segmentverschiebung zu höherwertigen Segmenten, welche bei der Wertschöpfung den Rückgang der Pkw-Absatzzahlen kompensieren. Damit ergibt sich zwar für den Sektor Straßenfahrzeuge errechnet aus der Summe der 8 Komponenten ein Verlust von 85 Tausend Beschäftigten bis 2025 gegen 2015 und von 124 Tausend bis 2035, aber für das Gesamtsaldo der Beschäftigten ist das Szenario fast neutral mit einer Verringerung von knapp 16 Tausend bis 2025 und von 7 Tausend bis 2035. Dabei entstehen durch EMO-Komponenten 83 Tausend Beschäftigte und durch FAS-Komponenten 48 Tausend Beschäftigte in Deutschland bis 2035 (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Änderung der Beschäftigung nach Pkw-Komponente im Bottom-up Modell gegenüber dem Niveau von 2015 (REF-2015)

	1000 Beschäftigte	ES-35		MM-35	
Code	**Pkw-Komponente**	**2025**	**2035**	**2025**	**2035**
FWK	Fahrwerk	-1.0	1.4	-11.3	-24.9
AST	Antriebsstrang	-19.6	-43.7	-20.9	-49.5
ICE	Verbrennungsmotor & Aggregate	-33.7	-54.3	-32.6	-54.1
EMO	Elektrische Antriebe & Aggregate	52.7	83.0	34.8	47.4
KAR	Karosserie	2.6	-1.2	-7.9	-26.9
EXT	Exterieur	-6.9	-4.1	-15.7	-24.9
INT	Interieur	-15.2	-14.6	-33.1	-55.6
ELE	Elektronik ohne Fahrerassistenzsysteme	-11.4	-19.2	-19.5	-36.1
FAS	Fahrerassistenzsysteme	17.0	48.0	12.6	35.9
GFZ	Integration der Komponenten in das Gesamtfahrzeug / Fahrzeugmontage	-0.2	11.5	-22.6	-37.0
	Gesamtsaldo	**-15.7**	**6.8**	**-116.3**	**-225.7**
	Nur Sektor Kraftwagen	-85.4	-124.2	-163.7	-309.0

Quelle: eigene Berechnungen, M-Five, ASTRA-HBS

Auch für neue Mobilitätsdienstleistungen wurde in einem in ASTRA-HBS integrierten Bottom-up Modell die sektorale Beschäftigung des Sektors *Landverkehr* aufgeschlüsselt (siehe Kapitel 5.1.3.2 und 5.8). Damit werden drei bus-basierte Mobilitätsdienstleistungen differenziert (klassische Busse im Linienverkehr, automatisierte Busse im Linienverkehr, Shuttle Busse im On-demand- bzw. Shared-Verkehr). Bei Pkw werden neben klassischem Car-sharing (stations-basiert oder free-floating) und Taxi auch Robo-Taxen angeboten charakterisiert durch das öffentliche Angebot autonomer Pkw im Modus privater Nutzung. Tabelle 9 zeigt die Veränderungen der Erwerbstätigen (VZÄ) durch Mobilitätsdienst-leistungen für ES-35 und MM-35, welche in beiden Szenarien gegenüber 2015 zunimmt. Der Zuwachs entsteht ebenfalls in beiden Szenarien bereits bis 2025 und bis 2035 bleibt das Niveau der zusätzlichen Beschäftigung erhalten, bei ES-35 bei knapp 170 Tausend und bei MM-35 bei rund 260 Tausend Erwerbstätigen. In der aggregierten Tabelle wird nicht sichtbar, dass in 2030 ein Peak mit höheren Erwerbstätigenzahlen erreicht und danach ein Rückgang beobachtet wird. Dabei überlagern sich zwei Entwicklungen: die Zunahme der genutzten Mobilitätsdienstleistungen erhöht die Zahl der Erwerbstätigen bis 2030, aber ab 2025 beginnt die Automatisierung des Verkehrs dem entgegenzuwirken, so dass die Erwerbstätigenzahl in 2035 wieder auf das Niveau von 2025 fällt. Besonders deutlich wird

diese Entwicklung im klassischen Busverkehr, bei dem die Beschäftigung in 2035 in ES-35 um 172 Tausend niedriger liegt als in 2015. In MM-35 beträgt der Rückgang sogar 196 Tausend Erwerbstätige (VZÄ). Aggregiert über alle Busangebotsformen beträgt der Rückgang in ES-35 nur 115 Tausend und in MM-35 nur 155 Tausend. Festzuhalten bleibt, dass im klassischen Busverkehr ein großes Potenzial bzw. ein großes Risiko liegt für substanzielle Rückgänge der Erwerbstätigenzahlen. Im Gegenzug sorgt die Verdopplung des Bahnverkehrs bis 2035 in ES-35 bzw. die Verdreifachung in MM-35 für einen deutlichen Zuwachs der Beschäftigung im Personenverkehr auf der Schiene im Nah-, Regional- und Fernverkehr von 178 Tausend in ES-35 und von 199 Tausend in MM-35 beides gegenüber dem Niveau von 2015.

Tabelle 9: Änderung der Erwerbstätigkeit in Mobilitätsdienstleistungen im Bottom-up Modell gegenüber dem Niveau von 2015 (REF-2015)

	1000 Erwerbstätige (VZÄ)	ES-35		MM-35	
Mode	**Mobilitätsdienstleistung im Personenverkehr**	**2025**	**2035**	**2025**	**2035**
Bus	Bus: klassisch	43	-172	-26	-196
	Bus: automatisiert	1	15	1	10
	Bus: Shuttle	2	41	2	31
Schiene	Bahn: Personenverkehr	34	51	56	67
	U-, S-Bahn, Tram	65	128	125	132
Pkw	Car-sharing	42	126	66	189
	Taxi	-18	-27	17	22
	Robo-Taxi	0	5	1	6
Alle	**Gesamte Änderung Erwerbstätige**	**169**	**166**	**241**	**261**
Bus	Gesamte Änderung Bus	46	-115	-23	-155
Schiene	Gesamt Änderung Schiene	99	178	181	199

Quelle: eigene Berechnungen, M-Five, ASTRA-HBS

Um die gefundenen Effekte auf die Beschäftigung einordnen und mit anderen Studien vergleichen zu können, wurden für ES-35 fünf Sensitivitätsanalysen mit einem Fokus auf den Bereich der Pkw-Exporte und -Kosten sowie der Produktivität im Kraftwagenbau durchgeführt:

- **Pkw-Kosten -21%**: sukzessive Verringerung der Werthaltigkeit der Pkw und damit der Pkw-Preise ab 2020 gegenüber dem Verlauf in ES-35 um 7% bis 2025 und um 21% bis 2035.

- **Pkw-Exporte -30%:** sukzessive Verringerung der **Anzahl** exportierter Pkw ab 2020 bis 2035. Bis 2025 10% Verringerung, in 2035 dann 30%. Wirkt auch dämpfend auf Komponenten-Exporte.
- **Komponenten-Exporte -30%:** sukzessive Verringerung der **wertmäßigen** Exporte von Komponenten ab 2020 bis 2035. Bis 2025 10% Verringerung, in 2035 dann 30%.
- **Produktivität Kraftwagen +1%:** Erhöhung der jährlichen Verbesserung der Produktivität im Sektor Kraftwagenbau um 1% ab 2020 bis 2035.
- **Importe E-Mobilität +30%:** Erhöhung der Importe von Komponenten der Elektromobilität, so dass jeweils 15% der Nachfrage in den Sektoren Elektrik (z.B. Batterie) und Kraftwagen (z.B. E-Pkw) zusätzlich importiert wird.

Die Sensitivitätsrechnung wurde anhand des Vergleichs mit den Ergebnissen des Szenarios ES-35 mit der Referenz im Jahr 2015 bewertet. Die Prozentangaben in der obigen Bezeichnung der Sensitivitäten beziehen sich also auf Veränderungen gegenüber dem Verlauf in ES-35.

Tabelle 5 fasst die prozentualen Veränderungen der gesamtwirtschaftlichen und der sektoralen Indikatoren für die fünf Sensitivitätsrechnungen gegenüber dem Szenario ES-35 für das Jahr 2035 zusammen. Es wird deutlich, dass die gesamtwirtschaftlichen Effekte deutlich niedriger ausfallen als die sektoralen Beschäftigungseffekte. Allerdings sind Verringerungen des BIP um -4.2% in 2035 als Folge einer um 21% niedrigere Pkw-Preisentwicklung bzw. von -3.9% als Folge einer Verringerung der Pkw-Exporte um -30% keine vernachlässigbaren Reaktionen. Sie zeigen die hohe Bedeutung des Pkw-Sektors für die wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland. Dies gilt auch für die Wirkung dieser beiden Sensitivitäten auf die Erwerbstätigen, die mit -7% für die 21%ige-Reduktion der Pkw-Kosten und mit -6.9% für die 30%ige-Reduktion der Pkw-Exporte auch sehr deutlich ausfällt.

Sektoral entstehen die größten Effekte auf die Zahl der Erwerbstätigen im Kraftwagenbau, und zwar ebenfalls durch verringerte Pkw-Preise bzw. Pkw-Exporte (-26.6% bzw. -24.5%). Aber auch der gesteigerte Import bei der E-Mobilität führt zu -19.7% weniger Erwerbstätigen im Kraftwagenbau in ES-35 in 2035. In ähnlicher Größenordnung liegt sonst nur noch der Effekt der gesteigerten Importe bei der E-Mobilität auf den Sektor Elektrik der dann in 2035 um -25% weniger Erwerbstätige aufweisen würde als in ES-35. Die Effekte dieser fünf Sensitivitätsrechnungen liegen für die Erwerbstätigkeit im Kfz-Handel deutlich niedriger als für die anderen Sektoren und erreichen gut -5% für die Pkw-Preis- und die Pkw-Export-Sensitivität.

Tabelle 10: Ergebnis der fünf Sensitivitätsrechnungen im Vergleich mit ES-35

Sensitivität	Gesamt-wirtschaftliche Sensitivität		Sektorale Sensitivität		
			Kraftwagen bau	Elektrik	Kfz-Handel
	BIP	EWT	EWT	EWT	EWT
Pkw-Kosten -21%	-4.2%	-7.0%	-26.6%	-11.8%	-5.1%
Pkw-Exporte -30%	-3.9%	-6.9%	-24.5%	-10.1%	-5.2%
Komponenten-Exporte -30%	-0.7%	-1.1%	-8.1%	-1.7%	-2.1%
Produktivität Kraftwagen +1% p.a.	0.0%	-0.5%	-13.6%	-0.4%	-0.5%
Importe E-Mobilität +30%	0.2%	-0.2%	-19.7%	-25.0%	-0.3%

Quelle: eigene Berechnungen, M-Five, ASTRA-HBS

5.11.3 Methodische Reflexion

Grundsätzlich ist die ASTRA Modellfamilie genau für diese Art der kombinierten Mobilitäts- und Gesamtwirtschafts-Fragestellung konzipiert. Das volle Potenzial des Modells lässt sich aber aufgrund der Art der Definition der Szenarien und ihrer Umsetzung als teils exogenen Eingriff im Modell nicht ausschöpfen. Die exogene Vorgabe von Pkw-Flottenentwicklung und Modalanteilen im Personenverkehr entspricht einer zusätzlich eingeführten Restriktion für einige Modellelemente. Das Modellergebnis entsteht so aus einer Kombination aus exogenen Eingriffen und endogenen Modellreaktionen auf die Einführung des Politik-programms. In einer idealen Modelliererwelt ergäbe sich das Szenario ausschließlich endogen durch die eingeführten, politischen Instrumente.

Andererseits werden beide Szenarien nachhaltiger Mobilität tatsächlich noch nicht alleine durch das definierte Politikprogramm erreicht. Daraus können zwei divergierende Schlüsse gezogen werden. (1) das Politikprogramm wäre nicht ausreichend und müsste vervollständigt werden (hier sei nochmals die Diskussion zur Pkw-Maut erwähnt, die bereits nahegelegt hatte, dass diese Maßnahme nachgeschärft werden sollte). (2) Die Verhaltensfunktionen im Flotten- und Verkehrs-Modell sollten neu parametrisiert werden, da sie bisher basierend auf Phasen mit ausschließlich inkrementellen Veränderungen der Rahmenbedingungen und der Angebote (z.B. Wahl zwischen stärkerer oder schwächerer fossiler Motorisierung aber kein Antriebswechsel zu E-Mobilität) ermittelt wurden. Die Stärke der hier gewählten Maßnahmen plus die Einbettung in eine konsistente, nationale Politikstrategie für den Klimaschutz würde für die Möglichkeit der Ausprägung einer Verhaltensänderung sprechen, die wiederum im Modell in eine geänderte Parametrisierung

der Entscheidungsfunktionen übersetzt werden müsste, die dann sensitiver auf die ökologisch motivierten Preissignale für den Pkw-Kauf, die Ziel- und Modalwahl reagieren.

Gesamtwirtschaftliche Analysen werden nicht oft erarbeitet. Dadurch können Modellergebnisse vom Leser nur schwer beurteilt werden, und diese Ergebnisse bewegen sich auf gesamtwirtschaftlicher Ebene häufig im 0.X%-Bereich, bzw. gelegentlich werden auch einstellige Prozentpunkte ermittelt. Dies kann für den Leser, der sonst Effekte auf sektoraler oder auf Unternehmensebene analysiert, den Eindruck geringer Effekte der Szenarien erwecken. Tatsächlich sind die hier gesamtwirtschaftlich beobachteten Effekte bereits sehr substanziell. Dies zeigt sich dann auch am Vergleich der indirekten und induzierten Effekte gemessen an den gesamten Veränderungen der Erwerbstätigen mit den Erwerbstätigen in direkt betroffenen Sektoren mit Verkehrsbezug wie dem Straßenfahrzeugbau. Während mittelfristig die direkten und die indirekten Effekte in ähnlicher Größenordnung liegen, vergrößern sich die indirekten Effekte langfristig und wachsen bis 2035 auf das Vierfache der direkten Effekte an.

In einem Systemmodell wie ASTRA-HBS, in dem viele verschiedene Aspekte der Mobilität und der Wirtschaft integrativ modelliert werden, erfolgt dies häufig mit vereinfachten Annahmen und Abschätzungen z.B. im Vergleich mit detaillierten techno-ökonomischen Bottom-up Modellen (z.B. für die Pkw-Flotte). Die vereinfachten Modelle treffen dann Indikatoren zu einem bestimmten Zeitpunkt nicht genauso exakt, wie ein solches Bottom-up Modell. Dafür ist im vereinfachten Modell in ASTRA-HBS ein wichtiges Gütemaß der Modellierung, dass neben der Größenordnung vor allem die historische Entwicklung im Zeitverlauf und der zukünftige Trend plausibel im Modell abgebildet werden.

Der Fokus der gesamtwirtschaftlichen Modellierung liegt auf der Quantifizierung der Beschäftigung in der Mobilität. Diese geht aus von der Nachfrageseite nach Beschäftigung. Die Angebotsseite wird im Modell nur betrachtet hinsichtlich der Zahl der Menschen im arbeitsfähigen Alter und der ausreichenden Verfügbarkeit zur Vermeidung von negativer Arbeitslosigkeit. Das Modell kann keine Aussagen treffen zur Qualität der Beschäftigung sowohl auf der Angebotsseite (d.h. Ausbildungs- und Kenntnisprofile) als auch auf der Nachfrageseite (d.h. Qualifikationsprofile). Auf der Nachfrageseite kann eine grobe Aussage geleistet werden anhand der sektoralen Veränderungen mit Bezug zu den Profilen im verarbeitenden Gewerbe (Sektor Maschinen sucht Maschinenbauingenieure, Sektor Elektrik sucht Elektroingenieure bzw. jeweils dazu verwandte Ausbildungsgänge).

5.12 Weiterer Forschungsbedarf

Während der Bearbeitung konnten einige Aspekte für weiteren Forschungsbedarf identifiziert werden, die sich verschiedenen Kategorien zuordnen lassen: (1) Unsicherheiten in der Ausformulierung und verkehrlichen Wirkung des Politikprogramms, d.h. in der Erreichung der Szenarien, (2) Unsicherheiten in der Wirkung auf die sektorale und gesamtwirtschaftliche Produktivität sowie die Wertschöpfungsnetzwerke durch die ökonomischen Impulse, (3) qualitative Aspekte hinsichtlich der Barrieren zur Umsetzung von

Maßnahmen und (4) der Wirkungen auf die Wissensanforderungen neuer und wachsender Berufsbilder.

Das Investitionsprogramm konnte in diesem Vorhaben mit unterschiedlicher Granularität ausformuliert werden. Instrumente und Investitionen die weitgehend auf nationaler Ebene definiert werden (z.B. Schieneninfrastruktur) oder sich aus Modellelementen ableiten lassen (z.B. Bedarf an Ladesäulen in Abhängigkeit der Diffusion von E-Pkw) konnten szenario-spezifisch substantiiert werden. Für Maßnahmen, die auf kommunaler Ebene entschieden werden, besteht ein größeres Risiko, dass diese in der vorliegenden Arbeit unvollständig oder zu konservativ angelegt sind. Dies betrifft z.B. den Radverkehr und den Ausbau der Fahrradinfrastruktur. Hier besteht Forschungsbedarf, das Investitionsprogramm auf der kommunalen Ebene zu prüfen und ggf. nachzuschärfen sowie die Verhaltensreaktion des Umstiegs auf das Rad unter den geänderten Rahmenbedingungen adäquat abzubilden.

Investitionen in Verkehrsinfrastrukturen liegen traditionell in der Hand des Staates. Hier besteht Forschungsbedarf zu prüfen, ob (1) die Balance zwischen staatlicher und privater Finanzierung (z.B. über Pensionsfonds oder Versicherungen) der aus Klimaschutzgründen notwendigen Infrastruktur nicht stärker in Richtung Einbindung privater Akteure verschoben werden sollte (sowohl zur Beschleunigung der Investition als auch als Angebot von klimaschonenden anstatt klimaschädlichen Investitionen ggf. auch im Rahmen eines Green New Deals), und (2) nicht größere Anteile im Straßenverkehr durch eine Nutzerfinanzierung zu erbringen sind.

Die Investitionen in Telematik und Digitalisierung wurden bisher konservativ abgeschätzt auch bedingt durch die begrenzte Verfügbarkeit von nationalen Studien. Zusätzlich besteht bei der Digitalisierung eine Zuordnungsproblematik hinsichtlich der Frage, welche Teile der Infrastruktur (z.B. 5G-Netz) dem Verkehr anzulasten sind, und welche Teile ohnehin gebaut würden auch ohne den Bedarf des Verkehrs nach schneller Datenübertragung. Forschungsbedarf besteht also hinsichtlich der Investitionsvolumina und der Zuordnung zum Verkehr in den Szenarien.

Einige der Maßnahmen sind bisher nicht erprobt und es bestanden in der Vergangenheit große Barrieren diese umzusetzen (z.B. Nutzerfinanzierung durch km-basierte Pkw-Maut). Für andere Maßnahmen ist bekannt, dass ihre Umsetzung zwar politisch gewünscht und von der Bevölkerung grundsätzlich begrüßt wird, dass aber ihre konkrete Umsetzung regelmäßig auf praktische Hürden trifft, sei es durch juristische Verfahren, durch Schwierigkeiten die planerischen Grundlagen zu schaffen oder die praktische Umsetzung in einem bereits an der Kapazitätsgrenze operierenden Bausektor zu sichern. Hier besteht also Bedarf in der Analyse der Barrieren der Umsetzung und der Entwicklung von Lösungen diese Barrieren zu beseitigen.

Ein wichtiges Modellelement in ASTRA-HBS sind die Wirkungen von Investitionen sowie der Funktionsfähigkeit des Verkehrssystems auf die gesamtwirtschaftliche Produktivität. Außerdem gilt die Automobilindustrie als Innovationsmotor in Deutschland der die Produktivität antreibt. Hier sehen wir Forschungsbedarf die Produktivitätswirkung in allen drei Bereichen tiefergehend zu analysieren und so abzuleiten, dass die Erkenntnisse auch

in der ökonomischen Modellierung von Produktivitätsveränderungen eingesetzt werden kann.

Eine starke Wirkung auf die Beschäftigung zeigen die Exportszenarien für Pkw und Komponenten aus deutscher Produktion. Etwas abgeschwächt und mit stärkerem Fokus auf ausgewählte Sektoren sind auch die Importszenarien für E-Pkw und Komponenten der E-Mobilität von hoher Bedeutung. Dahinter verbirgt sich eine Neuordnung der globalen Pkw-Märkte und der Wertschöpfungsnetze in der Automobilherstellung. Hier besteht Forschungsbedarf (1) in der Verbesserung des Verständnisses der möglichen Formen der Neuorganisation der Wertschöpfungsnetze, und (2) zu den Möglichkeiten und Potenzialen die Neuorganisation der Wertschöpfungsnetze so zu steuern, dass auch zukünftig wichtige und umfangreichen Teile in Deutschland und Europa angesiedelt bleiben.

Unsere Szenarien nachhaltiger Mobilität haben den Personenverkehr im Fokus. Hier besteht Bedarf die Transformation im Güterverkehr in ähnlicher Tiefe zu analysieren wie den Personenverkehr. Dafür sollten Szenarien des zukünftigen Güterverkehrs entworfen und mit dem Personenverkehr integriert betrachtet werden. Als Hypothese kann davon ausgegangen werden, dass im Güterverkehr die Anteile der Beschäftigten in der Produktion (d.h. Fahrzeuge, Verkehrsnetze) geringer ausfallen als im Personenverkehr, dafür aber die Bedeutung der Beschäftigung in der Transportdienstleistung größer ist und hier auch der Bereich der Logistik einbezogen werden muss. Außerdem wird dem Bausektor eine wichtige Rolle bei Verkehrsnetzen aber auch im Bereich der Erstellung der Logistikimmobilien (einschließlich Umschlagterminals) zukommen.

Die sektoralen Beschäftigungsänderungen vollziehen sich in großem Umfang schon in der nächsten Dekade. Damit werden sie auch in ihrer Wirkung auf neue Berufe und geänderte Anforderungsniveaus sichtbar. Hier besteht Bedarf die sektoralen Änderungen der Nachfrage stärker mit den neuen Technologien zu verknüpfen und Anforderungen für neue Ausbildungs-, Umschulungs- und Weiterqualifizierungsprogramme abzuleiten. Dabei wird neben der exakten inhaltlichen Ausrichtung auch eine Frage sein, ob und wie die Umstellungen im (Weiter-)Bildungssystem beschleunigt werden können, da in der Vergangenheit ein solcher Umstellungsprozess der Bildungs-Curricula auch eine Dekade oder länger dauerte, in der aktuellen bereits fortschreitenden Transformation der Mobilität das verfügbare Zeitfenster voraussichtlich aber kürzer ist.

Die Bewertung der Wirkung der Transformation der Mobilität ist als fortlaufender Prozess zu verstehen. Heute existierende Unsicherheiten oder offene Weichenstellungen (z.B. ob und in welchem Umfang Batteriezellproduktion in Deutschland aufgebaut wird) werden morgen geklärt oder entschieden sein. Dafür werden Unsicherheiten auf der nächsten Ebene (z.B. wie lässt sich die Versorgung mit Batterierohstoffen sichern und ein effizientes Recycling aufbauen) auftauchen und neue offene Weichenstellungen entstehen. Deshalb sollte die Bewertung der Transformation der Mobilität als Prozess verstanden werden, mit regelmäßigen Aktualisierungen der Bewertung und der strategischen Ausrichtung von Unternehmen, Politik und Beschäftigung.

6 Automatisierung, künstliche Intelligenz und digitale Autonomie

Die in diesem Projekt beschriebenen Trends werden zu einer rapiden Zunahme der Bedeutung von Informationstechnologie, Datengenerierung und -verarbeitung und künstlicher Intelligenz führen. Diese Geschäftsfelder bieten neue Ertragsquellen, führen aber auch zu neuen Wettbewerbern (insbesondere IT- und KI-Unternehmen) in den Wertschöpfungsketten der Automobilindustrie (Diez 2018). Dominanz über diese Technologien, Geschäftsfelder sowie Plattformen in der Mobilität wird maßgeblich bestimmen, wie die Milliardenumsätze und -gewinne der Zukunft verteilt werden und damit auch, wo, durch wen und unter welchen Bedingungen die Beschäftigung in der Zukunft generiert wird. Darüber hinaus geht es bei dieser Frage nicht nur um Wertschöpfung und Beschäftigung, sondern auch andere zentrale Fragen, insbesondere des Datenschutzes und der digitalen Autonomie.

Wie wir bereits in Arbeitspapier 3 dieser Studie dargestellt haben, sind die jeweiligen Größenordnungen der Zahlen von Arbeitsplatzverlusten und neu entstehenden Arbeitsplätzen spekulativ – was gewissermaßen auch für die Art und Qualifikationsniveaus der zukünftigen Arbeitsplätze gilt (vgl. z.B. Holmes 2017). Quantitative Prognosen können im Rahmen dieser Studie nicht geleistet werden. Stattdessen sollen hier einige Einflussfaktoren und richtungsentscheidende Fragen der Entwicklung beleuchtet werden. Dieses Kapital kann auch als ein Überblick über weiteren Forschungsbedarf angesehen werden.

Systeme des automatisierten und vernetzten Fahrens erfordern sehr viel mehr IT, sowohl innerhalb der Fahrzeuge als auch in der Kommunikation untereinander als bisher und ein hohes Maß an KI. Es setzt auch das Sammeln und Verarbeiten von enormen Datenmengen voraus, ähnlich wie auch moderne Mobilitätsformen – mehr dazu unten im Abschnitt über Datenschutz. Im Zuge dieses Wandels der Wertschöpfungsstrukturen werden auch neue Unternehmen in den Mobilitätsmarkt drängen, wie etwa Alphabet mit seiner Tochter Waymo im Bereich des automatisierten Fahrens. Die Erwartungen der zukünftigen Verteilung der Marktmacht reicht hin bis zu Szenarien einer weitgehenden Dominanz des Mobilitätsmarktes durch amerikanische IT- und KI-Konzerne und der Degradierung deutscher Autobauer zu Hardware-Zulieferern.

Zurzeit hat das Silicon Valley einen deutlichen Vorsprung sowohl in der Entwicklung des autonomen Fahrens als auch die besten Bedingungen für die weitere Entwicklung der dazu benötigten künstlichen Intelligenz (Lee 2018). Die weitere Entwicklung sowie das Anspruchsniveau der Anwendung und die Umsetzung der Konzepte in großen Fahrzeugflotten sind allerdings sehr schwer zu prognostizieren. Es ist möglich, dass die relevanten Technologien nach ihrer Entwicklung recht leicht von verschiedenen Unternehmen übernommen und angewendet werden können, wodurch sich die hauptsächlichen Barrieren für den Einsatz des autonomen Fahrens von technologischen hin zu politischen Barrieren verschieben würde (Lee 2018). Hier könnte sich also wiederum mehr Gestaltungsspielraum in Deutschland und Europa ergeben.

6.1 Investitionen und Industriepolitik

Die deutschen Autobauer investieren Milliarden in neue Technologien – insbesondere Elektromobilität und automatisiertes Fahren. Diese Investitionen sind so enorm, dass sie entscheidend dazu beigetragen haben, dass Deutschland auf den ersten Platz des Bloomberg Innovation Index[42] vorgerückt ist (Manager Magazin 20.01.2020). Deutsche Unternehmen sind bei der Zahl der Patente für autonomes Fahren weiterhin deutlich führend mit 40% der weltweiten Patente – wobei Wettbewerber aufholen. Zudem kommen insbesondere die digitalen Herausforderer im Bereich der Systemintegration und Künstlichen Intelligenz (KI) alle nicht aus Deutschland (Bardt 2019). Die Bedeutung dieser Herausforderer und der KI wird voraussichtlich in höheren Automatisierungsstufen weiter anwachsen. Im Bereich der KI kommt weltweit nur ein kleiner Teil der Patente aus Deutschland oder Europa (Ernst u. a. 2019).

Auf der staatlichen Seite scheint die Entschlossenheit zu wachsen, die Digitalisierung und die Entwicklung von KI voranzutreiben. Bedenken der Bundesregierung über (mangelnden) Fortschritt bei KI könnten so weit gehen, dass sie in der EU zu einer Kursänderung hin zu einer aktiveren Industriepolitik führen könnten (Economist 2020a). Aber worauf würde es bei einer effektiven Industriepolitik ankommen?

Für die weitere Entwicklung künstlicher Intelligenz werden einige der folgenden Faktoren (nach Horowitz u.a. 2018) entscheidend sein, wobei noch nicht klar ist, welche davon eine Schlüsselrolle spielen werden.

- Verfügbarkeit großer Mengen relevanter Daten

  Zurzeit setzt KI-Entwicklung große Mengen von Daten voraus, so dass Akteure mit entsprechendem Zugang zu Daten einen Vorteil in der Entwicklung fortschrittlicher Anwendungen haben.

- Ausbildung und Einwanderung von Fachkräften

  Es besteht ein allgemeiner globaler Mangel an KI-Fachkräften. Länder, die ihre Bildungssysteme und Einwanderungspolitik auf ein besseres Angebot der relevanten Fähigkeiten ausrichten, werden einen Wettbewerbsvorteil haben.

- Rechenkapazitäten

  KI-Forschung ist sehr aufwendig und setzt daher große und teure Rechenzentren voraus. Dies betrifft vor allem die Entwicklung, aber weniger die Anwendung von KI.

- Organisationen mit Anreizen und Eignung für effektive Nutzung von KI

42 Der Bloomberg Innovation Index bewertet die Innovationskraft von derzeit 60 Ländern mit 7 Kennzahlen – darunter Forschungsausgaben, Konzentration von High-Tech-Unternehmen, Patentanmeldungen, Produktivität und industrielle Fertigung.

Der Erfolg von Technologien (und von Ländern in der Technologieentwicklung) basiert auch auf deren Anwendung und dem organisatorischen Wandel, der zu effektiver Anwendung und der Angleichung von Interessen und Strategien führen kann.

- Öffentlich-private Kooperation

  Zurzeit sind die stärksten KI-Akteure Unternehmen. Staaten sind etwa für KI-Anwendungen in nationaler Sicherheit auf die Innovationskraft privater Akteure angewiesen, während private Akteure auch von Kooperation profitieren können.

Deutschland hat durch den strengen europäischen Datenschutz grundsätzliche Einschränkungen in der Verfügbarkeit und der Nutzungsmöglichkeit von Daten (insbesondere im Vergleich zu China). Die eingeschränkte vorhandene Expertise im Bereich von KI lässt Raum für Verbesserung durch Bildungs- und Einwanderungspolitik offen, aber auch damit wird die Lücke zum Silicon Valley nicht zu schließen sein. Eine erfolgreiche KI-Strategie für Deutschland müsste also diese, wenig aktiv beeinflussbaren, Schwächen durch entschlossenes Vorantreiben der anderen Handlungsfelder kompensieren.

Potenzial für eine solche Kompensierung könnte sich insbesondere durch Synergien zwischen privaten und staatlichen Akteuren in der Entwicklung von KI ergeben. Die Milliardeninvestitionen der Autobauer könnten dazu beitragen, das KI-Ökosystem allgemein voranzutreiben. Versteht man die Aktivitäten der Automobilindustrie als „Enabler“ könnten sie wichtige Impulse in Bildung und Ausbildung setzen, sowie über das Anheuern ausländischer Fachkräfte und Verbindungen zu Niederlassungen im Silicon Valley zur Weiterentwicklung des Talentepools beitragen.

6.2 Regulierung und technologische Richtungsentscheidungen

Technologien können in eine Vielfalt von Richtungen entwickelt werden wobei die Richtung der tatsächlichen Entwicklung teilweise politisch beeinflusst werden kann. Grundsätzlich gibt es ein breites Spektrum von Technologien, die wissenschaftlich möglich sind, wobei dieses Spektrum durch ökonomische Realisierbarkeit und gesellschaftliche Akzeptanz deutlich eingeschränkt wird. Unternehmen haben nicht immer deutliche Präferenzen für die ein oder andere der übrigbleibenden praktikablen Anwendungen, so dass ein staatlicher Nudge oder eine entsprechende Regulierung eine bestimmte Gestaltungsform in den Vordergrund rücken kann (Economist 2020b). Gerade im Zusammenhang von KI und Klimawandel ist die Beeinflussung von Innovation besonders relevant (Economist 2020b).

Im Fall der KI könnte es möglich sein, diese hin zu einer Form entwickeln, in der sie Arbeiter ergänzt und assistiert anstatt sie zu ersetzen (Korinek, Stiglitz, 2017). Dies wird von den Ökonomen Korinek und Stiglitz (2017) als Second-Best-Lösung dargestellt für den Fall, dass die First-Best-Lösung einer umfangreichen Umverteilung der Wohlfahrtsgewinne durch KI nicht erfolgen kann (was aber wohl auch eine eher theoretische Überlegung ist). In diese Richtung gehen prominente Ideen wie die Besteuerung von Robotern. In Deutschland soll

die betriebliche Mitbestimmung bei der Einführung und Anwendung von KI sichergestellt werden (Bundesregierung 2018), was vermutlich einen ähnlichen dämpfenden Effekt auf KI haben wird, die menschliche Arbeit ersetzt.

Ein weiteres wichtiges Regulierungsfeld ist die Handelspolitik beziehungsweise weiter gefasst das gesamte Umfeld für internationalen Wettbewerb von IT- und KI-Unternehmen. Mögliche Hebel sind zum Beispiel Regeln für die lokale Speicherung von Daten, Branchenregulierung (etwa für die Benutzung Drohnen), oder die verpflichtende Bereitstellung von Source Codes (Agrawal u.a. 2018). Ein Regulierungsrahmen solcher und ähnlicher Maßnahmen kann erstens maßgeblich bestimmen, in welche Richtung Dienstleistungen und KI entwickelt werden. Zweitens kann er auch beeinflussen, ob Datenzentren und Jobs in Hauptquartieren im Silicon Valley oder in Europa entstehen.

Im Übrigen ist die Ausgestaltung des Wettbewerbsrechts in Bezug auf die Datenökonomie noch nicht abgeschlossen und einige zentrale Fragen insbesondere im Umgang mit den neuen Akteuren der Plattformökonomie sind noch offen (Haucap 2019). Dies betrifft etwa die Abgrenzung von relevanten Märkten beziehungsweise die Frage, welche Akteure wie miteinander konkurrieren (Haucap 2018). Auch diese Fragen können sowohl die lokalen Aktivitäten ausländischer Digitalunternehmer als auch die Aussichten einheimischer Unternehmen beeinflussen.

6.3 Datenschutz

Datenschutz kann wie eben beschrieben dazu beitragen, Standortentscheidungen nach Europa zu lenken. Andererseits kann ein zu strikter Datenschutz dazu führen, dass einige der in diesem Forschungsvorhaben betrachteten Mobilitätsformen gar nicht oder nur sehr eingeschränkt entstehen können. Das kann insbesondere dahingehend problematisch werden, dass die reale Erprobung von Diensten im Heimatmarkt oft als Erfolgsfaktor gilt und das Fehlen eines solchen Testfelds die Etablierung nationaler Unternehmen behindert oder verlangsamt.

Neue Mobilitätsdienstleistungen wie z. B. On-Demand-Shuttles, E-Scootersharing oder Mitfahrdienste basieren auf Daten. So sind etwa die Standortdaten der Leihfahrzeuge oder die bedarfsgerechte Routenanpassung der Shuttledienste nur deshalb möglich, weil permanent Nutzungsdaten abgerufen, verarbeitet und auch gespeichert werden. Hinter den meisten neuen Angeboten stehen datengespeiste Algorithmen mit denen Muster erkannt und Profile erstellt werden können. Dadurch werden auch die Daten selbst zunehmend zu einem marktfähigen Gut und sind nicht mehr nur Mittel zum Zweck. Zwar werden viele dieser Daten für die Anbieter erst dann geschäftlich relevant, wenn sie in großer Zahl als sogenannte „Big Data“ vorliegen, aber es kann vielfach nicht von vornherein ausgeschlossen werden, dass die mit den Daten verbundenen Informationen weit über den ursprünglichen Erfassungszweck hinausgehend verwendet werden. Aus datenschutzrechtlicher Sicht werden diese Informationen besonders dann problematisch, wenn Daten aus unterschiedlichen Quellen miteinander verknüpft werden können. Dies liegt in einer ökonomischen Plattformstruktur nahe, die zumindest perspektivisch nicht nur Mobilität,

sondern diverse weitere Dienste umfassen kann. Die Datenerfassung kann dann schnell ein Niveau erreichen, dessen Gefahren sowohl für den einzelnen Nutzer als auch für ganze Staaten nicht mehr ersichtlich und abschätzbar sind. Im Folgenden werden diese Gefahren hinsichtlich der individuellen Dimension und danach in der industriepolitischen Dimension skizziert.

Individuelle Gefahren in der Verarbeitung persönlicher Nutzungsdaten können aus Rückschlüssen auf persönliche Interessen, Tagesabläufe, Kaufverhalten und vieles mehr bestehen. Auch Daten, die für die Anbieter selbst geschäftlich nicht relevant sind, können durch die Weitergabe an andere Anbieter oder bei Ausweitung des ursprünglichen Geschäftsfeldes des Anbieters an Bedeutung gewinnen. So kann etwa ein Anbieter, der zunächst nur Mobilitätsdienstleistungen anbot, später Konsumprodukte vertreiben und anhand der Bewegungsdaten das Kaufverhalten der Nutzer bei Konkurrenzunternehmen ausforschen. Auch Dritte wie beispielsweise Versicherungen können Interesse an solchen Daten haben, sofern sie Rückschlüsse auf Risikolagen zulassen.

Industriepolitische Gefahren können beispielswiese die marktverzerrende Ausspähung einzelner Unternehmen beinhalten (Industriespionage). Dies kann nicht nur sicherheits-, sondern auch beschäftigungsrelevant sein, da durch die Marktverzerrung Wettbewerbschancen verringert werden und somit Arbeitsplätze gefährdet sein können. Je mehr geschäftsrelevante Daten auf Mobilitätsplattformen geteilt werden, desto schwieriger könnte es werden, Geschäftsgeheimnisse im jeweiligen Unternehmen zu behalten. Schon heute ist es z. B. möglich, die Standortdaten von Carsharing-Autos durch die Anzeige auf Webseiten zu erfassen (Webscraping). Dies lässt die Analyse geschäftlicher Parameter wie Ausleihhäufigkeit oder Wegstrecken zu. Wenn die Weitergabe solcher Daten selbst zu einem Geschäft wird, kann sich dies auch auf gesamtstaatliche und internationale Ebenen auswirken, indem etwa einzelne Unternehmen die Datenhoheit über kritische Infrastrukturen wie z. B. Verkehrsleitsysteme erlangen, die sich dadurch der politischen Kontrolle in dem jeweiligen Staat entziehen. Diese Gefahren sind umso stärker, je mehr Staaten mangels eigener Anbieter und Plattformbetreiber auf Unternehmen aus den dominierenden Staaten angewiesen sind. Für bedeutende IT-Unternehmen und datenbasierte Mobilitätsdienstleistungen wie z. B. dem US-amerikanischen Unternehmen UBER gibt es in Deutschland und in ganz Europa bislang kein direktes Pendant. Diese Lücke fällt aktuell mangels rechtlicher Zulässigkeit des Gesamtangebotes dieser Plattform (kommerzielle Personenbeförderung durch Privatpersonen) weniger ins Gewicht als im IT-Sektor insgesamt. Dies kann sich aber ändern, wenn internationale Unternehmen Möglichkeiten finden, in den deutschen Markt der Personenbeförderungen einzusteigen. Dann wird entscheidend sein, welches Datenschutzrecht zur Anwendung kommt und welche Instanzen für die Einhaltung zuständig sind.

Eine grundlegende Frage zur Vermeidung der oben erläuterten Gefahren lautet daher: Wie können die Daten so verarbeitet werden, dass einerseits die Datensicherheit gewahrt bleibt und obige Gefahren abgewendet werden, sich aber andererseits die neuen Dienste gleichberechtigt im Markt bewähren können? Ein Ordnungsrahmen der Sicherheit und

Wettbewerb zugleich gewährleisten soll, muss letztlich beiden Seiten Rechnung tragen und eine passende „Eigentumsordnung“ der Datenhoheit entwerfen (BMVI 2017).

Eine Anonymisierung bzw. Pseudonymisierung kann eine mögliche Lösung sein, wenn sich die personen- bzw. unternehmensbezogenen Daten, wie z. B. Name, Adresse oder Geschlecht, von den betrieblich notwendigen Informationen trennen lassen, indem diese durch fortlaufende Nummern oder Ähnliches ersetzt werden. Dieser Ansatz wird teilweise heute schon verfolgt, aber unseres Wissens nicht in einheitlicher Form, so dass bislang keine allgemein anerkannten Sicherheitsstandards bestehen. Allerdings lässt sich selbst in dem Fall, dass dies möglich ist, nicht immer ausschließen, dass über die Verknüpfung verschiedener Datenquellen und leistungsfähiger Filterverfahren spezifische Nutzungs- und Firmenprofile erkennbar werden (z. B. deuten wiederkehrende Start- und Endpunkte in Geodaten auf Wohnadressen hin). Dies könnte letztlich doch wieder Rückschlüsse auf das Verhalten und die Strategien von Einzelpersonen bzw. -organisationen möglich machen. Zudem bieten solche Verfahren keine Sicherheit vor den industriepolitischen Folgen, da hier zwar keine Einzelinformationen, wohl aber die Summe an wirtschaftlichen Informationen wie z. B. die Menge an Transportprozesse oder Standortverteilungen im Vordergrund stehen.

Eine möglichst unabhängige Datenbroker- und Clearingstelle könnte die Zusammenführung und den Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Anbietern so gestalten, dass nur die für das jeweilige Angebot zwingend erforderlichen Daten übermittelt werden (Gebot der Datensparsamkeit). Ein sensibler Aspekt ist hierbei die Trägerschaft einer solchen Stelle. Wenn dies kein staatlicher Träger wäre, sollten für diesen besondere Neutralitätskriterien definiert werden. Zudem hätten Anbieter wie auch Nachfrager klare Ansprechpartner für Auskünfte und etwaige Rechtsansprüche. Diese Feststellung lässt allerdings die Frage offen, inwieweit dies auch auf Plattformbetreiber anwendbar ist, die bereits im eignen Unternehmen unterschiedliche Dienstleistungen und damit Datenquellen vereinen. Die innerhalb solcher Unternehmen stattfindenden Datenaustausche wären auch für eine externe Datenbroker- oder Clearingstelle nicht ohne Weiteres ersichtlich. Hier braucht es entsprechende gesetzliche Vorgaben, unter welchen Bedingungen ein Mobilitätsunternehmen Daten aus verschiedenen Quellen miteinander verknüpfen und verarbeiten darf.

Schließlich könnten auch Sicherheitssiegel nach dem Motto „Datenschutz Inside“ Teil der Gefahrenabwehr sein. Hierrüber könnten Staaten Anforderungen bzw. Zugangsbedingungen definieren und Transparenz gegenüber Endnutzern geschaffen werden. Ein möglicher Nachteil dieser Lösung könnte darin bestehen, dass es eine vertrauenswürdige und international anerkannte Instanz zur Vergabe dieser Siegel braucht, damit sie von den Nutzern akzeptiert wird. Daher stellt sich letztlich auch hier wieder die Frage, welche Organisation für eine datenschutzrechtliche Aufsicht und den Zugang zum Markt verantwortlich sein soll.

6.4 Schlussfolgerung: Effektiver Interessenausgleich

Ein Aufholen bei künstlicher Intelligenz erfordert einen effektiven Interessenausgleich (in Bezug auf Nutzung versus Schutz von Daten, Vorbehalte über Immigration etc.) und entschlossenes Handeln der Verwaltung in Deutschland und der EU. Die Größe und Komplexität der Herausforderung im Wettbewerb mit den KI-Supermächten USA und China macht eine optimale Koordination und Kooperation öffentlicher und privater Akteure in Deutschland unabdingbar. Die Rolle des Staates sollte dabei nicht unterschätzt werden, da er bei der Entwicklung neuer Technologien eine oft enorm unterschätzte Rolle spielt (Mazzucato 2018).

Bisher scheint sich die Digitalstrategie der Bundesregierung vor allem auf Handlungsfelder zu fokussieren, in denen keine Verlierer zu erwarten sind, insbesondere den Breitbandausbau und die Digitalisierung der öffentlichen Verwaltung (Haucap 2018). Gleichzeitig betreibt Deutschland in vielen Bereichen eine innovationsfeindliche Politik, die vor allem darauf ausgerichtet ist, die Interessen gut repräsentierter etablierter Unternehmen (die potenziellen Verlierer) über die Innovationen disruptiver neuer Akteure zu stellen, die kaum über Lobby-Macht verfügen (Haucap 2018).

Die KI-Strategie der Bundesregierung greift zwar einige der wahrscheinlich wichtigsten Punkte auf, zum Beispiel die Mobilisierung von Daten und die Entwicklung des Talentpools durch Ausbildung wie auch durch Immigration (Bundesregierung 2018). Allerdings erscheinen diese potenziell kontroversen Handlungsfelder erst gegen Ende der Strategie – vorangestellt sind wiederum wenig kontroverse Themen wie eine allgemeine Forschungsförderung. Es bleibt abzuwarten, wie konkret und entschlossen die kontroverseren Themen wie Daten und ein pragmatisches Einwanderungsgesetz zur Gewinnung von Fachkräften angegangen werden. Mit anderen Worten: Ob und wie die größeren Interessenkonflikte angegangen oder aufgeschoben werden ist noch unklar und damit auch, ob es zu einem effektiven Interessenausgleich kommen wird.

Zusammenfassend stellen wir fest, dass der Erfolg der deutschen Digitalisierung und KI-Entwicklung sowie die dadurch hier entstehende Wertschöpfung und Entwicklung – nicht nur aber auch im Verkehrssektor – maßgeblich auf den folgenden Faktoren basieren werden:

- die weitere Entwicklung autonomen Fahrens, insbesondere der Zeithorizont für KI-intensivere höhere Automatisierungsstufen
- die weitere technologische Entwicklung von KI, unter anderem wie einfach Errungenschaft übertragbar/imitierbar (und damit von anderen Unternehmen als den Entwicklern anwendbar) oder von den Entwicklern monopolisierbar sein werden
- damit verbunden die Dominanz amerikanischer und chinesischer Akteure
- die Fähigkeit deutscher Konzerne, die Lücke in KI-Kompetenzen zu schließen
- die Entschlossenheit und Effektivität deutscher und europäischer Behörden in der Förderung von KI und Kooperation mit relevanten privaten Akteuren

- Regulierung von Digitalisierung und KI sowie Wettbewerbspolitik und deren Einfluss auf Standortentscheidung; möglicherweise politischer Einfluss auf Richtungsentscheidungen in der Technologieentwicklung (zum Beispiel in Richtung von KI, die menschliche Arbeit ergänzt und assistiert statt sie zu ersetzen)

Es besteht also erheblicher Gestaltungsspielraum, falls der entsprechende politische Mut gefasst werden kann.

7 Vergleich mit anderen Studien

Die Analysen in diesem Arbeitspapier bearbeiten zwei Aspekte, die zum Vergleich mit anderen Studien anregen: (1) die gesamtwirtschaftliche Wirkung nachhaltiger Mobilität, die zu Klimaschutz und einem Green New Deal beitragen kann; (2) die Wirkung der Elektrifizierung bzw. der Transformation der (Auto-)Mobilität auf die Beschäftigung in Deutschland. Die hier vorgestellten Ergebnisse zu beiden Aspekten werden im Folgenden mit ähnlich gelagerten Studien verglichen.

7.1 Gesamtwirtschaftliche Analysen zu Mobilität und Klimaschutz

Dieses Arbeitspapier stellt die ökonomischen Chancen nachhaltiger Mobilität, die unter anderem auch die Klimaziele einhalten würde, in den Vordergrund. Diese Chancen ergeben sich dadurch, dass die Anforderungen an die Transformation ein Investitionsprogramm erfordern, welches die Ökonomie stimuliert. Damit ist die dynamische, gesamtwirtschaftliche Analyse konsistent mit anderen Studien, die in den letzten 10 Jahren zu ähnlichen Schlussfolgerungen gelangten und durch Klimaschutz positive Wachstums- und Beschäftigungseffekte erwarten. Wir haben unsere Ergebnisse in einer kompakten Metaanalyse mit sechs gesamtwirtschaftlichen Studien verglichen, die sich entweder nur mit dem Politikfeld Mobilität oder mit der gesamten Volkswirtschaft (d.h. allen klimarelevanten Politikfeldern: Mobilität, Energie, Industrie, Landwirtschaft, Gebäude und Haushalte) befasst haben. Die Studien beziehen sich auf unterschiedliche Klimaschutzprogramme, die teils bereits verabschiedet waren, teils der Vorbereitung eines Politikprogramms zum Klimaschutz in Deutschland dienten. Im Folgenden sind die Studien anhand ihres Veröffentlichungsdatums chronologisch aufgelistet, kurz beschrieben und ihre Aussagen zu gesamtwirtschaftlichen Wirkungen in Tabelle 11 zusammengefasst.

Das Integrierte Meseberger Energie- und Klimaschutzprogramm (IEKP) der Bundesregierung von 2007 mit Konkretisierungen in 2008 war ausgerichtet auf die Klimaschutzziele für 2020. Das IEKP umfasste 29 Maßnahmen. Die Analyse und Wirkungsabschätzung der Maßnahmen im Projekt *Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland* (**KlimInvest**) durch Jochem et al. (2008) erstreckte sich auf den Zeitraum 2008 bis 2030. Als typisches gesamtwirtschaftliches Klimaschutzprojekt waren in der Studie alle relevanten treibhausgasemittierenden Sektoren Teil der Analyse. Die gesamtwirtschaftlichen Wirkungen wurden mit der europäischen Version des ASTRA-Modells abgeschätzt, welche für Deutschland um einzelne Sub-Modelle erweitert wurde. Die Quantifizierung mit dem ASTRA-Modell setzt auf einer Bottom-up gestützten Analyse der Preis- und Kosteneffekte der Maßnahmen (z.B. Energiepreise, Preise der Wärmeversorgung, Pkw-Preise, etc.) und einer Abschätzung der zusätzlichen oder verdrängten Investitionen in den verschiedenen Sektoren auf. Die quantifizierten Maßnahmenwirkungen wurden ergänzt und gestützt durch Innovationsanalysen zur relativen Stärke und Innovationsfähigkeit der deutschen Industrie bei relevanten Klimaschutztechnologien auf dem Weltmarkt. Damit verfolgte die Studie einen ausgeprägt holistischen Ansatz, der technologiegetriebene Bottom-up Analysen mit gesamtwirtschaftlicher Modellierung verknüpfte. Für den Verkehrsbereich waren die ersten

Umsetzungsschritte – für auch heute noch relevante Maßnahmen – Bestandteil des Klimaschutzprogramms wie z.B. CO_2-Effizienstandards für die Pkw Neuwagenflotte (damals noch das 130 g/km Ziel für 2012, welches dann auf 2015 verschoben wurde), die Umstellung der Kfz-Steuer auf CO_2-Basis und die Anpassung der Dienstwagenbesteuerung als Instrumente zur Steuerung des Neuwagenkaufs, oder die Lkw-Maut zur Setzung von Anreizen beim Lkw-Kauf und im Güterverkehr. Drei zentrale Impulse des IEKP Maßnahmenprogramms triggern die gesamtwirtschaftlichen Effekte: (Netto-) Investitionen, Energiekosten und Energieausgaben sowie verringerte Energieimporte. Der Bruttoinvestitions-Impuls des Programms betrug beispielsweise bis zu 40 Mrd. $€_{2005}$ jährlich, der Nettoinvestitions-Impuls nur bis zu 20 Mrd. $€_{2005}$ jährlich. Die induzierte gesamtwirtschaftliche Wirkung belief sich auf einen Zuwachs des Bruttoinlandproduktes (BIP) in 2020 von 72 Mrd. $€_{2005}$ (+2.4%) und von 105 Mrd. $€_{2005}$ (+3.1%) in 2030. Die Beschäftigung wuchs durch das IEKP um 500 Tausend Erwerbstätige bis 2020 und um gute 900 Tausend bis 2030. Nach unserer Einordnung stellt diese Analyse eine der ersten umfassenden Wirkungsabschätzungen der deutschen Klimapolitik dar, bei der sich die gesamtwirtschaftliche Analyse auf eine detaillierte technologie-scharfe Bottom-up Analyse stützt.

Der Analyse *Gesamtwirtschaftliche Wirkungen von Energieeffizienzmaßnahmen in den Bereichen Gebäude, Unternehmen und Verkehr* (**IKEP-Makro**) von Schade et al. (2009b) wurde ebenfalls das IEKP von 2007 zugrunde gelegt. Im Gegensatz zur vorgenannten Studie (KlimInvest) wurde hier die gesamtwirtschaftliche Wirkung der Maßnahmen einzelner Sektoren separat untersucht, unter anderem für den Verkehrssektor. Daher ist die Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes ähnlich wie in dieser Studie. Als Modell wurde ebenfalls die europäische Version des ASTRA-Modells genutzt. Für den Vergleich der Wirkungsabschätzung werden nur das Maßnahmenprogramm (Klimaeffizienz des Straßenverkehrs, mit Fokus auf Pkw-Verkehr) und die gesamtwirtschaftlichen Ergebnisse für den Verkehrssektor herangezogen. Treiber der Maßnahmenwirkung sind zusätzliche Investitionen der Automobilindustrie zur Entwicklung effizienterer Pkw, inklusive Elektrifizierung, sowie Einsparung bei Energieausgaben der Pkw-Nutzer und Verringerung der Energieimporte. Im Vergleich der in IKEP-Makro untersuchten Sektoren erbringt der Verkehrssektor absolut den geringsten Beitrag zu BIP- und Beschäftigungswachstum. Allerdings liegt auch der kumulierte Investitionsimpuls mit am niedrigsten, so dass die Effektivität der Investitionen im Hinblick auf positive gesamtwirtschaftliche Effekte eher als hoch eingestuft werden kann. Die Maßnahmen im Verkehrssektor mit Fokus Pkw erhöhen das BIP in 2020 um +19 Mrd. $€_{2005}$ (+0.6%) und in 2030 um +24 Mrd. $€_{2005}$ (+0.7%). Die Zahl der Erwerbstätigen erhöht sich um +210 Tausend in 2020 und um +240 Tausend in 2030. Als Gesamtfazit der Analyse wurde festgestellt, dass kurz- bis mittelfristig der Investitionsimpuls einen Wachstumsschub bringt, während langfristig sich die durch die Maßnahmen kumulierte Senkung der Energieausgaben von Industrie und Haushalten stärker positiv auswirkt. Dies galt insbesondere für die Sicherung bzw. das Wachstum der Beschäftigung.

Die Studie *Klimaschutzszenario 2050 - zweite Runde* (**KSZ-2050-2**) von Repenning et al. (2015) basiert auf der nächsten Generation der strategischen Beschlüsse der

Bundesregierung für den Klimaschutz: dem *Energiekonzept* der Bundesregierung von 2010 (BMWi/BMUB 2010) mit konkretisierenden Beschlüssen im Juni 2011 sowie dem *Aktionsprogramm Klimaschutz 2020* (BMUB 2014). Die Studie untersucht mit einem umfangreichen technologie-basierten Bottom-up Ansatz die Entwicklung für alle treibhausgasemittierenden Sektoren bis 2050. Dabei werden eine große Zahl sektorspezifischer Modelle gekoppelt (z.B. ELIAS, ERNSTL, EE-Lab, FORECAST, INVERT, PowerFlex, PowerAce, TEMPS, etc.) und zunächst durch übergeordnet festgelegte Rahmenbedingungen (z.B. Bevölkerung, BIP, Energiepreise, sektorale Bruttowertschöpfung) harmonisiert. Auf dieser Basis werden anschließend zukünftige Investitionsentscheidungen und Technologiehochlaufkurven für die Szenarien modelliert. Als Szenarien werden neben dem Referenzszenario (AMS = Aktuelle Maßnahmen Szenario) zwei Klimaschutzszenarien modelliert, die zu einer THG-Reduktion von -80% in 2050 führen (KS-80) bzw. zu -95% in 2050 (KS-95). Für die Meta-Analyse wurde das KS-80 Szenario herangezogen, da es besser vergleichbar mit den Szenarien der übrigen Studien ist. Für die gesamtwirtschaftliche Analyse wurden die sektorspezifischen Bottom-up Modelle mit zwei makro-ökonomischen Modellen gekoppelt: (1) einer der ersten Versionen des deutschen ASTRA-Modells (ASTRA-D und damit einem Vorläufer des in dieser Studie entwickelten ASTRA-HBS Modells) und (2) dem globalen Modell FARM-EU, welches im Gegensatz zur ASTRA Modellfamilie als Gleichgewichtsmodell (CGE = Computable General Equilibrium Model) konzipiert ist. Die Ergebnisse der gesamtwirtschaftlichen Analyse stammen von ASTRA-D, während FARM-EU zur Bewertung möglicher Auswirkungen der Klimapolitik auf den Außenhandel genutzt wurde. Insbesondere die sektorale Umlegung der technologiedifferenzierten Investitionsentscheidungen aus den Bottom-up Modellen führt zu sektoral bedeutsamen Investitionsimpulsen im ASTRA-D Modell. Dabei wird die Gegenfinanzierung über verschiedene Optionen sichergestellt (z.B. Preiserhöhungen, staatliche Zuschüsse, einbehaltene Gewinne aus Vorperioden, etc.). Die Impulse der Klimaschutzpolitik führen im KS-80 Szenario bis 2030 zu einem um +2.7% erhöhten BIP und bis 2050 um eine Erhöhung von +4.4%. Der Zuwachs bei den Erwerbstätigen fällt mit +1.9% in 2030 und mit +1.3% in 2050 auch hier geringer als für das BIP aus. Die Verbesserung der gesamtwirtschaftlichen Produktivität fällt größer aus als der Zuwachs des BIP. Als Fazit wird auf den seit Jahren in Deutschland vorherrschenden Überschuss an Investitionskapital hingewiesen, welches durch die politikgetriebene Notwendigkeit zur ambitionierten THG-Reduktion von der Schaffung attraktiver, realwirtschaftlicher Investitionsmöglichkeiten profitiert.

In einer internationalen Studie zu *Low-Carbon Cars in Germany* (**Fuelling-DE**) (CE/EE/M-Five 2017) wurden verschiedene technologiegetriebene Dekarbonisierungs-Pfade für die deutsche Pkw-Flotte untersucht. Die Szenarien wurden in einem Expertengremium mit Vertretern der deutschen Automobil- und Energieindustrie festgelegt und entstammen im Gegensatz zu den vorhergehenden Studien nicht aus einer politik- und kostengetriebenen Bottom-up Modellierung. Hier ähnelt Fuelling-DE dem Vorgehen der vorliegenden Studie. Die Szenarien bestanden im Wesentlichen aus verschiedenen Markthochlaufkurven der alternativen Antriebstechnologien für Pkw (BEV, PHEV, FCEV) inklusive der notwendigen Anpassung der Energieinfrastruktur (Schnelllader, private Ladestationen, H_2-Tankstellen, etc.). Die Effekte auf Fahrzeugpreise und Nutzerkosten in den Szenarien wurden basierend

auf den europäischen Datenbanken zur Definition der Regulierung der CO_2-Emission von Neuwagen in der EU für 2021 mit einem Bottom-up Ansatz abgeleitet. Das Referenzszenario beinhaltete die 95g-CO_2-Standards für die Pkw-Neuwagenflotte in 2021. Die Modellierung der gesamtwirtschaftlichen Wirkungen erfolgte mit dem europäischen Modell E3ME von Cambridge Econometrics. Das E3ME-Modell ist ein multi-sektorales, multi-regionales Modell, dessen Funktionsgleichungen ökonometrisch geschätzt sind. Für den Vergleich in der Metaanalyse wurde das TECH-Szenario herangezogen, in welchem alle alternativen, elektrifizierten Antriebstechnologien in den Markt gelangen und gleichzeitig auch weitere Effizienzpotenziale von Verbrennern durch Hybridisierung gehoben werden. In 2030 entfallen fast 40% der Pkw-Neuzulassungen auf elektrifizierte Antriebe (BEV: 10%, PHEV: 20%, FCEV: 7%) sowie 43% auf hybridisierte Verbrenner. Für das TECH-Szenario ergibt sich gegenüber dem Referenzszenario bis 2030 ein BIP-Zuwachs von +0.6% und bis 2050 von +1.3%. Die Beschäftigung erhöht sich in Deutschland bis 2030 um +145 Tausend und bis 2050 um +197 Tausend. Die Analyse gelangt für 2030 mit +0.6% BIP-Zuwachs zu einem ähnlichen gesamtwirtschaftlichen Nutzen der Einführung der CO_2-Standards nach 2021 wie die Analyse der 2015er CO_2-Standards in IKEP-Makro (Schade et al. 2009, siehe oben). Die ökonomischen Impulse werden in den bisher genannten vier Studien konsistent beschrieben: zusätzliche Investitionen in effizientere Technologien erhöhen die Produktivität, effizientere Fahrzeuge senken die Total-Cost-of-Ownership (TCO) der Nutzer und verringerter Energieverbrauch im Verkehr führt zu deutlich sinkenden Energieimporten nach Deutschland.

Die Auswertung der folgenden Studie (**Klimapfade**) basiert auf zwei Veröffentlichungen. Kern der Studie waren die *Klimapfade für Deutschland* von BCG/Prognos (2018) im Auftrag des Bundesverbandes der deutschen Industrie (BDI). Darauf aufbauend fand eine vertiefte volkswirtschaftliche Analyse der Beschäftigungseffekte der entwickelten Szenarien statt, veröffentlicht in *Beschäftigungseffekte der BDI-Klimapfade* (Prognos 2019b). Die Szenarien stellen kosteneffiziente Entwicklungen zur Erreichung der THG-Reduktionsziele für Deutschland bis 2050 dar. Die Zielvorgaben für 2050 orientieren sich am Klimaschutzplan 2050 (KSP-2050) der Bundesregierung. Dabei wurden als Ziele eine -80%- und eine -95%-THG-Reduktion gegenüber 1990 vorgegeben. Eine Variation der Szenarien erfolgte für den Fall nationaler Alleingänge gegenüber einem global abgestimmten Ansatz. Für den Vergleich in der Metaanalyse wurde hier das 80%-THG-Reduktionsszenario mit globaler Kooperation verwendet (G80). Die Ausprägungen der Technologien wurden für die Szenarien entwickelt aus einer Kombination von Experteneinschätzung durch die beteiligten Verbände und Unternehmen und der Modellierung. Als Sektoren wurden Industrie, Verkehr, Haushalte, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD), Energieerzeugung und -umwandlung sowie Land- und Abfallwirtschaft betrachtet, und mit sektorspezifischen, technologiedifferenzierenden Modellen modelliert. Für den Verkehrssektor werden auch hier bis 2030 substanzielle Marktanteile elektrifizierter Pkw bei den Neuzulassungen in Deutschland unterstellt (BEV: 26%, PHEV: 16%). 23% der Neuzulassungen in 2030 entfallen auf hybridisierte Verbrenner. Die gesamtwirtschaftliche Analyse greift auf einen Modellverbund zurück bestehend aus einem nationalen dynamischen Input-Output-Modell mit 72 Wirtschaftssektoren und dem weltwirtschaftlichen Simulationsmodell VIEW, welches

für die Modellierung der Wirkungen auf den Außenhandel genutzt wird. Der Brutto-Investitionsimpuls im G80-Szenario beläuft sich auf durchschnittlich 25 Mrd. €$_{2015}$. Außerdem wirken sich auch in dieser Modellierung die Senkung der Energieausgaben durch Effizienztechnologien als auch die Verringerung der Energieimporte stimulierend auf die Volkswirtschaft aus. Das BIP steigt bis 2020 um +9 Mrd. €$_{2015}$ (+0.3%) und bis 2030 um +21 Mrd. €$_{2015}$ (+0.5%). Die Beschäftigung vergrößert sich in 2020 um +23 Tausend (+0.1%) und in 2030 um +42 Tausend (+0.1%). Insgesamt weist die Studie Klimapfade die geringsten – wobei immer noch positiven – ökonomischen Wirkungen aus. Die untersuchten Szenarien setzen einen wirksamen Carbon-Leakage Schutz voraus. Sie berücksichtigen nicht die möglichen ökonomischen Potenziale durch zusätzliche Exporte von Klimaschutz-technologien. Lassen sich diese realisieren, fallen die ökonomischen Wirkungen positiver aus. Es wird ebenfalls konstatiert, dass der positive ökonomische Effekt von einer Umschichtung der Ausgaben für Importe von (fossilen) Energieträgern hin zu Investitionsgütern und damit zu Produkten mit einem größeren Anteil nationaler Wertschöpfung resultiert.

Die Studie *Folgenabschätzung zu den ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Folgewirkungen der Sektorziele für 2030 des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung* (**IA-KSP-2050**) von ÖKO-Institut et al. (2020) ist die zweite Studie, die am KSP-2050 der Bundesregierung ausgerichtet ist. Allerdings erfolgt die Analyse mit Fokus auf die Erreichung der Sektorziele im Jahr 2030 und nicht für den Zeithorizont 2050 wie in der Studie Klimapfade. Der Ansatz der Studie besteht ähnlich wie im oben genannten Projekt KSZ-2050-2 aus einer Kopplung von verschiedenen sektoralen technologie-differenzierten Bottom-up Modellen mit einem gesamtwirtschaftlichen Modell, welches für Analysen der sektoralen Bruttowertschöpfung um ein weiteres Modell ergänzt wurde. Folgende Sektoren werden in der techno-ökonomischen Analyse und damit bei der Ermittlung von Investitions- und Kostenimpulsen für die gesamtwirtschaftliche Analyse betrachtet: Gebäude, Industrie, Verkehr, Energie-, Land- und Abfallwirtschaft. Der Kern der gesamtwirtschaftlichen Analyse erfolgt mit dem systemdynamischen Modell ISI-Macro, welches aus der ASTRA-Modellfamilie hervorgegangen ist. Den Kern von ISI-Macro bildet eine dynamische Input-Output-Tabelle die im Vergleich mit ASTRA-HBS von 58 auf 72 Sektoren erweitert wurde. Zur Modellierung der sozio-ökonomischen Rahmenannahmen wird zusätzlich das weltwirtschaftliche Simulationsmodell VIEW genutzt. Zwei Szenarien, die zur Erreichung der Sektorziele des KSP-2050 in 2030 führen können, wurden abgeschätzt: (1) Zielpfad A (Zp A) mit Schwerpunkt auf Effizienzverbesserung, und (2) Zielpfad B (Zp B) mit Schwerpunkt auf Einsatz von erneuerbaren Energien. Für den Vergleich in der Metaanalyse wird das Szenario mit Fokus Effizienz genutzt, also Zp A. Die Struktur der Neuzulassungen von Pkw nach Antriebsarten weist in 2030 eine ausgeprägte Elektrifizierung auf mit einem Anteil von 75% elektrifizierten Pkw (BEV: 46%, PHEV: 29%). Als ökonomische Impulse gehen in ISI-Macro die Veränderung der Investitionen (Netto-Investitions-Impuls), die Veränderung der Konsumausgaben und die Änderung der Importe über Änderungen der Nachfragevektoren ein sowie die Veränderungen der intermediären Inputs zwischen den Wirtschaftszweigen. Es ergibt sich auch in dieser Studie ein positiver Impuls auf das BIP mit +13 Mrd. €$_{2010}$ in 2020 (+0.4%) und +55 Mrd. €$_{2010}$ in 2030 (+1.6%). Die Beschäftigung steigt um +0.4% in

2020 und um +1.2% in 2030 gegenüber dem Referenzszenario. Dies entspricht einem Zuwachs von +427 Tausend Beschäftigten. Damit liegt die Studie in der ökonomischen Bewertung der Wirkung der Klimaschutzpolitik in Deutschland zwischen den Ergebnissen der Klimapfade und der beiden anderen umfassenden Analysen KlimInvest und KSZ-2050-2.

Tabelle 11 fasst die Ergebnisse der in den Studien ermittelten Wirkungen für das BIP und die Erwerbstätigkeit zusammen. Einige Studien haben jeweils mehrere Szenarien untersucht. Für den Vergleich wurde:

(1) jeweils – wenn in den Studien untersucht – das Szenario mit Fokus (Energie-) Effizienz ausgewählt, da die Mehrzahl der Studien ein solches Szenario definiert hatte.
(2) ein Szenario mit mittlerem Ambitionsniveau gewählt, d.h. Szenarien, die zu einer 80%-THG-Reduktion in 2050 führen, da hier die Konsistenz der Politikprogramme größer war und im letzten Jahrzehnt der real implementierte Politikpfad eher zwischen den jeweiligen Referenzszenarien und einem 80%-Szenario lag, als in Richtung einer 95%-THG-Reduktion orientiert war.

Die Spalte „*Studie*“ verweist anhand der Akronyme auf die im vorstehenden Text genannten Studien. Die Spalte „*Zeithorizont*“ gibt den zentralen Horizont der jeweiligen Studie an mit den verschiedenen Horizonten 2020, 2030, 2035 und 2050 sowie den Zeitraum über den sich die Analyse erstreckte, da alle Studien immer auch einen Entwicklungspfad über mehrere Jahrzehnte beschreiben. In der Spalte „*Politikfeld*“ wird dargestellt, ob die gesamtwirtschaftlichen Ergebnisse nur in Folge von Maßnahmen im Verkehrssektor generiert werden, oder ob sie Folge eines Klimaschutzprogramms sind, in dem alle relevanten Sektoren adressiert wurden.

Die Spalte „*BIP*“ gibt die Wachstumswirkung auf das BIP zu verschiedenen Zeitpunkten an, und die Spalte „*EWT*“, die Wirkung auf Erwerbstätige, wobei hier, wenn verfügbar, die Angabe in Vollzeitäquivalenten (VZÄ) genutzt wurde. Wenn verfügbar wurde sowohl die absolute als auch die relative Wirkung gegenüber dem jeweiligen Referenzszenario angegeben. Für alle Studien war es möglich, die Wirkung für das Jahr 2030 auszuweisen. Als weiterer Zeithorizont konnten die Jahre 2020 oder 2050 für den Vergleich analysiert werden.

Tabelle 11: Übersicht der Studienergebnisse zu gesamtwirtschaftlichen Wirkungen von Klimaschutz, teils mit Fokus auf Mobilität

Studie	Modell	Horizont (Zeitraum)	BIP % zu REF Mrd. €Preisbasis	EWT % zu REF in 1000	Politikfeld (weitere)	Anmerkung (Veröffentl. Jahr)
KlimInvest	ASTRA-EU	**2020** (2008 - 2030)	2020: +2.4% 2030: +3.1% 2020: +72 Mrd. €2005 2030: +105 Mrd. €2005	2020: +1.3% 2030: +2.4% 2020: +500 2030: +900	**Alle**	Inkl. Innovations- und Wettbewerbs-analyse (**2008**)
IKEP-Makro	ASTRA-EU	**2020** (2008 - 2030)	2020: +0.6% 2030: +0.7% 2020: +19 Mrd. €2005 2030: +24 Mrd. €2005	2020: +0.5% 2030: +0.7% 2020: +210 2030: +240	**Nur Verkehr,** (Gebäude, Industrie)	Wirkung einzelner Sektoren (**2009**)
KSZ-2050-2	ASTRA-D, FARM-EU	**2050** (2015-2050)	2030: +2.7% 2050: +4.4%	2030: +1.9% 2050: +1.3%	**Alle**	Szenario KS80 (**2015**)
Fuelling-DE	E3ME	**2050** (2015-2050)	2030: +0.6% 2050: +1.3%	2030: +145 2050: +197	**Verkehr nur Pkw**	Szenario TECH (**2017**)
Klimapfade	IO-Modell, VIEW	**2050** (2016-2050)	2020: +0.3% 2030: +0.5% 2020: +9 Mrd. €2010 2030: +21 Mrd. €2010	2020: +0.1% 2030: +0.1% 2020: +23[43] 2030: +42	**Alle**	Szenario G80 (**2018, 2019**)
IA-KSP-2050	ISI-Macro	**2030** (2017-2030)	2020: +0.4% 2030: +1.6% 2020: +13 Mrd. €2010 2030: +55 Mrd. €2010	2020: +0.4% 2030: +1.2% 2030: +427	**Alle**	Szenario ZP A (**2019**)
HBS-NM	ASTRA-HBS	**2035** (2017 – 2035)	2020: -0.2% 2030: +0.6% 2020: -6 Mrd. €2010 2030: +20 Mrd. €2010	2020: -0.4% 2030: +2.6% 2020: -139 2030: +626	**Nur Verkehr**	Szenario ES-35 (**2020**)

Quelle: eigene Zusammenstellung, M-Five

Die Wirkung auf das BIP in 2030 durch Maßnahmen im Verkehrssektor ist in allen Szenarien moderat positiv mit einer Zunahme von +0.6% bis 0.7% (IKEP-Makro, Fuelling-DE, HBS-NM). Die vollständige Berücksichtigung des Klimaschutzprogramms in allen Sektoren führt zu BIP-Zuwächsen in 2030 zwischen +1.6% und +3.1%. Konsistent über alle Modelle und Szenarien zeigt sich eine **positive Wirkung der Klimaschutzpolitik auf das deutsche BIP**.

Ähnlich fällt das Ergebnis für die Beschäftigungswirkung aus. Auch hier ergeben sich für 2030 in allen Studien Zuwächse durch die Klimapolitik. Allerdings ist die Bandbreite der Ergebnisse deutlich größer mit ca. +0.5% bis +2.6% für rein verkehrsbezogene Studien, und nahe +0% bis +2.4% für die alle Sektoren umfassenden Klimaschutzstudien. Dies zeigt, dass Einflüsse auf **die Beschäftigung von einer größeren Zahl politisch und unternehmerisch gestaltbaren Einflussfaktoren abhängig** sind und diese in den Studien unterschiedlich gesetzt und interpretiert wurden.

43 Prognos (2019b) weist hier leicht veränderte Angaben aus: 2020: +42 Tausend, 2030: +11 Tausend Beschäftigte (S.41).

Nach unserer Einordnung hat bisher keine der untersuchten Vergleichsstudien ähnlich ambitionierte Veränderungen wie in den Szenarien ES-35 und MM-35 entworfen und modelliert. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass sie sowohl eine Berücksichtigung der Änderung der Investitionsimpulse, der Energieimporte, der Energie- und Verkehrsausgaben und damit Änderungen auf Angebots- und Nachfrageseite (über Preis- und Kosteneffekte) vorsehen, als auch massive Änderungen im Nachfrageverhalten. Letztere erfolgen durch Nutzung von neuen Mobilitätsdienstleistungen statt Pkw-Besitz und bedeuten eine deutliche Verschiebung der Nutzer- und Käuferpräferenzen in der Mobilität. Auch die Verschiebung zu elektrischen Antrieben bei Pkw-Neuzulassungen verläuft in ES-35 mit 92% Anteil (BEV: 71%, PHEV: 21%) in 2030 schneller.

7.2 Beschäftigungsanalysen der Transformation der E-Mobilität

Die Beschäftigungswirkung eines Markterfolgs der E-Mobilität bei Pkw wurde in zahlreichen Studien untersucht. In der folgenden kompakten Metaanalyse werden fünf Studien anhand ihres methodischen Ansatzes, ihrer Marktdurchdringung mit E-Pkw und der ermittelten Beschäftigungswirkung verglichen.

Die betrachteten Studien können in die beiden Gruppen Partial-Analysen der Transformation des Automobilsektors und systemische, gesamthafte Analysen der Transformation der Mobilität inklusive Elektrifizierung unterschieden werden. **Partial-Analysen** betrachten nur ausgewählte Sektoren, hier den Automobilsektor und dessen Zuliefersektoren, aber nicht die Sektoren in denen Beschäftigung durch neue Mobilitätsdienstleistungen entsteht und teils auch nicht die neuen Komponenten (z.B. Digitalisierung), die zur Beschäftigung zukünftig beitragen. Zu den Partial-Analysen zählen in der Metaanalyse *ELAB 2.0* (Bauer et al. 2018), *Elektromobilität 2035* des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) (Schneemann et al. 2018) und die *Strukturstudie BW^{e} mobil 2019* (e-mobil BW 2019). Die IAB-Studie führt eine gesamtwirtschaftliche Analyse durch, wie sie im vorhergehenden Kapitel diskutiert wurde, berücksichtigt dabei aber nur Impulse aus dem Automobilbereich, nicht dem gesamten Mobilitätssystem.

Die Gruppe der **systemischen, gesamthaften Analysen** beschreibt die Transformation des gesamten Mobilitätssystems. Dabei variiert der Detailgrad der Betrachtung der Automobilindustrie gegenüber den Partial-Analysen und ist gröber als z.B. in der ELAB- oder der Strukturstudie. In allen Studien wird aber die Wirkung der Elektrifizierung und die Abwendung vom Verbrennungsmotor betrachtet. Zur Gruppe der systemischen, gesamthaften Analysen gehören die Studien *Mobiles Baden-Württemberg (*BW Stiftung 2017*)* und die Studie zu den *Beschäftigungseffekten nachhaltiger Mobilität*, zu der dieses Arbeitspapier gehört. Allerdings ist unsere Studie die einzige, die eine regional differenzierte Analyse der Beschäftigungswirkung vornimmt (siehe AP3, Wagner et al. 2019).

Zwei der Studien, die Strukturstudie und Mobiles Baden-Württemberg, fokussieren Baden-Württemberg als Untersuchungsraum, während die vorliegende Studie Deutschland mit allen Bundesländern betrachtet.

Die Studie *ELAB 2.0 Wirkungen der Fahrzeugelektrifizierung auf die Beschäftigung am Standort Deutschland (***ELAB 2.0***)* (Bauer et al. 2018) verfolgt einen produktionsbezogenen Bottom-up Ansatz zur Quantifizierung der Beschäftigungswirkungen der Elektrifizierung im Pkw-Bereich. Für die Analyse der Beschäftigung werden ausschließlich die antriebsstrang-bezogenen Komponenten herangezogen und z.B. nicht das Interieur oder die Gesamtfahrzeugmontage. Dabei werden die verschiedenen alternativen Antriebsstränge (Verbrenner, Hybride, BEV, PHEV) in ihre Komponenten zerlegt und diese wiederum in die Produktionsschritte für ihre Herstellung. Auf der Ebene der Produktionsschritte wird die Zahl der Beschäftigten analysiert und beim Zusammensetzen des Antriebsstranges die Zahl der Beschäftigten aggregiert. Dabei werden unterschiedliche Konfiguration für die Produktion berücksichtigt (z.B. 1-Schichtbetrieb, 2-Schichtbetrieb, etc.). Der Einfluss der Produktivität wird auf der Ebene der Stückzahlen nicht der Wertschöpfung berücksichtigt. Der Export von Fahrzeugen oder Komponenten ist nicht betrachtet. Die Wirkung der Elektrifizierung wird anhand der in Deutschland abgesetzten Zahl an Pkw in 2016 hochskaliert von der Bezugsgröße 1 Mio. Antriebsstränge auf den Gesamtabsatz. Es werden drei Szenarien bewertet mit unterschiedlichen Markthochläufen der E-Mobilität, die in 2030 zu Neuzulassungsanteilen von elektrifizierten Pkw (xEV) von 40% (Szenario 1, Sz1), 60% (Sz2) und 90% (Sz3) führen. Der Szenarioraum wird erweitert durch Varianten der Produktivitätsentwicklung bis 2030 aber auch im Verlauf von 2016 bis 2017. Die Produktivität verbessert sich für konventionelle Komponenten um +2% p.a. und für elektrifizierte Komponenten um +3% p.a. Mit diesen Einflussfaktoren ergeben sich in den zentralen Szenarien mit Produktivitätssteigerung im Bereich des Antriebsstrangs in Deutschland Rückgänge der Beschäftigung von -76,000 (-37%), -82,000 (-40%) und -109,000 (-53%) Personen in 2030 gegenüber 2017. Der Automobilindustrie ist es in den vergangenen beiden Jahrzehnten gelungen, kontinuierlich Mehrwert im Pkw zu generieren durch Einbau zusätzlicher Komponenten bzw. Leistungs- und Komfortsteigerung. Dadurch stiegen die realen Pkw-Preise. Diese Mehrwert-Generierung ist in ELAB nicht berücksichtigt. Stattdessen werden im Zeitverlauf dieselben Antriebe unterstellt, wodurch eine Unterschätzung der Beschäftigung in der Zukunft entstehen dürfte.

Die Studie *Elektromobilität 2035 Effekte auf Wirtschaft und Erwerbstätigkeit durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs von Personenkraftwagen* (**E-MOB-2035**) von Schneemann et al. (2018) wendet einen ähnlichen gesamtwirtschaftlichen Ansatz an wie er im Kapitel 7.1 beschrieben und in dieser Studie genutzt wurde. Zum Einsatz kommt das Modell INFORGE, welches im Projekt QuBe um detaillierte Informationen zu Berufen und Qualifikationen erweitert wurde. Die Analyse bezieht sich nur auf die Veränderungen der Beschäftigung durch die technische Umstellung der Pkw auf E-Mobilität. Veränderungen des Mobilitätssystems oder der Technologien für die Digitalisierung im Verkehr werden nicht betrachtet. Der Ansatz wird daher zu den partiellen Ansätzen gezählt, auch wenn die ökonomische Analyse umfassend gesamtwirtschaftlich erfolgt. Es wird ein auf der Verkehrsseite einfaches, aber ökonomisch ausdifferenziertes E-Mobilitätsszenario aufgebaut. Der Hochlauf der E-Pkw bei den Neuzulassungen erfolgt moderat mit einem Marktanteil von 23% an BEV in 2035. Investitionsbedarfe werden berücksichtigt bei der Automobilindustrie für F&E und Produktionshochlauf der E-Fahrzeuge, Ladeinfrastruktur

und im Stromsystem. Für E-Pkw wird eine Importquote von zunächst 4% definiert, die langfristig bis 2035 auf 66% ansteigt. Diese Annahme wird so in keiner anderen Studie getroffen und erscheint fraglich. Wir erwarten eher eine gegenläufige Entwicklung, da die deutschen Hersteller bei BEV eher als Second Mover hinter Nissan (Leaf), Renault (Zoe) und Tesla aufgetreten sind. Es ist aber zu erwarten, dass sie zukünftig mit einem breiten Angebot ihre Position in Deutschland halten werden können, so dass eher von einer sinkenden Importquote und einem Importanteil deutlich unter 50% auszugehen sein wird. Auch für die Importe von Batterien und Batteriezellen wird die sehr pessimistische Annahme getroffen, dass insbesondere die Zellen vollständig aus dem Ausland importiert werden. Weiterhin werden 6 Kosteneffekte eingeführt, die die intermediäre Verwendung in der Input-Output-Tabelle von INFORGE beeinflussen. Die privaten Bedarfe an Kraftstoffen werden zukünftig mit fortschreitender Elektrifizierung vom Mineralöl-Sektor auf den Stromsektor umgelegt. Ähnliches gilt für den gewerblichen Bereich, nur, dass hier wieder die Inputkoeffizienten der beiden Sektoren angepasst werden. Die Produktivität in der Automobilindustrie verbessert sich um 1% p.a. für konventionelle Pkw und um 1.5% p.a. für elektrische Pkw. Dadurch fallen bereits 10% der geleisteten Arbeitsstunden in der Automobilindustrie weg. Das dürfte bereits einem großen Teil des später für den Sektor Fahrzeugbau berichteten Entfalls von 83,000 Erwerbstätigen entsprechen. Der Verlust an Erwerbstätigkeit kann also auch hier eher auf die unterstellte Produktivitätsentwicklung als die E-Mobilität zurückgeführt werden. Gesamtwirtschaftlich bedeutet das E-Mobilitätsszenario einen Verlust von 20 Mrd. € in 2035 und damit -0.6% gegenüber der Basisprojektion (für 2030 ca. 17 Mrd. € bzw. -0.5%). Die Zahl der Erwerbstätigen im Fahrzeugbau verringert sich bis 2035 um -83,000 (2030 ca. -55,000). Insgesamt verringert sich die Erwerbstätigkeit um -114,000 bis 2035 (2030 ca. -70,000). Die Komponentenzerlegung der BIP-Effekte zeigt, dass die negativen Effekte auf das BIP und damit auch auf die Erwerbstätigkeit hochgradig von den beiden Import-Annahmen abhängen, d.h. der hohen Importquote von E-Fahrzeugen und der hohen Importanteile bei Batterien. Diese Annahmen sollten bei der Beurteilung der abgeschätzten Wirkungen kritisch gewürdigt werden.

Die Studie *Mobiles Baden-Württemberg - Wege der Transformation zu einer nachhaltigen Mobilität* (**Mobiles-BW**) wurde im Auftrag der Baden-Württemberg Stiftung erstellt (BW Stiftung 2018). Sie definiert in einem umfangreichen Beteiligungsprozess drei Szenarien (Transformationspfade) nachhaltiger Mobilität, wobei kein Szenario das Ziel einer nachhaltigen Mobilität im Sinne der Studie Mobiles-BW erreicht. Auch die sektoralen Klimaschutzziele für Verkehr für 2030 werden nur im Szenario *Neue Mobilitätskultur* (NMK) erreicht. Die Szenarien *Neue Individualmobilität* (NIM) und *Neue Dienstleistungen* (NDL) verfehlen das THG-Reduktionsziel. Die Bewertung der Beschäftigungswirkung erfolgt nicht integriert als Teil der Analyse der Szenarien, sondern basiert auf einer separaten Bewertung verschiedener Effekte auf die Beschäftigung in der Mobilität in Baden-Württemberg, die sich auf die Ausgangszahlen des IAO-Mobilitätsmarktmodells stützt. Im Ergebnis werden Veränderungen der Beschäftigung aufgrund der Einzeleffekte dargestellt aber nicht die Ausgangsbasis der Beschäftigten, so dass eine Interpretation der Wirkungen nur relativ im Vergleich der Einzeleffekte erfolgen kann, aber nicht das Ausmaß im Vergleich zur Gesamtheit der Beschäftigten in der Mobilität interpretiert werden kann. Für die

Produktivitätsentwicklung im Automobilsektor wird eine durchschnittliche Verbesserung von 2.5% p.a. erwartet. Der Einzeleffekt der Produktivität wird auf eine Verringerung der Beschäftigung von bis zu -58.000 in Baden-Württemberg geschätzt (Spannbreite: +17,000 bis -58,000). Der Effekt der E-Mobilität wird auf bis zu -75,300 Beschäftigte geschätzt für ein Szenario mit 100% BEV Absatz in 2030. Dies beinhaltet neben einem Verlust von bis zu -15,300 Beschäftigten im Fahrzeugbau weitere -60,000 Beschäftigte im After Sales und Aftermarket. Der Vergleich der Beschäftigungswirkungen der E-Mobilität mit den übrigen Studien ist aufgrund der Angabe von Bandbreiten und des fehlenden Bezuges zu den Szenarien schwierig.

Die Studie *Strukturstudie BW e mobil 2019 - Transformation durch Elektromobilität und Perspektiven der Digitalisierung* (**BW-mobil**) herausgegeben von e-mobil BW (2019) vereint einen anspruchsvollen Methodenmix bestehend aus Technologie- und Komponenten-analyse (Markthochläufe, Kostenanalyse, Produktionsstandortanalyse), EU- und globalen Marktszenarien für die Pkw- und Teile-Nachfrage mit einem sektoral-basierten und statistisch gestützten ökonomischen Analyseansatz zur Differenzierung der Beschäftigten in 2016 und in 2030. Dabei wird das Automobilcluster Baden-Württemberg mit 468,500 Beschäftigten in 2016 untergliedert in den Wertschöpfungskern mit OEM und Zulieferern (311,500 Beschäftigte), dem erweiterten Wertschöpfungscluster (z.B. Anlagenbauer, 71,000) und dem Handel und Kfz-Handwerk (86,000). Diese drei Schichten des Automobilclusters werden weiter untergliedert (z.B. OEM in Komponenten- bzw. Montagewerke, F&E, Verwaltung) und spezifische Beschäftigungsentwicklungen abgeleitet unter Berücksichtigung der Szenarien, der Handelsbeziehungen und der technologischen Parameter aus der vorgelagerten Technologie- und Komponentenanalyse. Diese Schritte werden für drei Szenarien vollzogen, das Referenzszenario 2016, für das auch die Daten statistisch aufbereitet wurden, und ein BAU-Szenario mit moderat gewandelter Absatzstruktur für Pkw in 2030 (BEV 15%, PHEV 13% Anteil) und ein Progressiv (PRO) Szenario, bei dem in 2030 drei Viertel der neu zugelassenen Pkw per Stecker nachgeladen werden können (BEV 51%, PHEV 23%). Da die Beschäftigungsergebnisse den Effekt der E-Mobilität herausarbeiten sollen, wurde auf die Integration einer Produktivitätsentwicklung verzichtet (Ausnahme Produktionswerke). Die Ergebnisse zur Beschäftigung in 2030 werden als Veränderungen gegenüber dem Referenzszenario ausgewiesen. Aufgrund der Berücksichtigung der EU- und Globalszenarien entsteht im BAU-Szenario ein Zuwachs von 8,900 Beschäftigten (+1.9%) im Automobilcluster in Baden-Württemberg. Im PRO-Szenario verringert sich in 2030 die Beschäftigung um -30,800 (-6.6%). Werden nur die Beschäftigungseffekte in den antriebsstrangabhängigen Produktionswerken berücksichtigt, die in 2016 69,900 Beschäftigte aufweisen, dann ergibt sich als Effekt der E-Mobilität ein Verlust von -7,100 (-10.2%) Beschäftigten im BAU-Szenario. Im PRO-Szenario verringert sich die Beschäftigung in diesen Werken um -32,300 (-46.4%). Diese Veränderungen zeigen eindrücklich die Notwendigkeit einer strategischen Planung der Transformation, um

die Qualifikation der Beschäftigten anzupassen und mit einer Fade-in Strategie[44] durch Aufbau der Produktion neuer Komponenten (z.B. Batterie, Fahrerassistenzsysteme) dem Beschäftigungsverlust gegenzusteuern.

Die folgende Tabelle 12 liefert eine Übersicht zu den Kernelementen und Ergebnissen der Studien mit Fokus auf die Transformation zur E-Mobilität. Zu beachten ist bei der Betrachtung der absoluten Zahlen, dass zwei der Studien (Mobiles-BW und BW-mobil) sich auf Baden-Württemberg als Untersuchungsraum beziehen.

Tabelle 12: Übersicht der Studienergebnisse zu Wirkung der E-Mobilität auf Erwerbstätigkeit im Automobilbereich

Studie	Ansatz	Horizont	Pkw Absatz # Anzahl E-Anteil	EWT Vs. REF Vs. Basisj. in 1000	Wachstum Produk-tivität pro Jahr	Exporte Importe xEV	Raum	Anmerkung Veröffentl. Jahr
Elab 2.0	Partial Automobil	**2030**	5.75 Mio. Pkw Sz2: xEV 60% Sz3: xEV 90%	Sz2: -80 Sz3: -107 (nur Antrieb) vs. 2017	2% ICE 3% xEV	n.a.	**DE**	Bezugsgröße 1 Mio. Antriebs-stränge **2018**
E-MOB-2035	Partial Automobil	(2030) **2035**	600,000 BEV 23%	Fahrzeugbau: -83 (-55) Gesamt: -114 (-70)	1% ICE 1.5% xEV	Export: wie REF Import: 4 bis 66%	**DE**	Effekte auf Gesamt-wirtschaft **2018**
Mobiles-BW	Systemisch Mobilität	**2030** (2050)	1.4 - 4.5 Mio. Pkw (Szen.) BEV: 36% PHEV: 41%	Produktivität: Bis max. -58 E-Mobilität: Bis max. -75	2.5% OEM	Globale Markt-anteile	**BaWü**	Beschäftigung nicht gekoppelt mit Szenarien **2018**
BW-mobil	Partial Automobil	**2030**	BAU: BEV 15% PHEV 13% PRO: BEV 51% PHEV 23%	BAU: +1.9% +9 PRO: -6.6% -31	0 % Fertigung: 1.8%	EU- und Global Szenario	**BaWü**	Alle relevanten Effekte berücksichtigt **2019**
HBS-NM	Systemisch Mobilität	(2030) **2035**	2030: BEV 71% PHEV 21% 2035: BEV 75% PHEV 22%	ES-35 vs 2018 Fzg.bau: -128 Elektrik: +67 Elektron.: +78	1% bis 2.5% Kompon. spezifisch	EU- und Global Szenario	**DE**	ES-35 Gesamt-wirtschaft **2020**

Quelle: eigene Zusammenstellung, M-Five

Zur Einschätzung der real zu erwartenden Beschäftigungs-Effekte der Transformation zu E-Mobilität lassen sich insbesondere die BW-mobil und die HBS-NM Studie nutzen. Elab 2.0 unterliegt mehreren methodischen Einschränkungen, durch den eng gefassten Ansatz über die Antriebsstränge die Beschäftigung zu ermitteln und auf Deutschland hochzurechnen.

[44] Die Studie BW-mobil führt die Terminologie einer *Fade-in Strategie* ein für den parallel zum Markthochlauf der E-Mobilität erfolgende Qualifikation und Aufbau von Beschäftigung in neuen Wertschöpfungsfeldern, wie E-Motoren, Hochleistungs-Batterien oder Assistenzsystemen.

Dabei werden viele Aspekte z.B. der Komponentenexport aus Deutschland, die F&E Stärke in Deutschland und die globale Marktentwicklung nicht berücksichtigt (siehe auch die Diskussion in emobil BW 2019, S.126ff). Die Ergebnisse von E-MOB-2035 werden dominiert von zwei Annahmen zu Fahrzeug- und Batterieimporten, die durch keine der anderen Studien gestützt werden. Bei Mobiles-BW werden für die Beschäftigung Bandbreiten möglicher Entwicklungen auf der Basis verschiedener Einflussfaktoren angegeben. Es wird aber kein konsistentes Szenario für Deutschland sowie für die Produktions- und Handelsszenarien gebildet, bei dem alle Einflussfaktoren stringent zusammengeführt werden, um daraus eine belastbare Richtung der Entwicklung der Beschäftigung oder eine Zahl anzugeben.

Die Strukturstudie (BW-mobil) und diese Studie zu Beschäftigungseffekten nachhaltiger Mobilität (HBS-NM) weisen mit ihren Ergebnissen sowohl auf die Chancen als auch auf die Risiken des Strukturwandels zu E-Mobilität hin. Im klassischen Fahrzeugbau kann die zu erwartende Entwicklung in Deutschland bis 2030 einen Verlust an Beschäftigung in der Größenordnung von -20% bis -40% bedeuten. Dafür entsteht in Sektoren, die innovative Komponenten herstellen (Batterien, E-Motoren, Fahrerassistenzsysteme), zusätzliche Beschäftigung, die einen substanziellen Teil der Verluste im klassischen Fahrzeugbau ausgleichen kann. Bei Berücksichtigung neuer Mobilitätsdienstleistungen werden zusätzlich neue Beschäftigungs-Potenziale generiert, so dass der Verlust an Beschäftigung im Fahrzeugbau überkompensiert werden kann. Diese Verschiebungen des Bedarfs an Beschäftigten von der klassischen, meist metallverarbeitenden Produktion hin zu Elektr(on)ik-Komponenten und -Dienstleistungen bedarf aber eines orchestrierten Prozesses zur Begleitung des Strukturwandels.

8 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die gesamtwirtschaftliche Dynamik zeigt eine leichte Eintrübung der ökonomischen Entwicklung in beiden Szenarien von 2019 bis ungefähr 2025. In dieser Phase liegen die jährlichen Wachstumsraten des BIP in den Szenarien nachhaltiger Mobilität um bis zu 0.3% niedriger als in der dynamischen Referenz. Danach nähern sich beide Szenarien wieder der Referenzentwicklung an und übertreffen dessen Wachstumsraten dann leicht. Das ES-35 Szenario entwickelt sich somit über die 16-Jahre sogar besser als die dynamische Referenz (REF-Dyn) und das BIP liegt um etwa 0.8% höher in 2035, während das MM-35 um -0.9% unterhalb der Referenz verbleibt. Damit liegt das BIP in ES-35 in 2035 um 1.7% höher als in MM-35.

Erwartungsgemäß spiegelt sich die Veränderung des BIP auch in der Entwicklung der Erwerbstätigen wider. Im Vergleich mit REF-Dyn sinkt die Zahl der Erwerbstätigen (als VZÄ) bis 2024 in beiden Szenarien. Anschließend wächst die Zahl der Erwerbstätigen in beiden Szenarien wieder an, so dass die Entwicklung bis 2027 zu REF-Dyn aufschließt. Kurzzeitig liegt in den beiden Jahren 2027 bis 2028 die Zahl der Erwerbstätigen in MM-35 leicht höher als in ES-35, da in dieser Phase der Investitionsimpuls in Infrastrukturen und die sektorale Verschiebung in MM-35 mit Aufbau der neuen noch wenig automatisierten Mobilitätsdienstleistungen besonders stark zum Anstieg der Beschäftigung beitragen. Langfristig schneidet allerdings das ES-35 Szenario besser ab. Grund dafür ist die Kombination des Aufbaus der Produktion von E-Fahrzeugen und dem gegenüber MM-35 höheren Absatz der Pkw in Kombination mit dem Impuls zur Investition in Energie- und Verkehrsinfrastrukturen, welche zu einer besseren BIP-Entwicklung führt. Trotz der ebenfalls höheren Produktivitätsentwicklung als in MM-35 führen die Entwicklungen zu einem stärkeren Anwachsen der Erwerbstätigkeit. Gegenüber dem Niveau von 2018 liegt die Erwerbstätigkeit ab 2027 in beiden Szenarien höher. Im ES-35 wächst sie bis 2035 um knapp 1.3 Millionen Erwerbstätige (VZÄ) und im MM-35 um knapp 1 Million.

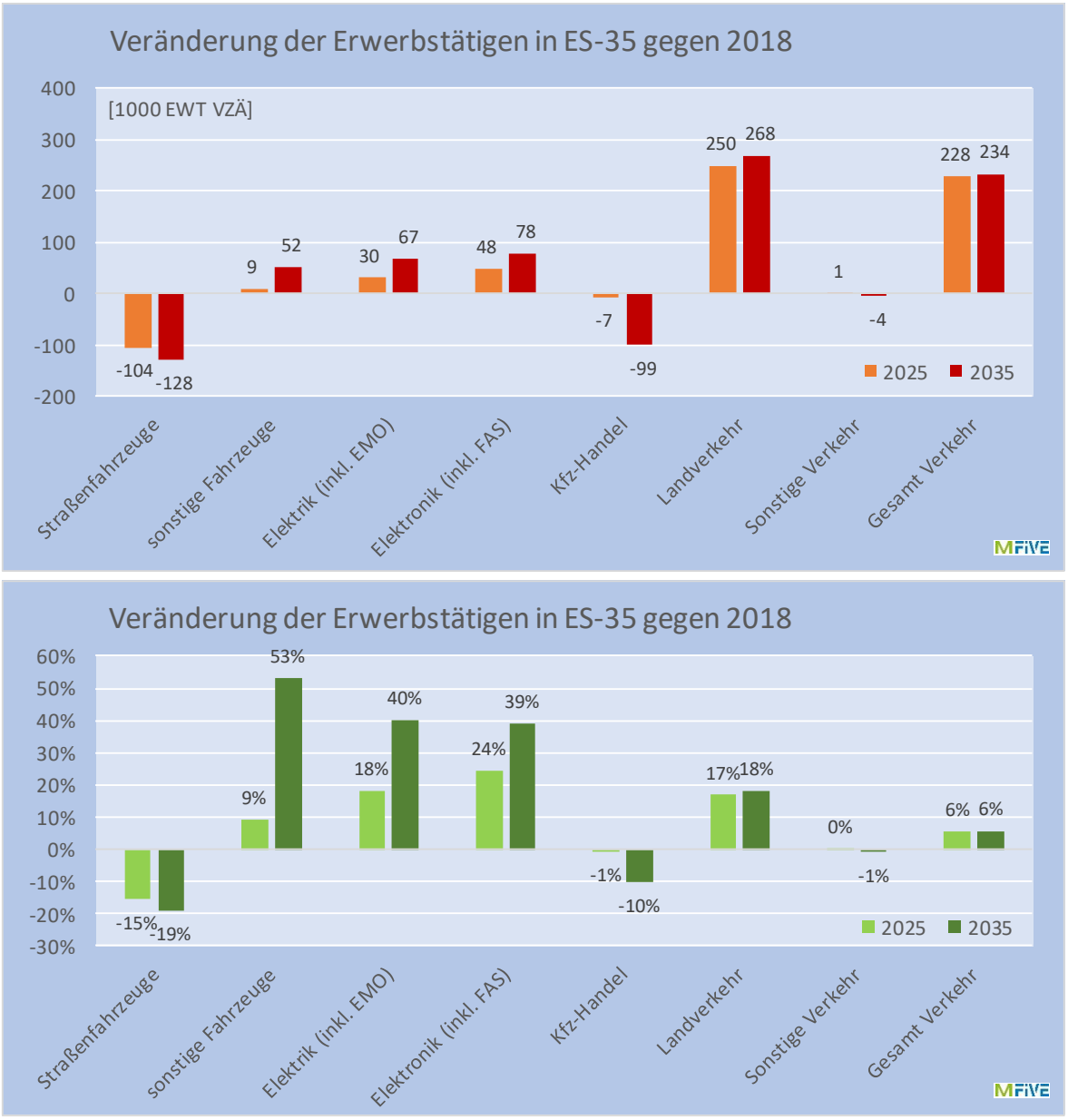
In beiden Szenarien ist ein Beschäftigungsverlust in der heutigen Fahrzeugproduktion, insbesondere den konventionellen Antriebsstrangkomponenten, unausweichlich. Er wird (teilweise) kompensiert durch Zuwächse in der Entwicklung und Produktion innovativer Komponenten (z.B. Fahrerassistenzsysteme), Infrastrukturausbau und mehr Beschäftigung in Mobilitätsdienstleistungen (Landverkehr). In den Verkehrsdienstleistungen gehen einerseits viele Arbeitsplätze durch Automatisierung verloren, andererseits entstehen Arbeitsplätze durch einen wachsenden öffentlichen Verkehr und Pkw-Dienstleistungen – insbesondere Carsharing. Beschäftigungseffekte durch Automatisierung, Digitalisierung und künstliche Intelligenz sind bisher noch kaum prognostizierbar: Sie hängen von einer Vielzahl Faktoren ab, darunter vor allem technologische, regulatorische und wettbewerbliche Entwicklungen.

Die Realisierung beider Szenarien führt zu einem deutlich veränderten Investitionsverhalten. Es bedarf großer Investitionen in die Bahninfrastruktur, in zusätzliche Bus-Systeme, Ladeinfrastruktur und Anlagen zur Erzeugung des erneuerbaren Stroms für den Verkehr, um nur einige zu benennen. Ohne Straßenfahrzeuge belaufen sich diese Investitionen in

ES-35 kumuliert von 2019 bis 2035 auf 688 Mrd. $€_{2010}$ und in MM-35 auf 697 Mrd. $€_{2010}$. Dabei liegen die kumulierten Investitionen ins Schienennetz in MM-35 mit 274 Mrd. $€_{2010}$ deutlich höher als in ES-35 mit 227 Mrd. $€_{2010}$, während in ES-35 insbesondere die Investitionen in die grüne Stromversorgung des Verkehrs und die zusätzlichen Bus-Systeme deutlich über denen von MM-35 liegen. Der größte Unterschied liegt bei der kumulierten Investition in Straßenfahrzeuge (d.h. dem Umsatz aller verkauften Fahrzeuge an Unternehmen), die in ES-35 bei 885 Mrd. $€_{2010}$ und in MM-35 bei 485 Mrd. $€_{2010}$ liegt. Damit liegt in ES-35 die Investition in Straßenfahrzeuge immer noch deutlich über der Investition in Verkehrsnetze, während in MM-35 in Verkehrsnetze leicht mehr investiert wird, als in Straßenfahrzeuge. Der Wandel vom Status-quo heute zu den Szenarien lässt sich also auch als Verschiebung der Investitionsschwerpunkte von Pkw hin zu Verkehrsinfrastrukturen verstehen.

Abbildung 8-73 zeigt die Veränderungen der Erwerbstätigen in den ausgewählten Sektoren mit Verkehrsbezug für das **ES-35**. Der Sektor *Straßenfahrzeuge*, der die konventionellen Komponenten eines Pkw herstellt, verliert bei sinkenden Pkw-Absatzzahlen bis 2035 gegenüber dem Niveau von 2018 128 Tausend Erwerbstätige (VZÄ). Dafür gewinnen in 2035 *sonstige Fahrzeuge* (+52 Tausend), und die Sektoren, die innovative Fahrzeugkomponenten, herstellen wie *Elektrik* (+67 Tausend) und *Elektronik* (+78 Tausend) Erwerbstätige (VZÄ) gegenüber 2018 hinzu. Deutlicher ist der absolute Zuwachs im Sektor *Landverkehr* (+268 Tausend) zu dem auch der öffentliche Verkehr und die Mobilitätsdienstleistungen gehören. Relativ entspricht dies allerdings nur einem Zuwachs von +18% gegenüber 2018, während die vorgenannten Sektoren 53%, 40% und 39% hinzugewinnen. Im Saldo legen die Sektoren mit Verkehrsbezug bis 2035 gegenüber 2018 um 234 Tausend Erwerbstätige (VZÄ) (+6%) zu.

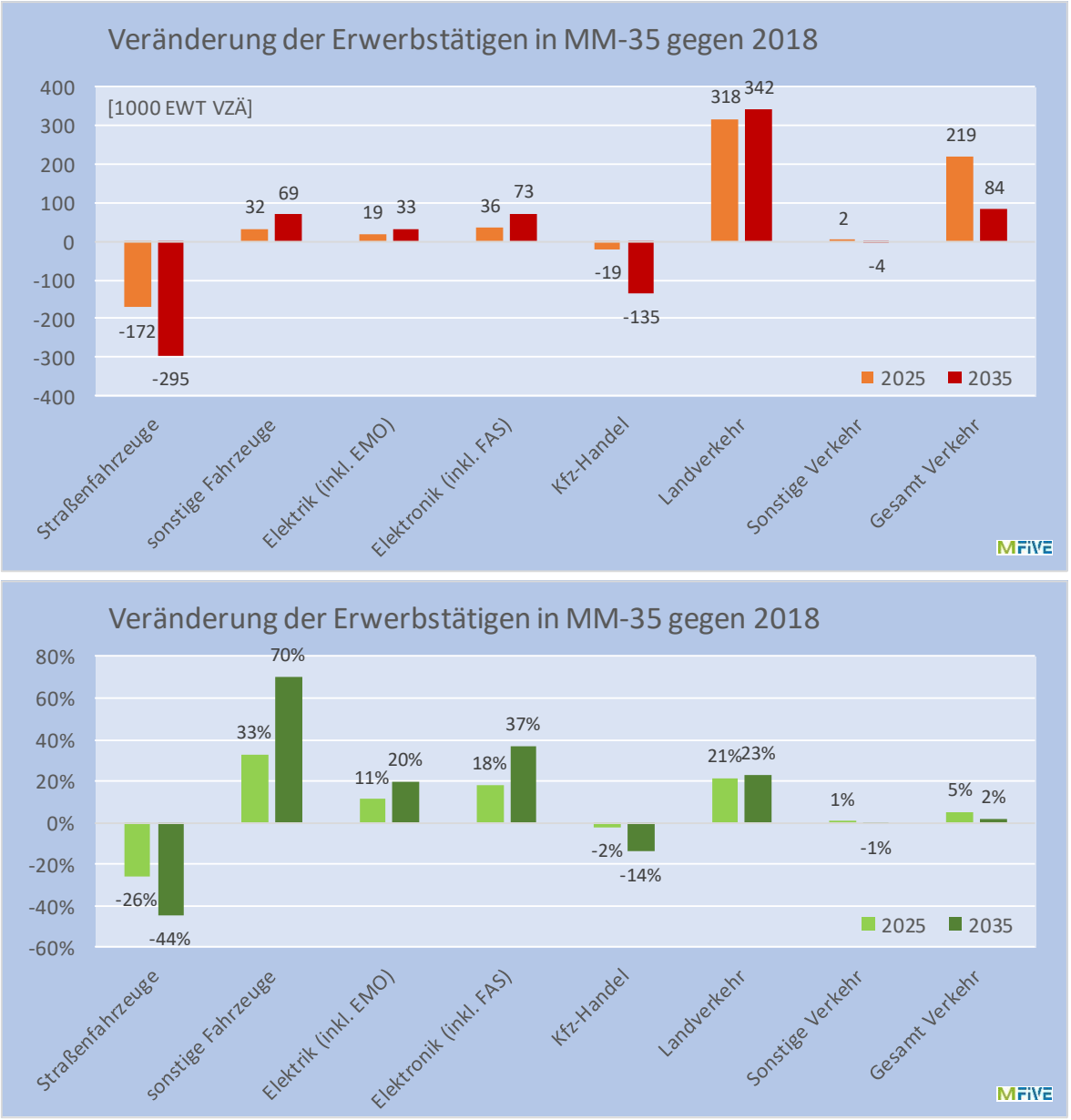
Abbildung 8-73: Veränderung der Erwerbstätigen in Sektoren mit Verkehrsbezug in ES-35 gegen REF-2018



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Durch den Rückgang der Nachfrage nach Pkw sinkt in **MM-35** die Zahl der Erwerbstätigen (VZÄ) im Sektor *Straßenfahrzeuge* noch deutlicher als in ES-35 mit bis zu 295 Tausend in 2035 gegenüber 2018 (siehe Abbildung 8-74 oben). Auch die Zuwächse in den Sektoren *Elektrik* und *Elektronik,* die innovative Pkw-Komponenten herstellen, fallen geringer aus. Dies wird teilweise durch zusätzliche Erwerbstätige (VZÄ) in den Sektoren *Sonstige Fahrzeuge* (Produktion von Schienenfahrzeugen, +69 Tausend) und *Landverkehr* (+342 Tausend) ausgeglichen, aber auch ergänzt durch neue Beschäftigung in Sektoren außerhalb des Verkehrssystems in der Erstellung der Infrastrukturen für die Transformation in Verkehr und Energie, wie dem Bausektor mit +398 Tausend zusätzlichen Erwerbstätigen (VZÄ).

Abbildung 8-74: Veränderung der Erwerbstätigen in Sektoren mit Verkehrsbezug in MM-35 gegen REF-2018



Quelle: eigene Berechnungen M-Five, ASTRA-HBS

Damit erweisen sich der *Bausektor* und der Sektor *Landverkehr* als tragende Säulen zusätzlicher Beschäftigung. Hierbei ist die Beschäftigung im *Bausektor* auch als hochwertige Beschäftigung zu verstehen, die komplexe technische Systeme mit integrierter IT-Infrastruktur plant, an die Bevölkerung kommuniziert und im Zeitplan erstellt.

Wie die dynamischen Analysen der Umwelteffekte zeigen (siehe Abbildung 4-4 und Abbildung 4-5) haben sich der End-Energieverbrauch im Personenverkehr um drei Fünftel und die CO_2-Emissionen im Personenverkehr im Jahr 2035 um gut drei Viertel der Emission von 2015 reduziert.[45] Die THG-Emission ist so auf einen Pfad eingeschwenkt, der auch mit den Pariser Klimaschutzzielen vereinbar scheint. Daher werden die Szenarien von uns als ökologisch nachhaltig eingestuft. Da gleichzeitig das Investitionsprogramm und die verringerten Energieimporte einen positiven ökonomischen Impuls setzen, sodass BIP und Beschäftigung (unter Berücksichtigung des von 2015 bis 2018 bereits erfolgten Anstiegs) sich bis 2035 neutral bis leicht positiv entwickeln, würden wir die Szenarien nicht nur als nachhaltig sondern auch als Bestandteil eines möglichen Green New Deals für Deutschland bezeichnen.

Diese Transformation der Mobilität als Teil eines Green New Deals erfordert aber ein Umdenken und Umorientieren einer großen Zahl Erwerbstätiger. Dies kann am sogenannten Gesamtbeschäftigungs-Shift aus den 57 Sektoren abgelesen werden, welcher die Summe der Anzahl der wegfallenden Erwerbstätigen in schrumpfenden Sektoren und die Summe der zusätzlich benötigten Erwerbstätigen in gegenüber heute (d.h. gegen 2015) wachsenden Sektoren bildet. In beiden Szenarien liegt der negative Gesamtbeschäftigungs-Shift bis 2025 gegenüber 2015 in der Größe von 1 Million Erwerbstätigen (VZÄ). Bis 2035 erhöht sich der Wert auf rund 2 Millionen. Das bedeutet mindestens zwei Millionen Erwerbstätige verlieren ihre heutige Beschäftigung, weil es diese so nicht mehr geben wird. Der positive Beschäftigungs-Shift ist allerdings zu beiden Zeitpunkten noch größer und in 2035 ungefähr doppelt so hoch wie der negative Beschäftigungs-Shift, so dass bis zu 4 Millionen Menschen eine neue Beschäftigung in wachsenden Sektoren geboten werden kann.

Wie wirkt sich der Gesamtbeschäftigungs-Shift in einem typischen Zulieferer-Unternehmen der Automobilindustrie aus? Der Übergang vom heutigen kostenoptimierten Markt mit Fokus auf Kostendruck und inkrementellen Verbesserungen zu einem innovativen, agilen Markt mit Sprung-Innovationen bzw. ganz neuen Produktkategorien („*Batterie und FAS statt Verbrenner und PS*“) stellt spezialisierte Zulieferunternehmen der Automobilindustrie vor erhebliche Herausforderungen. Sie standen viele Jahre unter starkem Preisdruck der OEMs

45 Die Bewertung erfolgt nach dem Kyoto-Protokoll und der Methodik der UNFCCC nach der die THG-Emissionen von Strom und Biomasse im Verkehr mit null anzusetzen sind, da deren Bilanzierung in anderen Sektoren (Energie, Raffinerien/Industrie) erfolgt und sich so national die gesamten THG-Emissionen erfassen lassen. Sollte hier von anderer Seite argumentiert werden, dass die Upstream-Emissionen des Stroms dem Verkehr zuzurechnen sind, dann könnte dagegen argumentiert werden, dass der gesamte Güterverkehr (ggf. mit Ausnahme der direkt die Haushalte beliefernden KEP-Dienste) Upstream zu anderen Produktionsvorgängen zugeordnet werden muss und damit im Verkehrssektor mit null anzusetzen sei. Wir halten daher den Ansatz des Kyoto-Protokolls für zielführend.

und der großen Systemzulieferer, dem sie mit Spezialisierung auf kleinere Nischen und größeren Stückzahlen zur Kostensenkung begegnet sind. Für die Phase der Transformation einer Industrie erzeugt diese Strategie aber eine riskante Sackgasse:

1. Die Marge dieser Zulieferer bleibt aufgrund des Kostendrucks immer gering. Daher konnten sie keine bzw. nur unzureichend Reserven aufbauen um in F&E für die Generierung alternativer Produkte zu investieren.
2. Die Abhängigkeit vom jeweiligen Spezialprodukt ist hoch, da die Zulieferer sich auf immer kleinere Nischen spezialisiert haben.

Das Verlassen einer solchen Sackgasse durch Innovation mit einem neuen Produkt ist für eine Unternehmen in dieser Situation nahezu ausgeschlossen. Dies kann die auf Komponenten des Verbrennungsmotors und des zugehörigen Antriebsstrangs spezialisierten Unternehmen treffen, so dass diese die Transformation nicht mitgehen können. Auf sektoraler Ebene kann es so zum Beschäftigungs-Shift kommen bzw. zum Ausscheiden aus dem Markt auf Unternehmensebene.

Die Bedeutung der Fähigkeit neue Produkte in Deutschland herzustellen, zeigt sich am Beispiel der Batteriezelle und der E-Mobilitäts-Komponenten. Die sektorale Beschäftigungsanalyse, die komponentenbasierte Analyse und die Sensitivitätsanalyse weisen allesamt darauf hin, dass Batteriezellen und ganze Batteriepakete inklusive Leistungselektronik in Deutschland produziert werden sollten, um das hohe Niveau der Beschäftigung und der Wertschöpfung in der deutschen Automobilindustrie halten zu können.

Dieselbe Aussage lässt sich für die Produktion von Halbleitern und Sensoren für Fahrerassistenzsysteme (FAS) bis hin zum autonomen Fahren, sowie die Entwicklung und software-seitige Steuerung derselben formulieren. Auch hier liegen in der Produktion von Hard- und Software wichtige Potenziale für Beschäftigung und Wertschöpfung in Deutschland, wie anhand der wachsenden Erwerbstätigenzahlen in den Szenarien zu sehen ist. Diese sind nicht nur durch die Kraftfahrzeugproduktion getrieben, sondern auch durch die Bedarfe der Steuerung der Mobilitätsdienstleistungen oder der anderen Verkehrsträger.

Abschließend sollen noch Hypothesen formuliert werden, welche Wege der Aufbau der Multi-Modalität in Deutschland und Europa nehmen kann und welche Bedeutung daraus für Beschäftigung und Wertschöpfung abgeleitet werden könnte:

1. Es existieren zwei klar differenzierbare Wege die Multi-Modalität aufzubauen.
2. **Billig**: Querfinanzierung einer kostengünstigen multi-modalen Mobilität durch Nutzung der Daten generiert im Mobilitätssystem, so dass Mobilität sehr günstig angeboten wird, ggf. preislich sogar unter den realen Kosten der Mobilität. Zu den externen Umweltkosten könnten hier auch externe Privacykosten des Verkehrs hinzukommen. Der Preisdruck sorgt für geringe Einkommen der Erwerbstätigen.
3. **Premium**: Mobilitätsdaten bleiben privat und Mobilität wird nicht querfinanziert, sondern gemäß ihren internen Kosten bezahlt, wobei Umwelt- und Privacy-Kosten dann internalisiert wären. Beschäftigte in diesem Markt profitieren von guter Arbeit.

Voraussetzung für die Generierung eines Premium-Marktes der Mobilitätsdienstleistung dürfte die Schaffung notwendiger Rahmenbedingungen des Datenschutzes sein und die Existenz eines nationalen oder weniger europäischer IT-Champions mit Kompetenzen in Big Data, Cloud-Speicherung, verlässlichem Datenschutz und Premium-Glaubwürdigkeit hinsichtlich Privacy.

Anhang

Im Anhang werden zusätzliche Details der Modellierung dargestellt, insbesondere die verwendeten Sektoren in ASTRA-HBS bzw. in der Darstellung der Modell-Ergebnisse.

Tabelle 13: Sektoren der sektoral disaggregierten Module in ASTRA-HBS

Sektor	Beschreibung
Landwirtschaft	Landwirtschaft und Jagd
Forstwirtschaft	Forstwirtschaft
Fischerei	Fischerei und Fischzucht
Kohle	Kohlenbergbau, Torfgewinnung
Öl, Gas	Gewinnung von Erdöl und Erdgas, Erbringung damit verbundener DL
Metalle und Mineralien	Erzbergbau, Gewinnung von Steinen und Erden, sonstiger Bergbau
Nahrung	Ernährungsgewerbe
Tabak	Tabakverarbeitung
Textilien	Textilgewerbe
Bekleidung	Bekleidungsgewerbe
Leder	Ledergewerbe
Holz	Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)
Papier	Papiergewerbe
Verlags-erzeugnisse	Verlagsgewerbe, Druckgewerbe, Vervielfältigung von bespielten Ton-, Bild- und Datenträgern
Kokerei, Mineralöl-Produkte	Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen
Chemie	Herstellung von chemischen Erzeugnissen
Plastik	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren
Glas, Keramik	Glasgewerbe, Herstellung von Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
Metallherstellung	Metallerzeugung und -bearbeitung
Metallprodukte	Herstellung von Metallerzeugnissen
Maschinen	Maschinenbau
Computer	Herstellung von Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten und -einrichtungen
Elektrizität	Herstellung von Geräten der Elektrizitätserzeugung, -verteilung u.Ä.
Kommunikation	Rundfunk- und Nachrichtentechnik
Elektronik	Medizin-, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik, Optik, Uhren
Kraftwagen	Herstellung von Kraftwagen (Straßenverkehr) und Kraftwagenteilen
Sonstige Fahrzeuge	Sonstiger Fahrzeugbau
Andere Produkte	Herstellung von Möbeln, Schmuck, Musikinstrumenten, Sportgeräten, Spielwaren und sonstigen Erzeugnissen

Sektor	Beschreibung
Recycling	Recycling
Energie	Energieversorgung
Wasser	Wasserversorgung
Bausektor	Baugewerbe
Handel Kfz	Kraftfahrzeughandel; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen; Tankstellen
Großhandel	Handelsvermittlung und Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)
Einzelhandel	Einzelhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen und ohne Tankstellen); Reparatur von Gebrauchsgütern
Gastronomie	Gastgewerbe
Landverkehr	Landverkehr; Transport in Rohrfernleitungen
Schifffahrt	Schifffahrt
Luftfahrt	Luftfahrt
DL Verkehr	Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr; Verkehrsvermittlung
Nachrichten	Nachrichtenübermittlung
DL Banken	Kreditgewerbe
DL Versicherung	Versicherungsgewerbe
Kredit und Versicherung	Mit dem Kredit- und Versicherungsgewerbe verbundene Tätigkeiten
Immobilien	Grundstücks- und Wohnungswesen
DL Vermietung	Vermietung beweglicher Sachen ohne Bedienungspersonal
DL Daten-verarbeitung	Datenverarbeitung und Datenbanken
Forschung	Forschung und Entwicklung
Unternehmens-bezogene DL	Erbringung von wirtschaftlichen Dienstleistungen, anderweitig nicht genannt
Verwaltung, Verteidigung, Sozialvers.	Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung
Erziehung	Erziehung und Unterricht
Gesundheit, Soziales	Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen
Abwasser, Entsorgung	Abwasser- und Abfallbeseitigung und sonstige Entsorgung
DL Interessen-vertretungen	Interessenvertretungen sowie kirchliche und sonstige Vereinigungen (ohne Sozialwesen, Kultur und Sport)
Kultur	Kultur, Sport und Unterhaltung
Sonstige DL	Erbringung von sonstigen Dienstleistungen
DL Haushalte	Private Haushalte mit Hauspersonal

Quelle: eigene Darstellung, WZ 2008

Tabelle 14: Zu Hauptsektoren zusammengefasste Sektoren für Darstellung der Ergebnisse aus ASTRA-HBS

Nr	Hauptsektoren (=Aggregate der Sektoren)	Zusammengefasste Sektoren (vgl. Tabelle 13)
1	Landwirtschaft, Fischerei, Rohstoffe	Landwirtschaft Forstwirtschaft Fischerei Kohle Öl Gas Metalle und Mineralien
2	Rohstoffverarbeitung, Nahrung, Textil, sonstige Industrien	Nahrung Tabak Textilien Bekleidung Leder Holz Papier Verlagserzeugnisse Kokerei, Mineralölprodukte Glas, Keramik Metallherstellung Andere Produkte
3	Chemie und Plastik	Chemie Plastik
4	Metallprodukte	Metallprodukte
5	Maschinen	Maschinen
6	Computer	Computer
7	Versorgung - Wasser, Energie, Recycling	Kommunikation Recycling Energie Wasser
8	Elektrik	Elektrizität
9	Elektronik	Elektronik
10	Straßenfahrzeuge	Kraftwagen
11	sonstige Fahrzeuge	Sonstige Fahrzeuge
12	Bausektor	Bausektor
13	Kfz-Handel	Handel Kfz
14	Landverkehr	Landverkehr
15	Schifffahrt	Schifffahrt
16	Luftfahrt	Luftfahrt
17	DL Verkehr	DL Verkehr
18	DL Vermietung	DL Vermietung
19	DL Datenverarbeitung	DL Datenverarbeitung
20	sonstige DL	Großhandel, Einzelhandel Gastronomie Nachrichten DL Banken, DL Versicherung Kredit und Versicherungen Immobilien Forschung, Unternehmensbezogene DL Verwaltung, Verteidigung, Sozialvers. Erziehung, Gesundheit, Soziales Abwasser, Entsorgung DL Interessenvertretungen, Kultur Sonstige DL, DL Haushalte

Quelle: eigene Darstellung

Referenzen

Agrawal, A., Gans, J., & Goldfarb, A. (2019): *Economic policy for artificial intelligence*. In: Innovation Policy and the Economy, 19(1)

Allen, R. G. D. (1968): *Macro-Economic Theory. A Mathematical Treatment*. Macmillan, London.

Ambrosius G. (2016): *Öffentlicher Verkehr und Gemeinwirtschaftlichkeit – Im Spannungsfeld von Eigenwirtschaftlichkeit, Wettbewerb und Regulierung*. In: Schwedes O., Canzler W., Knie A. (Hg.): *Handbuch Verkehrspolitik*. 2. Aufl., Springer, Wiesbaden, S. 449 – 471.

BW Stiftung (2018): *Mobiles Baden-Württemberg - Wege der Transformation zu einer nachhaltigen Mobilität*. Studie im Auftrag der Baden-Württemberg Stiftung gGmbH.

Bardt, H. (2019): *Deutsche Industrie stark bei Autonomem Fahren - Wettbewerber holen auf*. IW Kurzbericht 63/2019. Institut der Deutschen Wirtschaft.

Bauer W., Riedel O., Herrmann F., Borrmann D., Sachs C., Schmid K., Klötzke M. (2018): *ELAB 2.0: Wirkungen der Fahrzeugelektrifizierung auf die Beschäftigung am Standort Deutschland*. Fraunhofer IAO.

BCG, Prognos (2018): *Klimapfade für Deutschland*. Boston Consulting Group und Prognos AG, München, Basel.

Berschin F. (2000): *Daseinsvorsorge durch Wettbewerb – der öffentliche Verkehr zu Lande im Markt.* Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg.

BMVI (2019): *Scheuer: Bundesmittel für öffentlichen Nahverkehr werden massiv aufgestockt.* Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Online unter: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/K/bundesmittel-oepnv.html, letzter Zugriff am 21. Dezember 2019.

Braungardt S., Kockat J., Hartwig J., Schade W. (2015): *The macroeconomic benefits of ambitious energy efficiency policy – a case study for Germany*. eceee 2015 Summer Study.

BTM (2019): *Rückkehrpflicht für Mietwagen*. Taxipedia. Bundesverband Taxi und Mietwagen e.V. Online unter http://taxipedia.info/rueckkehrpflicht-fuer-mietwagen, letzter Zugriff am 20. Dezember 2019.

BMUB (2014): *Aktionsprogramm Klimaschutz 2020*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Berlin.

BMWi, BMUB (2010: *Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung*. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Berlin.

Bundesregierung (2018): *Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung*. Stand November 2018.

Canzler W., Knie A. (2016): *Die digitale Mobilitätsrevolution – Vom Ende des Verkehrs, wie wir ihn kannten.* oekom, München.

CE, EE, M-Five (2017): *Low-Carbon Cars in Germany -Technical report*. Cambridge Econometrics, ElementEnergy, M-Five im Auftrag der European Climate Foundation (ECF), Camdridge.

CONSENTEC GMBH ; EDIS NETZ GMBH (2019): *E-Mobility Stresstest: E.ON Netze mit überschaubarem Aufwand bereit für die Mobilitätswende*. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen Bd. 9.

Daum T. (2019): *Das Auto im digitalen Kapitalismus – Wenn Algorithmen und Daten den Verkehr bestimmt*. oekom, München.

DB (2019): *Daten & Fakten 2018*. Deutsche Bahn AG, Download: https://www.deutschebahn.com/resource/blob/3992278/1d136e983334750ef4f24072d49c7cdf/20190325_bpk_2019_daten_fakten-data.pdf, letzter Aufruf, S. 28.

DeStatis (2017): *Bevölkerungsentwicklung bis 2060 - Ergebnisse der 13. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung: Aktualisierte Rechnung auf Basis 2015*. (Erschienen am 27. März 2017), Statistisches Bundesamt.

DeStatis (2018): *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen - Input-Output-Rechnung 2015* (Revision 2014, Stand: August 2018), Statistisches Bundesamt.

DeStatis (2019a): *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen – Wichtige Zusammenhänge im Überblick*. (Stand: August 2019), Statistisches Bundesamt.

Destatis (2019b): *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen: Input-Output Rechnungen 2015*. Stand: August 2018, Wiesbaden.

Diez, W. (2018): *Wohin steuert die deutsche Automobilwirtschaft*. Walter de Gruyter

DIW (2019): *Für eine sozialverträgliche CO_2-Bepreisung*. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, DIW Politikberatung Kompakt, Berlin.

Dorsch, M. (2019): *Öffentlicher Personennahverkehr – Grundlagen und 25 Fallstudien mit Lösungen.* München: UVK Verlag.

Dudenhöffer F. (2014): *Deutsche Autobauer dominieren Premiumgeschäft*. In: GAK, 4/2014, S.200-202. https://www.uni-due.de/~hk0378/publikationen/2014/201404_GAK_page_200-202.pdf

Duscha V., Fougeyrollas A., Nathani C., Pfaffa M., Ragwitz M., Resch G., Schade W., Breitschopf B., Walz R. (2016): *Renewable energy deployment in Europe up to 2030 and the aim of a triple dividend*. In: Energy Policy, vol. 95, pp. 314-323. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.05.011.

EC (2001): *European transport policy for 2010: time to decide*. Weißbuch der Europäischen Kommission zur zukünftigen Verkehrspolitik (COM(2001) 370), Brüssel.

EC (2011): *Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system*. Weißbuch der Europäischen Kommission zur zukünftigen Verkehrspolitik (COM(2011) 144), Brüssel

Economist (2020a): *Europe is rediscovering its penchant for statist intervention*. 16.01.2020 Print Edition

Economist (2020b): *Economists explore the consequences of steering technological progress*. 16.01.2020 Print Edition.

Edenhofer O., Flachsland C., Kalkuhl M., Knopf B., Pahle M. (2019): *Optionen für eine CO_2-Preisreform*. MCC/PIK Studie im Auftrag des Sachverständigenrates zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, Berlin.

e-mobil BW (2019): *Strukturstudie BWE mobil 2019 - Transformation durch Elektromobilität und Perspektiven der Digitalisierung*.

Ernst, E., Merola, R., & Samaan, D. (2019): *Economics of Artificial Intelligence: Implications for the Future of Work*. In: IZA Journal of Labor Policy, 9(1).

EVCHAIN (2014): *Modellierung der zukünftigen elektromobilen Wertschöpfungskette und Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Stärkung des Elektromobilitäts-standortes NRW*. EVCHAIN.NRW mit Institut für Kraftfahrzeuge (IKA), ISAtec Engineering, fka GmbH, Aachen.

Fermi F., Fiorello D., Krail M., Schade W. (2014): *Description of the ASTRA-EC model and of the user interface*. Bericht D4.2 des ASSIST Projektes (Assessing the social and economic impacts of past and future sustainable transport policy in Europe), Projekt gefördert durch die EU Kommission. Fraunhofer-ISI, Karlsruhe.

Fraunhofer ISI, Consentec, Ifeu, TU Wien, M-Five, TEP Energy (2017): *Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland - Modul 3: Referenzszenario und Basisszenario*. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe. Download: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/B/berichtsmodul-3-referenzszenario-und-basisszenario.pdf?__blob=publicationFile&v=4.

Hartwig J., Schade W., Sievers L. (2012): *Kurzübersicht des Modells ASTRA-D*. Arbeitspapier Sustainability and Innovation S 10/2012. Fraunhofer ISI, Karlsruhe.

Haucap, J. (2018): *Macht, Markt und Wettbewerb: Was steuert die Datenökonomie?.* Nicolai Publishing & Intelligence

Haucap, J. (2019): *Competition and Competition Policy in a Data-Driven Economy*. Intereconomics, 54(4), 201-208.

Herr, C. (1993). *Die Regionalisierung des öffentlichen Personennahverkehrs*. Universität Konstanz, Konstanz.

Holmes, D. E. (2017): *Big data: a very short introduction*. Oxford University Press.

Holweg M. (2008): *The Evolution of Competition in the Automotive Industry*. Cambridge, Springer.

Horowitz, M. C., Allen, G. C., Kania, E. B., & Scharre, P. (2018): *Strategic competition in an era of artificial intelligence*. Center for New American Security (Washington, DC: Center for New American Security, 2018), 8.

Hüsing M. (1999): *Die Flächenbahn als verkehrspolitische Alternative*. Wuppertal Spezial Nr. 12, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie; Wuppertal.

ika (2015): *CO2-Emissionsreduktion bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen nach 2020*. Institut für Kraftfahrzeuge der RWTH Aachen.

Ilgmann G., Polatschek K. (2013): *Zukunft der Mobilität – Wie viel öffentlichen Personenverkehr werden wir uns leisten können?* Collective Intelligence Press, Berlin.

Jochem E., Jäger C., Battaglini A., Bradke H., Cremer C., Eichhammer W., Förster H., Haas A., Henning E., Idrissova F., Kasper B., Köhler J., Köwener D., Krause J., Lass W., Lilliestam J., Mannsbart W., Müller M., Meißner F., Pflüger B., Radgen P., Ragwitz M., Rauschen M., Reitze F., Riffeser L., Saure K., Schade W., Sensfuß F., Toro F., Walz R., Wietschel M. (2008): I*nvestitionen für ein klimafreundliches Deutschland*. Endbericht von Fraunhofer ISI, PIK, BSR, ECF, MunichRe, Swisscanto im Auftrag des BMU, Karlsruhe, Berlin, Germany.

Jürgens K., Hoffmann R., Schildmann C. (2017): *Arbeit transformieren! – Denkanstöße der Kommission »Arbeit der Zukunft«.* Forschung aus der Hans-Böckler-Stiftung, Bd. 189, Transcript, Bielefeld.

Knierim B., Wolf W. (2019): *Abgefahren – Warum wir eine neue Bahnpolitik brauchen*. PapyRossa, Köln.

Korinek, A., & Stiglitz, J. E. (2017): *Artificial intelligence and its implications for income distribution and unemployment* (No. w24174). National Bureau of Economic Research.

Lee, K. F. (2018): *AI superpowers: China, Silicon Valley, and the new world order*. Houghton Mifflin Harcourt.

Manager Magazin (2020): *Deutschland ist innovativste Nation - vor Südkorea*. 20.01.2020. https://www.manager-magazin.de/unternehmen/artikel/bloomberg-innovation-index-deutschland-vor-suedkorea-innovativste-nation-a-1304197.html

Mazzucato, M. (2018): *The Entrepreneurial State – Debunking Public vs. Private Sector Myths*. Penguin Books.

MBWSV (Hrsg.) (2016): *Daten und Fakten zum Verkehr in Nordrhein-Westfalen 2015/2016*. Ministerium für Bauen, Wohnen, Stadtentwicklung und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen, Download: https://www.vm.nrw.de/verkehr/strasse/Strassenverkehr/Daten_und_Fakten/160729_Mobilitaet_in_NRW_Daten_und_Fakten_2015_2016.pdf (letzter Zugriff am 17. Dezember 2019).

Mogge K. (2018): *Abgrenzung und Begriffsbestimmung neuer Mobilitätskonzepte – Analyse des Begriffs- und Konzeptverständnisses von Bürgern bezüglich neuer, bedarfsorientierter Mobilitätsangebote.* Masterarbeit, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Download: https://elib.dlr.de/121294/1/Masterarbeit.pdf, letzter Zugriff am 21. Dezember 2019.

NAVIGANT; Kompetenzzentrum Elektromobilität; RE-xpertise (2019): *Verteilnetzausbau für die Energiewende*.

NPM (2019): *Wege zur Erreichung der Klimaziele 2030 im Verkehrssektor*. Zwischenbericht 03/2019 der Arbeitsgruppe 1 Klimaschutz im Verkehr, Nationale Plattform Zukunft der Mobilität. Download: https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-

content/uploads/2019/03/Zwischenbericht-03_2019-der-AG1-Klimaschutz-der-NPM-Wege-zur-Erreichung-der-Klimaziele-2030-im-Verkehrssektor.pdf.

ÖKO-Institut, Fraunhofer ISI, Prognos, M-Five, IREES, FiBL (2019): *Folgenabschätzung zu den ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Folgewirkungen der Sektorziele für 2030 des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung*. Endbericht, Berlin, Karlsruhe.

PROGNOS AG (2019a): *Beschäftigungseffekte der BDI-Klimapfade*. Studie im Auftrag der Stiftung Arbeit und Umwelt der IG BCE.

PROGNOS AG (2019b): *Finanzierung des Radverkehrs bis 2030*. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI).

Protzmann R.; Festag A.; Rehme M.; Radusch I.; Fritzsche R. (2018): *IV2X - Integrierte Betrachtung Fahrzeugkommunikation.* Fraunhofer FOKUS, Fraunhofer ISI, Institut für vernetzte Mobilität. Online unter: https://www.testfeld-berlin.de/pdfs/iV2X%20Dokumentation%201.5.pdf (letzter Zugriff am 17. Dezember 2019).

Ragwitz M, Schade W, Breitschopf B, Walz R, Helfrich N, Rathmann M, Resch G, Panzer C, Faber T, Haas R, Nathani C, Holzhey M, Konstantinaviciute I, Zagame P, Fougeyrollas A, le Hir B (2009): *EmployRES - The impact of renewable energy policy on economic growth and employment in the European Union*. Endbericht des Employ-RES Projektes im Auftrag der Europäischen Kommission, DG TREN. Karlsruhe.

RAL gGmbH (2019): *Umweltfreundliches Car Sharing*. Online unter: https://www.blauer-engel.de/de/produktwelt/alltag-wohnen/car-sharing; zugegriffen: 21. Dezember 2019.

Repenning J., Emele L., Blanck R., Böttcher H., Dehoust G., Förster H., Greiner B., Harthan R., Henneberg, K., Hermann, H., Jörß, W., Loreck, C., Ludig, S., Matthes, F.C., Scheffler, M., Schumacher, K., Wiegmann, K., Zell-Ziegler, C., Braungardt, S., Eichhammer, W., Elsland, R., Fleiter, T., Hartwig, J., Kockat, J., Pfluger, B., Schade W., Schlomann B., Sensfuß F., Ziesing H.-J. (2015). *Klimaschutzszenario 2050 - zweite Runde*, 2. Endbericht. Studie im Auftrag des BMUB, Berlin/Karlsruhe.

Rothengatter W. (2017): *Wider economic impacts of transport infrastructure investments: Relevant or negligible?* In: Transport Policy, vol. 59, S.124-133.

Schade W. (2005): *Strategic Sustainability Analysis: Concept and application for the assessment of European Transport Policy*. NOMOS-Verlag, Baden-Baden.

Schade W., Krail, M. (2006): *Modeling and calibration of large-scale system dynamics models: the case of the ASTRA model*. Paper presented at the 24th International Conference of the System Dynamics Society in Nijmegen, The Netherlands.

Schade W. (2008): *ASTRA - Ein Systemdynamik-Modell zur integrierten Bewertung von langfristigen Politikstrategien*. *Kurzübersicht des ASTRA Modells*. Working Paper. Fraunhofer ISI, Karlsruhe.

Schade W., Jochem E., Barker T., Catenazzi G., Eichhammer W., Fleiter T., Held A., Helfrich N., Jakob M., Criqui P., Mima S., Quandt L., Peters A., Ragwitz M., Reiter U., Reitze F., Schelhaas M., Scrieciu S., Turton H. (2009a): *ADAM 2-degree scenario for Europe – policies and impacts.* Bericht D-M1.3 des ADAM-Projektes (Adaptation and

Mitigation Strategies: Supporting European Climate Policy) gefördert durch die Europäische Kommission im 6ten Forschungsrahmenprogramm. Karlsruhe.

Schade W., Lüllmann A., Beckmann R., Köhler J. (2009b): *Gesamtwirtschaftliche Wirkungen von Energieeffizienzmaßnahmen in den Bereichen Gebäude, Unternehmen und Verkehr*. Endbericht des IKEP-Makro Projektes im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA), Climate Change Series 8/2009, Karlsruhe.

Schade W., Krail M., Fiorello D., Helfrich N., Köhler J., Kraft M., Maurer H., Meijeren J., Newton S., Purwanto J., Schade B., Szimba E. (2010): *The iTREN-2030 Integrated Scenario until 2030*. Bericht D5 des iTREN-2030 Projektes (Integrated transport and energy baseline until 2030) gefördert durch die Europäische Kommission im 6ten Forschungsrahmenprogramm. Fraunhofer-ISI, Karlsruhe.

Schade W., Peters A., Doll C., Klug S., Köhler J., Krail M. (2011): *VIVER – Vision für nachhaltigen Verkehr in Deutschland*. Fraunhofer-ISI Working Paper Sustainability and Innovation, No. S 3/2011, Karlsruhe.

SCHADE, WOLFGANG ; ZANKER, CHRISTOPH ; KÜHN, ANDRÉ ; HETTESHEIMER, TIM (2014): *Sieben Herausforderungen für die deutsche Automobilindustrie: strategische Antworten im Spannungsfeld von Globalisierung, Produkt- und Dienstleistungsinnovationen bis 2030*. Studien des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag. Berlin : Edition Sigma, — ISBN 978-3-8360-8140-5

SCHADE, WOLFGANG; DOLL, CLAUS ; MADER, SIMON ; SIEVERS, LUISA ; WAGNER, UDO (2017): *Leitbild nachhaltige Mobilität: Szenarien Multi-Modalität-2035 und E-Straße-2035*. Arbeitspapier des Projektes Beschäftigungseffekte nachhaltiger Mobilität: Eine systemische Analyse der Perspektiven in Deutschland bis 2035. Karlsruhe. https://www.m-five.de/pdf/m-five_isi_nachhaltige_mobilitaet.pdf .

Schade W., Maffii S., Hartwig J., de Stasio C., Fermi F., Martino A., Schäfer S., Welter S., Zani L. (2018) *The impact of TEN-T completion on growth, jobs and the environment – Methodology and Results. FINAL REPORT*. Bericht im Auftrag der europäischen Kommission, DG MOVE. Karlsruhe, Milan. Download: https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/studies/ten-t-growths-and-jobs-methodology.pdf.

Schaller B. (2018): *The New Automobility – Lyft, Uber and the Future of American Cities*. Schaller Consulting, Brooklyn NY, Download: http://www.schallerconsult.com/rideservices/automobility.pdf, letzter Zugriff am 20. Dezember 2019.

Schneemann C., Weber E., Zika G., Mönning A. (2018): *Elektromobilität 2035*. Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung IAB.

Schwedes O. (2011): *Die Daseinsvorsorge im Verkehr. Geschichte – Gegenwart – Zukunft*. Verbraucherzentrale Bundesverband, Download https://www.vzbv.de/sites/default/files/downloads/Verkehr_Daseinsvorsorge-Schwedes-2011.pdf, letzter Zugriff am 20. Dezember 2019.

SIEVERS, L. ; GRIMM, A. ; DOLL, C. (2019): *Transformation der Mobilität - Bestimmung der Beschäftigungseffekte in 2035 mit einem Input- Output-Modell.* Arbeitspapier des Projektes Beschäftigungseffekte nachhaltiger Mobilität im Auftrag der Hans-Böckler-Stiftung, Karlsruhe. https://www.m-five.de/pdf/ISI_HBS_NM_AP4_Sektorale_Beschäftigungseffekte_nachhaltiger_Mobilität.pdf .

Solow, R. M. (1956): *A Contribution to the Theory of Economic Growth*. In: Quarterly Journal of Economics, vol. 70, pp 65-94.

Spath D., Bauer W., Voigt S., Borrmann D., Herrmann F., Brand M., Rally P., Rothfuss F., Sachs C., Frieske B. (2012): *Elektromobilität und Beschäftigung - Wirkungen der Elektrifizierung des Antriebsstrangs auf Beschäftigung und Standortumgebung (ELAB).* Fraunhofer IAO, IMU Institut und Institut für Fahrzeugkonzepte des DLR. Studie beauftragt von der Daimler AG und der Hans-Böckler-Stiftung. Düsseldorf.

Stadt Wien (2018): *Leitfaden Mobilitätsstationen*. Werkstattbericht 179, Online unter: https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/studien/pdf/b008521.pdf, letzter Zugriff am 27. November 2019.

Statistisches Bundesamt (2008). *Klassifikationen-Gliederung der Klassifikation der Wirtschaftszweige*. Wiesbaden.

Stuhr, R. (2018): *Ansätze zur Bilanzierung des staatlichen Straßeninfrastrukturvermögen.* Wiesbaden: Springer 2018.

Tartler, J. (2019): *„Klar findet eine Kannibalisierung statt“ – Was eine Verkehrsforscherin über die Mobilität der Zukunft sagt*. In: *Berliner Tagesspiegel*, Interview vom 8. April 2019, online unter: https://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/klar-findet-eine-kannibalisierung-statt-was-eine-verkehrsforscherin-ueber-die-mobilitaet-der-zukunft-sagt/24188834.html, letzter Zugriff am 21. Dezember 2019.

Trevor R. (2019). *Potenziale der Mikromobilität in den Vereinigten Staaten, Großbritannien und Deutschland*. INRIX, Download http://www2.inrix.com/micromobility-study-2019, letzter Zugriff am 21. Dezember 2019.

UN, EC, IMF, OECD, World Bank (2009): *System of National Accounts 2008*. New York.

VDV (2013). *Der ÖPNV: Rückgrat und Motor eines zukunftsorientierten Mobilitätsverbundes*. AG “Multimodale Mobilitätsangebote” des VDV-Ausschusses für Strategie. Köln.

Verdi (2016): *Stellungnahme zu den Fragen des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) zur Evaluierung der Novellierung des Personenbeförderungsgesetzes (PBefG) vom 14. Dezember 2012 gemäß § 66 PBefG*. ver.di - Vereinte Dienstleistungsgewerkschaft. Download: https://verkehr.verdi.de/++file++57321c296f684406cc00027e/download/ver.di_Stellungnahme%20%C2%A7%2066%20PBefG%20-%2006.05.2016.pdf (letzter Zugriff am 20. Dezember 2019).

WAGNER, UDO ; SCHADE, WOLFGANG ; SIEVERS, LUISA ; BERTHOLD, DANIEL ; DOLL, CLAUS ; HARTWIG, JOHANNES ; MADER, SIMON (2018): *Status quo von Wertschöpfung und Beschäftigung in der Mobilität*. Arbeitspapier des Projektes Beschäftigungseffekte nachhaltiger Mobilität im Auftrag der Hans-Böckler-Stiftung. Karlsruhe. https://www.m-five.de/pdf/m-five_isi_nachhaltige_mobilitaet_80223.pdf .

WAGNER U., SCHADE W., BERTHOLD D., MADER S., SCHÄFER S., SCHERF C., WAGNER U. (2019): *Transformation der Mobilität aus regionaler Sicht: Fortschreibung des Status quo von Wertschöpfung und Beschäftigung in der Mobilität auf Kreisebene*. Arbeitspapier des Projektes Beschäftigungseffekte nachhaltiger Mobilität im Auftrag der Hans-Böckler-Stiftung, Karlsruhe. https://www.m-five.de/pdf/M-Five_HBS_NM_AP3_Analyse_Kreisebene_2035_190927_FINAL.pdf .