

## ELAB 2.0

WIRKUNGEN DER FAHRZEUGELEKTRIFIZIERUNG AUF  
DIE BESCHÄFTIGUNG AM STANDORT DEUTSCHLAND





## **ELAB 2.0**

# **WIRKUNGEN DER FAHRZEUGELEKTRIFIZIERUNG AUF DIE BESCHÄFTIGUNG AM STANDORT DEUTSCHLAND**

**ABSCHLUSSBERICHT, 15. NOVEMBER 2018**

PROF. DR.-ING. PROF. E. H. WILHELM BAUER | PROF. DR.-ING. OLIVER RIEDEL  
DR.-ING. FLORIAN HERRMANN | DANIEL BORRMANN | CAROLINA SACHS  
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Stuttgart

DR.-ING. STEPHAN SCHMID, MATTHIAS KLÖTZKE  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) –  
Institut für Fahrzeugkonzepte, Stuttgart

PROJEKTPARTNER:  
BMW Group, Robert Bosch GmbH, Daimler AG, DLR – Institut für Fahrzeug-  
konzepte, IG Metall, MAHLE GmbH, Schaeffler AG, Verband der Automobil-  
industrie e.V. (VDA), Volkswagen AG, ZF Friedrichshafen AG

**Projektlaufzeit: 01.04.2017 – 30.06.2018**

**2.Auflage**

# INHALT

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>4</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>5</b>
<b>1 Einleitung und Motivation</b>	<b>14</b>
1.1 Technologische Transformation der Automobilindustrie	14
1.2 Rückblick »ELAB 1.0« und Notwendigkeit ELAB 2.0	15
1.3 Abgrenzung zu bestehenden Studien und Projekten	17
<b>2 Auswirkungen der Transformation auf die Antriebsstrangproduktion</b>	<b>20</b>
2.1 Veränderungen durch den Trend der Dekarbonisierung	20
2.2 Veränderungen durch den Trend der Digitalisierung	23
<b>3 Methodisches Vorgehen, Untersuchungsraum und Annahmen</b>	<b>25</b>
3.1 Überblick zum methodischen Vorgehen	25
3.2 Untersuchungsraum und Annahmen	26
<b>4 Technische Analyse von Fahrzeug und Antriebskonzepten</b>	<b>30</b>
4.1 Aktueller Stand, Entwicklungstrends und Zukunftsperspektive	30
4.2 Referenzfahrzeug und betrachtete Komponenten	33
<b>5 Zugrunde gelegte Produktionsszenarien</b>	<b>34</b>
5.1 Grundlagen	34
5.2 Szenario 1 (25 % BEV)	35
5.3 Szenario 2 (40 % BEV)	36
5.4 Szenario 3 (80 % BEV)	37
<b>6 Betrachtete Wertschöpfungsumfänge</b>	<b>38</b>
6.1 Betrachtete Antriebsstrangkomponenten	38
6.1.1 Verbrennungskraftmaschine (ICE)	38
6.1.2 Peripherie Verbrennungskraftmaschine (ICE-Peripherie)	39
6.1.3 Automatik- und Hybridgetriebe	40
6.1.4 Traktionsbatterie	41
6.1.5 Elektrische Maschine	42
6.1.6 Leistungselektronik	43
6.2 Betrachtete Wertschöpfungsketten	44
6.3 Übersicht über die betrachteten Wertschöpfungsumfänge	46

<b>7</b>	<b>Quantitative Analyse der Beschäftigungseffekte im Referenzmodell</b>	<b>48</b>
7.1	Berechnungsgrundlagen und Modellbausteine	48
7.1.1	Festgelegte Szenarien, Antriebsstrang-Typen und deren Komponenten	49
7.1.2	Erhobene Personalbedarfe und stückzahlabhängige Verhältnisse	52
7.1.3	Netto-/Brutto-Faktoren und angenommene Produktivitätssteigerungen	56
7.2	Personalbedarf im Jahr 2017 und Wirkung der Produktivitätssteigerungen	58
7.3	Effekte in den Szenarien	59
7.3.1	Ermittelte Effekte Szenario 1 (25 % BEV)	60
7.3.2	Ermittelte Effekte Szenario 2 (40 % BEV)	64
7.3.3	Ermittelte Effekte Szenario 3 (80 % BEV)	68
7.3.4	Gegenüberstellung der Ergebnisse aus den Szenarien	72
7.4	Sensitivität der Personalbedarfe gegenüber PHEV-Anteilen	75
<b>8</b>	<b>Implikationen der Modellergebnisse für den Standort Deutschland</b>	<b>76</b>
8.1	Auswirkungen von Technologie- und Produktivitätseffekten am Standort	76
8.2	Extrapolation der Modellergebnisse auf den Standort Deutschland	78
<b>9</b>	<b>Handlungsfelder und Handlungsempfehlungen</b>	<b>84</b>
9.1	Erkenntnisse aus den Untersuchungen	84
9.2	Unternehmens- und standortpolitische Maßnahmen	85
9.3	Industrie- und wirtschaftspolitische Maßnahmen	86
9.4	Bildungs- und wissenspolitische Maßnahmen	87
9.5	Maßnahmen hinsichtlich Regulierungen	88
9.6	Zentrale Aussagen und Kernbotschaften	89
<b>10</b>	<b>Ausblick und weiterer Forschungsbedarf</b>	<b>90</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>92</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>96</b>
	<b>Anhang</b>	<b>100</b>
	Erhobene Personalbedarfe für 2016 nach Komponenten und Beschäftigungsgruppen zu Durchschnittswerten verdichtet	100

# ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

<b>a</b>	annum (Jahr)
<b>BEV</b>	Battery Electric Vehicle (Batterieelektrisches Fahrzeug ohne Verbrennungskraftmaschine)
<b>CO<sub>2</sub></b>	Kohlenstoffdioxid
<b>ELAB</b>	Elektromobilität und Beschäftigung – Wirkungen der <b>E</b> lektrofizierung des <b>A</b> ntriebsstrangs auf <b>B</b> eschäftigung und Standortumgebung
<b>FCV</b>	Fuel Cell Vehicle (Brennstoffzellenfahrzeug)
<b>ggü.</b>	gegenüber
<b>HEV</b>	Hybrid Electric Vehicle (Hybridfahrzeug), hier auch Voll-Hybridfahrzeug
<b>ICE</b>	Internal Combustion Engine (Verbrennungskraftmaschine)
<b>ICEV</b>	Internal Combustion Engine Vehicle (konventionelles Fahrzeug, Fahrzeug mit Verbrennungskraftmaschine)
<b>KMU</b>	Kleine und mittlere Unternehmen
<b>MHEV</b>	Mild Hybrid Electric Vehicle (Mild-Hybrid-Variante eines konventionellen Fahrzeugs)
<b>Mild</b>	Im Projekt »ELAB 1.0« behandeltes Hybridfahrzeug
<b>NEDC</b>	New European Driving Cycle (Neuer Europäischer Fahrzyklus)
<b>NEFZ</b>	Neuer Europäischer Fahrzyklus
<b>NO<sub>2</sub></b>	Stickstoffdioxid
<b>OEM</b>	Original Equipment Manufacturer (Automobilhersteller)
<b>p.a.</b>	per annum (pro Jahr)
<b>PHEV</b>	Plug-in-Hybrid Electric Vehicle (Plug-in-Hybridfahrzeug)
<b>Pkw</b>	Personenkraftwagen
<b>REX</b>	Im Projekt »ELAB 1.0« behandeltes Range-extended Electric Vehicle (Batterieelektrisches Fahrzeug mit Reichweitenverlängerung)
<b>TIERx</b>	Automobilzulieferer der x-ten Ebene
<b>WLTP</b>	Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure (Weltweit harmonisierter Zyklus für leichte Fahrzeuge)
<b>WSK</b>	Wertschöpfungskette

# KURZFASSUNG

Die Automobilindustrie steht derzeit vor dem größten Umbruch ihrer Geschichte. Drei Megatrends fordern sie heraus und werden sie verändern: Die fortschreitende **Globalisierung**, die zunehmende **Digitalisierung** und die Notwendigkeit zur **Dekarbonisierung**. Für Deutschland ist das von besonderer Bedeutung. Denn die Automobilindustrie ist eine Schlüsselindustrie seiner Volkswirtschaft. Sie beschäftigt fast 840 000 Menschen. Mindestens ebenso viele Arbeitsplätze im Land sind indirekt von ihr abhängig. Deshalb ist es wichtig, wissenschaftlich fundiert abzuschätzen, welche Auswirkungen die bevorstehenden Veränderungen in der Automobilindustrie auf die Beschäftigung am Standort Deutschland voraussichtlich haben werden. Die Kenntnis dieser Auswirkungen ist erforderlich, um den Strukturwandel erfolgreich zu gestalten. Die vorliegende Studie ELAB 2.0 hat zum Ziel, diese Auswirkungen zu ermitteln. Sie knüpft an die 2012 publizierte Vorgängerstudie ELAB an, geht aber von aktualisierten Voraussetzungen aus und bezieht im Gegensatz zu dieser Zulieferunternehmen in die Betrachtung ein. Sie konzentriert sich auf den Megatrend der Dekarbonisierung und speziell den daraus resultierenden Markthochlauf der Elektromobilität, denkt dabei die Konsequenzen der Globalisierung und Digitalisierung in ihren Analysen aber implizit mit.

Als eine Konsequenz der **Globalisierung** ist z. B. deren Einfluss auf die Automobilproduktion in Europa zu bedenken. Dort führt die Marktsättigung zu einer Stagnation der Fertigungsmengen, während europäische Hersteller von steigenden Produktionszahlen in wachsenden Märkten wie Indien oder China kaum profitieren, weil die Produktion dort zunehmend vor Ort erfolgt. Hinzu kommen der Druck auf deutsche Standorte durch den Wettbewerb mit Niedriglohnländern sowie zunehmende protektionistische Tendenzen.

Die **Digitalisierung** wird sowohl die Produktion als auch die Produkte der Automobilindustrie grundlegend verändern. In der Produktion hat sie eine vierte industrielle Revolution ausgelöst – bekannt unter dem Stichwort »Industrie 4.0«. Diese Revolution wird die Produktion flexibilisieren, an die

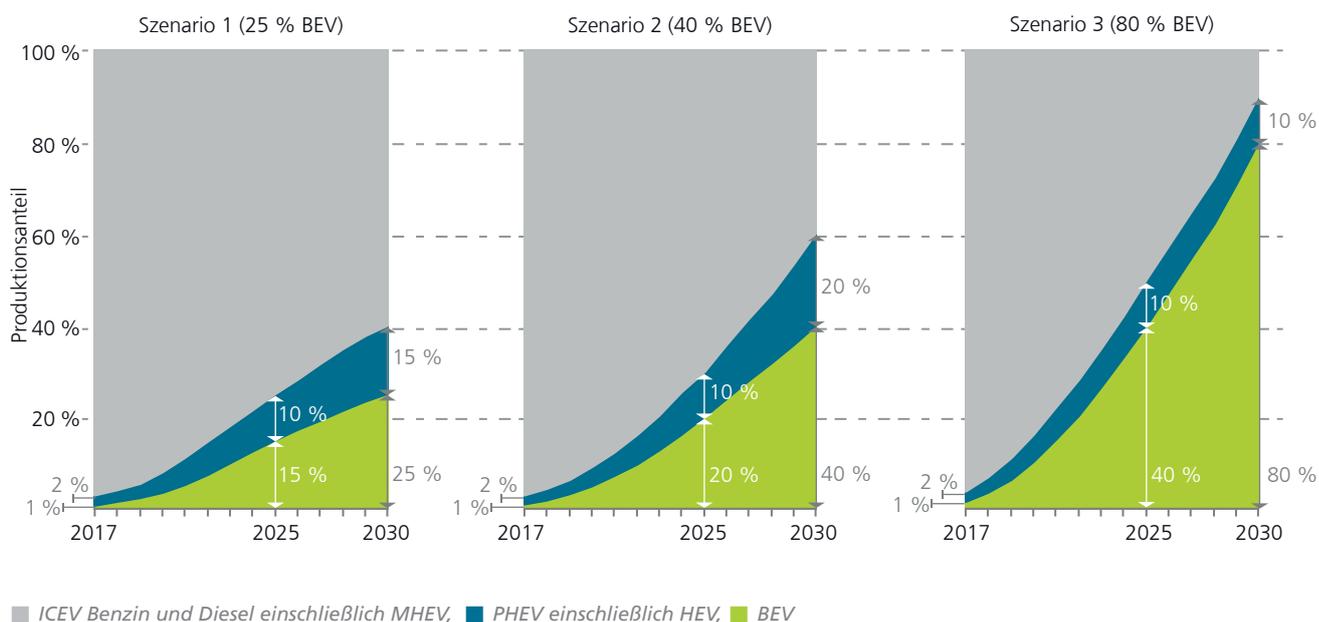
individuellen Bedürfnisse von Kunden und Geschäftspartnern anpassen und um hochwertige Dienstleistungen ergänzen können. »Arbeit 4.0« wird flexibler und dezentraler ablaufen als heute. Sie wird neue Qualifikationen erfordern, was nicht zum Abbau von Arbeitsstellen führen muss. Insgesamt wird »Produktion 4.0« die Innovationszyklen beschleunigen und Produktivitätsfortschritte garantieren. Die Digitalisierung der Fahrzeuge andererseits wird schon in absehbarer Zeit automatisiertes und autonomes Fahren ermöglichen. Verbunden mit der intelligenten Verknüpfung von Fahrzeugen mit den Infrastrukturen des Straßenverkehrs und der Energieversorgung werden sich daraus völlig neue Formen der Mobilität entwickeln. Das eröffnet der Automobilindustrie neue Perspektiven der Wertschöpfung.

Besonders akut ist aber die Notwendigkeit zur **Dekarbonisierung**. Sie leitet sich in erster Linie aus dem Klimaschutzabkommen ab, das die internationale Staatengemeinschaft im Dezember 2015 in Paris beschlossen hat. Es zielt auf die rasche und verbindliche Reduktion von Treibhausgas-Emissionen ab. Die Automobilindustrie ist davon deshalb betroffen, weil der Straßenverkehr im Jahr 2017 gemäß Statistik der IEA rund 18 Prozent der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht. In Europa ist der Transportsektor der zweitgrößte Verursacher von Treibhausgas-Emissionen. Die Europäische Union (EU) schreibt aus diesem Grund schon heute Grenzwerte der CO<sub>2</sub>-Emissionen vor, die die Hersteller im Durchschnitt ihrer gesamten Flotte für jedes Fahrzeug einzuhalten haben. Diese Grenzwerte sollen nach 2020 weiter verschärft werden. Um sie nicht zu überschreiten und hohe Strafzahlungen zu vermeiden, müssen die Hersteller neben den herkömmlichen Verbrennungsfahrzeugen mit Benzin- oder Dieselmotor (Internal Combustion Engine Vehicle = ICEV) nach momentanem Stand der Regulierung immer mehr rein batterieelektrisch betriebene Fahrzeuge (Battery Electric Vehicle = BEV) produzieren. Hybridfahrzeuge, die sowohl über einen Verbrennungsmotor als auch über eine an einer Steckdose aufladbare Batterie verfügen (Plug-in-Hybrid Electric Vehicle = PHEV), können ebenfalls dazu beitragen, Emissionen zu reduzieren.

Wie sich der Anteil dieser Fahrzeuge an den Flotten der Automobilhersteller und damit an deren Gesamtproduktion entwickeln wird, hängt von vielen Variablen ab, und lässt sich nicht genau voraussagen. Deshalb ist es sinnvoll, die mögliche Entwicklung anhand von Szenarien zu studieren, die unter verschiedenen Grundannahmen jeweils plausibel erscheinen. ELAB 2.0 geht in seinen Analysen von drei möglichen Szenarien der Entwicklung bis 2030 aus. Die Szenarien bilden dabei nicht etwa einen Markt ab, sondern die Produktion eines fiktiven Herstellernetzwerks in Europa für Europa.

Alle drei Szenarien legen den **Produktionsmix des Jahres 2017** zugrunde<sup>1</sup>. Demnach haben Verbrennungsfahrzeuge einen Marktanteil von 97 Prozent (49 Prozent Benzin, 48 Prozent Diesel), während sich der von Plug-in-Hybriden und reinen Elektroautos auf 2 Prozent bzw. 1 Prozent beläuft. Brennstoffzellen-Fahrzeuge spielen in dieser Betrachtung keine Rolle.

**Szenario 1** geht von einem moderaten Anstieg der elektrifizierten Antriebe aus. Hierbei wird für PHEV ein Anteil von 10 Prozent bzw. 15 Prozent in den Jahren 2025 und 2030 prognostiziert. Der BEV-Anteil beträgt 15 Prozent im Jahr 2025 und 25 Prozent im Jahr 2030. Dieses Szenario ist inspiriert vom Benchmark-Ansatz der EU-Kommission zur CO<sub>2</sub>-Zielerreichung. Demnach würden Automobilhersteller, deren Anteil an emissionsfreien und -armen Fahrzeugen die Schwelle von 15 Prozent für das Jahr 2025 und 30 Prozent für das Jahr 2030 überschreiten, mit weniger strengen CO<sub>2</sub>-Zielen belohnt. In diesem Szenario wird zusätzlich angenommen, dass keine unerwarteten Ereignisse eintreten, die den Markthochlauf von Elektrofahrzeugen maßgeblich beschleunigen könnten.



<sup>1</sup> Alle Untersuchungen beginnen mit dem Jahr 2017, sie basieren jedoch auf Zahlen von 2016, da zu Beginn des Projekts ELAB 2.0 im Jahr 2017 keine aktuelleren, vollumfänglich belastbaren Daten verfügbar waren.

**Szenario 2** nimmt einen stärkeren Anstieg der elektrifizierten Antriebe an. PHEV erreichen im Jahr 2025 einen Anteil von 10 Prozent und im Jahr 2030 einen Anteil von 20 Prozent. BEV besitzen demnach im Jahr 2025 bereits einen Anteil von 20 Prozent und im Jahr 2030 von 40 Prozent. Ein solches Szenario würde vermutlich eintreten, wenn regulatorische Maßnahmen in Kraft träten, die die Elektromobilität direkt oder indirekt fördern. Dazu könnten etwa umfassende Einfahrts- oder gar Zulassungsverbote für Verbrennungsfahrzeuge auf kommunaler oder regionaler Ebene zählen. Menschen, die auf individuelle Mobilität angewiesen sind, würden dann den Kauf eines Elektrofahrzeugs stärker in Betracht ziehen. Eine Voraussetzung für dieses Szenario ist allerdings auch, dass es eine flächendeckende Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge gibt.

**Szenario 3** ist von einem sehr starken Anstieg des BEV-Anteils bei einem sehr moderaten Anstieg des PHEV-Anteils gekennzeichnet. PHEV erreichen demnach im Jahr 2025 einen Marktanteil von 10 Prozent, den sie bis zum Jahr 2030 beibehalten. BEV dagegen sind schon im Jahr 2025 auf einen Anteil von 40 Prozent gestiegen und erreichen im Jahr 2030 sogar 80 Prozent. Ein solches Szenario könnte das Ergebnis weiterer Verschärfungen gesetzlicher Maßnahmen zur Dekarbonisierung sein. Es wäre allerdings nur realisierbar, wenn die Stromnetze insbesondere in urbanen Ballungsräumen so stark ausgebaut wären, dass sie der Last durch so viele ladende Elektrofahrzeuge standhalten könnten. Ferner müsste die gesellschaftliche Akzeptanz von Elektrofahrzeugen hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit und Zuverlässigkeit deutlich ansteigen.

Vor dem Hintergrund dieser drei Szenarien hat ELAB 2.0 untersucht, wie sich die Zahl der Beschäftigten am Standort Deutschland in der Herstellung von Antriebssträngen durch deren Elektrifizierung entwickeln wird. **Der Antriebsstrang ist das zentrale Element**, in dem sich die drei Fahrzeugtypen ICEV, PHEV und BEV unterscheiden. Bei dessen Produktion werden sich die beschäftigungsrelevanten Veränderungen in der Automobilindustrie, die mit der Fahrzeugelektrifizierung

einhergehen, zu einem erheblichen Teil zeigen. Die anderen Phasen des Produktlebenszyklus von ICEV, PHEV und BEV, die von der Forschung und Entwicklung bis zur Distribution und zur Wiederverwertung reichen, werden ebenfalls von der Elektrifizierung betroffen sein, sie finden hier allerdings keine Berücksichtigung. Das Ausmaß der Veränderungen lässt bereits der exemplarische Blick auf die **unterschiedliche Komplexität eines Verbrennungs- und eines Elektromotors** erahnen:



(Quellen: Volkswagen, BMW)

Zum Antriebsstrang eines Verbrennungsfahrzeugs gehören neben dem Motor sein Getriebe und seine Peripherie (z. B. Ölversorgung, Luftversorgung, Einspritzanlage), zum Antriebsstrang eines reinen Elektroautos neben dem Motor dessen Traktionsbatterie und dessen Leistungselektronik. Ein Plug-in-Hybrid verfügt sowohl über einen Verbrennungs- als auch über einen Elektromotor, der in das Hybridgetriebe integriert ist. ELAB 2.0 hat nun gemäß der nachfolgend abgebildeten Matrix den Personalbedarf für die Produktion der typischen Komponenten jedes Antriebsstrangs untersucht. Die **Referenzmodelle** der Untersuchung waren Fahrzeuge des besonders stark nachgefragten **Segments C**, zu dem z. B. der VW Golf, die 1er-Reihe von BMW und die Mercedes Benz A-Klasse gehören. Auch die Mildhybridvarianten der Verbrennungsfahrzeuge wurden berücksichtigt.

Für die Berechnung, wieviel Personal jeweils für die Herstellung der Komponenten und deren Einbau in die Fahrzeuge notwendig ist, **ging ELAB 2.0 ferner von folgenden Grundsätzen aus:**

- Alle Personalbedarfe werden zunächst für die **Produktion von jeweils einer Million Antriebssträngen** ermittelt.
- Die Produktion erfolgt im Dreischichtbetrieb auf vier Linien.
- Der Personalbedarf umfasst sowohl direkte Mitarbeiter am Montageband als auch produktionsnahe indirekte Mitarbeiter (z. B. Qualitätssicherer) und indirekte Mitarbeiter (z. B. Planer).
- Der Personalbedarf wird in Netto-Werten erhoben, die anschließend **in Brutto-Werte umgerechnet** werden, die Urlaub, Krankheit etc. einbeziehen.
- Nur solche Veränderungen im Personalbedarf werden erfasst, die sich eindeutig der Elektrifizierung des Antriebsstrangs zuordnen und im Rahmen der Analyse erfassen lassen.

	ICE Benzin	ICE-Peripherie Benzin	ICE Diesel	ICE-Peripherie Diesel	Automatikgetriebe	Hybridgetriebe	Elektrische Maschine	Traktionsbatterie	Leistungselektronik
ICEV Benzin (ICE, Peripherie, Automatikgetriebe)	X	X			X				
ICEV Benzin MHEV (wie oben + Batterie, DC/DC-Wandler)	X	X			X			X	X
ICEV Diesel (ICE, Peripherie, Automatikgetriebe)			X	X	X				
ICEV Diesel MHEV (wie oben + Batterie, DC/DC-Wandler)			X	X	X			X	X
PHEV (ICE, Elektrische Maschine, Batterie, DC/DC-Wandler)	X	X				X	1	X	X
BEV (Elektrische Maschine, Batterie, DC/DC-Wandler)							X	X	X

1 Bei PHEV ist die Elektrische Maschine im Hybridgetriebe enthalten

- Der Personalbedarf für die Herstellung von Komponenten, die importiert werden, wie Batteriezellen oder Magnete, geht nicht in die Berechnung ein.
- Die Aufbereitung von Rohstoffen und Rohmaterial sowie die Herstellung von Normteilen wird bei allen Komponenten von der Betrachtung ausgeschlossen.

Die Wertschöpfungsketten bei den Bestandteilen des Antriebsstrangs sind sehr umfangreich. Dies brachte es mit sich, dass die **Wertschöpfungsanteile der betrachteten Komponenten nicht in vollem Umfang analysiert** wurden. Der analysierte Anteil der Beschäftigung je Komponente liegt aber – mit Ausnahme der Peripherie des Verbrennungsmotors – meist bei deutlich über 50 Prozent, wie die folgende Übersicht zeigt:

Unter den vorgenannten Prämissen ergab sich – ausgehend von den oben für das Jahr 2016 erhobenen Beschäftigten – für die Produktion von einer Million Antriebssträngen **im Basisjahr 2017 eine Ausgangszahl von brutto 17 320 Beschäftigten**, von denen 15220 mit Verbrennungs-, 1660 mit Hybrid- und 440 mit Elektrofahrzeugen befasst sind.

Um auf dieser Analyse aufbauend die Entwicklung des Personalbedarfs bis 2030 (mit dem Stützjahr 2025) fundiert abzuschätzen, verfolgte ELAB 2.0 **zwei Pfade**, den ersten **ohne** und den zweiten **mit** den zu erwartenden **Produktivitätssteigerungen**. Für den zweiten wurde unterstellt, dass für konventionelle Komponenten (Verbrennungsmotor samt Peripherie, Automatik- und Hybridgetriebe) eine Produktivi-

Herstellung von Komponente	Analysierter Anteil der Beschäftigung in der jeweils betrachteten Wertschöpfungskette	Beschäftigte (netto) im Jahr 2016 bei	
		250 000 Stück / a (1 Linie im Dreischichtbetrieb)	1 000 000 Stück / a (4 Linien im Dreischichtbetrieb)
ICE Benzin	60 %	~ 1140	~ 3990
ICE Diesel	60 %	~ 1150	~ 4030
ICE-Peripherie Benzin	25 %	~ 630	~ 2100
ICE-Peripherie Diesel	25 %	~ 1030	~ 3380
Automatikgetriebe	75 %	~ 940	~ 3360
Hybridgetriebe (einschließlich Elektrische Maschine)	75 %	~ 1230	~ 4420
Elektrische Maschine (einschl. Getriebe, ohne Magnete)	85 %	~ 530	~ 1840
Traktionsbatterie (ohne Zellen)	70 %	~ 350	~ 1320
Leistungselektronik	55 %	~ 120	~ 420

## KURZFASSUNG

tätssteigerung von jährlich 2 Prozent, für neue Komponenten (Elektromotor, Traktionsbatterie, Leistungselektronik) eine Produktivitätssteigerung von jährlich 3 Prozent zu erwarten ist. Bemerkenswert dabei ist, dass eine derart steigende Produktivität den Personalbedarf bei der Herstellung von Antriebssträngen selbst ohne irgendwelche Auswirkungen der Elektrifizierung des Antriebs bis 2030 um 27 Prozent gegenüber 2017 vermindern wird.

Jeder dieser beiden Pfade wurde in ELAB 2.0 auf Grundlage der errechneten Personalbedarfe pro Komponente in jedem der drei Szenarien verfolgt. Die jeweils ermittelten Ergebnisse unter Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Stückzahlen und Personalbedarf je Antriebsstrang in Szenario 1, 2 und 3 mit Produktivitätssteigerungen	Jahr	Szenario 1 mit Produktivitätssteigerungen		Szenario 2 mit Produktivitätssteigerungen		Szenario 3 mit Produktivitätssteigerungen	
		Stück	Personalbedarf	Stück	Personalbedarf	Stück	Personalbedarf
ICEV Benzin (ICE, Peripherie, Automatikgetriebe)	2017	462 550	5 240	460 860	5 240	485 440	5 240
	2025	266 940	2 810	245 930	2 240	260 400	2 490
	2030	110 000	1 630	70 000	790	17 500	590
ICEV Benzin MHEV (wie oben + Batterie, DC/DC-Wandler)	2017	24 310	1 170	20 090	1 170	8 390	1 170
	2025	186 610	2 230	127 330	1 790	35 540	880
	2030	330 000	3 190	210 000	2 140	52 500	730
ICEV Diesel (ICE, Peripherie, Automatikgetriebe)	2017	474 740	6 010	478 680	6 010	462 790	6 010
	2025	239 470	2 930	286 380	3 450	192 630	2 230
	2030	80 000	1 050	60 000	1 010	15 000	580
ICEV Diesel MHEV (wie oben + Batterie, DC/DC-Wandler)	2017	8 120	1 360	8 930	1 360	5 710	1 360
	2025	56 980	1 300	40 360	1 170	11 430	1 050
	2030	80 000	1 160	60 000	1 140	15 000	710
PHEV (ICE, Elektrische Maschine, Batterie, DC/DC-Wandler)	2017	21 060	1 400	20 840	1 400	22 130	1 400
	2025	100 000	2 060	100 000	2 140	100 000	2 010
	2030	150 000	2 050	200 000	2 710	100 000	1 760
BEV (Elektrische Maschine, Batterie, DC/DC-Wandler)	2017	9 220	320	10 610	320	15 530	320
	2025	150 000	550	200 010	890	400 000	1 520
	2030	250 000	640	400 000	1 370	800 000	2 620
Summe	2017	1 000 000	15 500	1 000 000	15 500	1 000 000	15 500
	2025	1 000 000	11 870	1 000 000	11 690	1 000 000	10 180
	2030	1 000 000	9 730	1 000 000	9 160	1 000 000	6 990

Ein Abgleich der Zahlen aus der obenstehenden Tabelle ergab in Summe das nachfolgend dargestellte Ergebnis:

Veränderung des Personalbedarfs bezogen auf den Gesamt-Bedarf im Jahr 2017		Ohne Produktivitätssteigerungen		Mit Produktivitätssteigerungen	
		Stützjahr	2025	2030	2025
Szenario 1 (25 % BEV)	ICEV	-17 %	-26 %	-29 %	-43 %
	PHEV	+7 %	+10 %	+4 %	+4 %
	BEV	+3 %	+5 %	+2 %	+2 %
	Saldo	-7 %	-11 %	-23 %	-37 %
Szenario 2 (40 % BEV)	ICEV	-22 %	-44 %	-33 %	-56 %
	PHEV	+8 %	+15 %	+5 %	+9 %
	BEV	+5 %	+11 %	+4 %	+7 %
	Saldo	-9 %	-18 %	-24 %	-40 %
Szenario 3 (80 % BEV)	ICEV	-37 %	-65 %	-45 %	-71 %
	PHEV	+7 %	+7 %	+4 %	+3 %
	BEV	+10 %	+23 %	+8 %	+15 %
	Saldo	-20 %	-35 %	-33 %	-53 %

Lässt man also die Effekte durch (sehr wahrscheinliche) Produktivitätssteigerungen unberücksichtigt, dann wird die Elektrifizierung des Antriebsstrangs je nach Szenario zu einer **Verminderung des Personalbedarfs** für dessen Herstellung **zwischen elf und 35 Prozent** führen<sup>1</sup>.

Was das in absoluten Zahlen für den Standort Deutschland bedeutet, ist erst zu ermesen, wenn man die **Modellergebnisse** von ELAB 2.0 **in zweierlei Hinsicht der Realität** angleicht, indem man nämlich:

- den analysierten Anteil der Beschäftigung für jede betrachtete Komponente auf 100 Prozent extrapoliert
- den Brutto-Personalbedarf von einer Million auf alle 5,75 Millionen Antriebsstränge hochrechnet, die 2017 in Deutschland produziert wurden.

**Diese doppelte Extrapolation führt zu dem Ergebnis**, dass der **prozentuale Rückgang des Personalbedarfs** in der Produktion von Antriebssträngen **je nach Rechenweg und Szenario bis zu 47 Prozent ohne sowie bis zu 62 Prozent mit Produktivitätssteigerungen** beträgt. Daraus folgt, dass **die absolute Zahl der Arbeitsplatzverluste** in der Produktion von Antriebssträngen, die durch die Elektrifizierung bedingt sind, **je nach Rechenweg und Szenario zwischen 23 000 und 97 000 Beschäftigten liegt**, also in jedem Fall einen gewichtigen Anteil der heutigen Beschäftigtenzahl ausmachen wird. Nimmt man die Arbeitsplatzverluste durch Produktivitätsfortschritte ebenfalls hinzu, sieht die Prognose noch ernster aus (vgl. auch Seite 81ff. in Kapitel 8.2).

<sup>1</sup> Die hier angegebenen Zahlen sind eine Prognose lediglich für die im Projekt ELAB 2.0 analysierten Anteile der Beschäftigung je Komponente und nicht für die gesamte Herstellung des Antriebsstrangs.

Brutto-Gesamt-Personalbedarf im Jahr 2017 ausgehend von hochskalierten Beschäftigten für 5,75 Millionen Antriebsstränge		206 000 Beschäftigte (gerundet: 210 000 Beschäftigte) OHNE Produktivitätssteigerungen
Stützjahr		2030
Ausmaß des Personalbedarf-Rückgangs mit Saldo-Effekten OHNE Produktivitätssteigerungen bei	Szenario 1 (25 % BEV) Szenario 2 (40 % BEV) Szenario 3 (80 % BEV)	23 000–35 000 Beschäftigte 37 000–52 000 Beschäftigte 72 000–97 000 Beschäftigte

Brutto-Gesamt-Personalbedarf im Jahr 2017 ausgehend von hochskalierten Beschäftigten für 5,75 Millionen Antriebsstränge		201 000 Beschäftigte (gerundet: 200 000 Beschäftigte) MIT Produktivitätssteigerungen
Stützjahr		2030
Ausmaß des Personalbedarf-Rückgangs mit Saldo-Effekten MIT Produktivitätssteigerungen bei	Szenario 1 (25 % BEV) Szenario 2 (40 % BEV) Szenario 3 (80 % BEV)	74 000–80 000 Beschäftigte 80 000–90 000 Beschäftigte 107 000–125 000 Beschäftigte

**Die Auswirkungen der Elektrifizierung der Antriebe auf die Beschäftigung werden also erheblich sein.**

Wirtschaft und Politik sind gefordert, eine vorausschauende Strategie zu entwickeln und umzusetzen, um dieser Herausforderung gerecht zu werden und dadurch das Beispiel eines erfolgreichen Strukturwandels zu geben, der sozial, ökologisch und ökonomisch im dreifachen Sinne den Anspruch der Nachhaltigkeit erfüllt. Insbesondere für monostrukturell geprägte Regionen werden konzertierte industriepolitische Initiativen ergriffen werden müssen. Die Wissenschaft kann das unterstützen, indem sie die Auswirkungen von Dekarbonisierung und Digitalisierung auf Arbeitswelt und Beschäftigung noch umfassender erforscht, um daraus konsistente Szenarien von Produktionsnetzen und Innovationssystemen abzuleiten.

Für die Unternehmen wird es während des Markthochlaufs der Elektromobilität über lange Zeit erforderlich sein, Autos mit Verbrennungs- und mit Elektromotoren gleichzeitig anzubieten und somit zwei Technologien parallel zu beherrschen. Diese »Misch-Produktion« stellt nicht nur große organisatorische Ansprüche, sondern muss von vorneherein mit dem Ausbau der notwendigen Kompetenzen zur Herstellung von Elektrofahrzeugen in der Belegschaft einhergehen. Deren **Bereitschaft zur Um- und Weiterqualifizierung** zu wecken und ihre Flexibilität auch für neue Arbeitszeitmodelle zu fördern, wird in enger Abstimmung mit dem Betriebsrat eine entscheidend wichtige Aufgabe für Automobilhersteller und deren Zulieferer sein, wenn sie ihre derzeitige Spitzenposition im internationalen Wettbewerb auch im aufkommenden Zeitalter der Elektromobilität halten oder gar ausbauen wollen.

Während große Unternehmen bereits interne Programme des »Transformations-Managements« aufgelegt haben, um den bevorstehenden Umbruch mit Erfolg zu bewältigen, bestehen bei vielen klein- und mittelständischen Unternehmen (KMU), deren Prosperität von der Automobilproduktion abhängt, erhebliche **Wissenslücken hinsichtlich der zu erwartenden Entwicklungen in der Elektromobilität**. Diese Lücken zu füllen, ist auch eine Aufgabe der Politik. Schwerpunktmäßig sollte sie zusammen mit Kammern und Verbänden eine optimierte diesbezügliche Information der KMU sicherstellen und deren Vernetzung mit wissenschaftlichen Institutionen unterstützen.

Die **Bildungspolitik** wiederum ist gefordert, einerseits gemeinsam mit den Unternehmen die Ausbildung für Elektro- und IT-Berufe zu intensivieren, andererseits vermehrt Studiengänge bzw. -inhalte zu schaffen, die für die Elektromobilität relevant und dort anwendbar sind. Des Weiteren haben Staat und Unternehmen die Aufgabe, Maßnahmen für eine zielgerichtete **Weiterbildung** der Beschäftigten, die durch die Elektrifizierung der Antriebe betroffen sind, auszuarbeiten und für deren Anwendung Sorge zu tragen.

Eine sozialgerechte Transformation zur Elektromobilität könnte die Politik dadurch begünstigen, **dass sie Hybridfahrzeuge regulatorisch** unterstützt. Im Rahmen von ELAB 2.0 wurde deutlich, dass Plug-in-Hybride den Arbeitsplatzabbau spürbar dämpfen können. Das zeigte sich zumindest in gesonderten Sensitivitätsanalysen der Szenarien 1 und 2. Es wäre also wünschenswert, wenn auch auf europäischer Ebene Plug-in-Hybride weiterhin auf die CO<sub>2</sub>-Flottenziele angerechnet würden. Ähnliches sollte **im Sinne eines technologieutralen Weges zur Emissionsminderung** auch für alternative Kraftstoffe und optimierte Verbrennungsmotoren gelten.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass sich der bevorstehende Strukturwandel in der Automobilindustrie sehr vielfältig auswirken wird, auf die großen Hersteller (OEM) ebenso wie auf breit aufgestellte und spezialisierte Zulieferer, auf einzelne Betriebe ebenso wie auf ganze Standorte oder gar regionale Cluster. **Politik und Wirtschaft müssen deshalb auf vielen verschiedenen Ebenen frühzeitig Strategien entwickeln**, um die »Arbeit 4.0« in der Automobilindustrie sowohl möglichst beschäftigungssicher als auch innovationsfreundlich und wettbewerbsfähig zu gestalten.

# 1

## EINLEITUNG UND MOTIVATION

### 1.1

#### TECHNOLOGISCHE TRANSFORMATION DER AUTOMOBILINDUSTRIE

Die Automobilindustrie steht vor einer nie dagewesenen Transformation. Die Verbreitung des automatisierten Fahrens und der Sharing-Economy sowie viele weitere Entwicklungen bedeuten große Auswirkungen technischer, ökonomischer und sozialer Art für die Fahrzeughersteller und deren Zulieferer. Drei Megatrends stellen konkrete Herausforderungen für die Beschäftigung dar und führen zu sehr großer Unsicherheit: Zum einen ist dies die Dekarbonisierung, aus der sich politisch festgesetzte CO<sub>2</sub>-Ziele und daraus resultierend eine Elektrifizierung der Antriebe ableiten. Des Weiteren wird die Digitalisierung erfordern, dass sich Mitarbeiter neue Fachkenntnisse aneignen und zukünftig ihre Tätigkeiten verstärkt in Zusammenarbeit mit Maschinen ausführen. Hinzu kommen die Einflüsse der Globalisierung auf die Produktionszahlen in Europa. Dort führt die Marktsättigung zu einer Stagnation der Fertigungsmengen, während europäische Hersteller von steigenden Produktionszahlen in wachsenden Märkten wie Indien oder China durch die zunehmende Lokalisierung der Produktion nicht profitieren können.

Als Konsequenz aus den drei genannten Trends werden u. a. die Unternehmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Automobilindustrie durch mehrere unterschiedliche Effekte beeinflusst. Zum einen kommt es zu einer Verschiebung von Marktanteilen zwischen den verschiedenen Antriebsstrang-Technologien: Produzierte Volumina der auf dem Verbrennungsmotor beruhenden Komponenten und Antriebsstränge (Internal Combustion Engine Vehicle = ICEV) gehen zurück, während jene zunehmen, die auf elektrischen Antrieben und Traktionsbatterien basieren (Battery Electric Vehicle = BEV). Gleichzeitig muss davon ausgegangen werden, dass speziell in Europa auf Grund der Marktsättigung die Produktionszahlen in den kommenden Jahren tendenziell stagnieren werden. Hinzu kommt der Druck auf deutsche Standorte durch den Wettbewerb mit Niedriglohnländern.

## 1.2 RÜCKBLICK »ELAB 1.0« UND NOTWENDIGKEIT ELAB 2.0

Erste Analysen der Wirkungen der Elektrifizierung des Antriebsstrangs auf eine idealtypische Antriebsstrangproduktion erfolgten im Projekt ELAB (2010 – 2012; Spath et al., 2012), im weiteren Verlauf als »ELAB 1.0« bezeichnet zur einfacheren Unterscheidung. Bei den damaligen Projektarbeiten lag der Fokus auf einem Aggregatewerk, wobei verschiedene Absatzszenarien zugrunde gelegt waren. Diese umfassten u. a. ein Referenzszenario (gemäß damaligen Prognosen zu erwartende Anteile unterschiedlicher Antriebsstränge am Absatz, vgl. Abbildung 1), ein BEV-Szenario (stärkere Verbreitung von BEV im Vergleich zur Referenz) sowie ein ICEV-Szenario (ein ICE-Szenario nach der damaligen Nomenklatur).

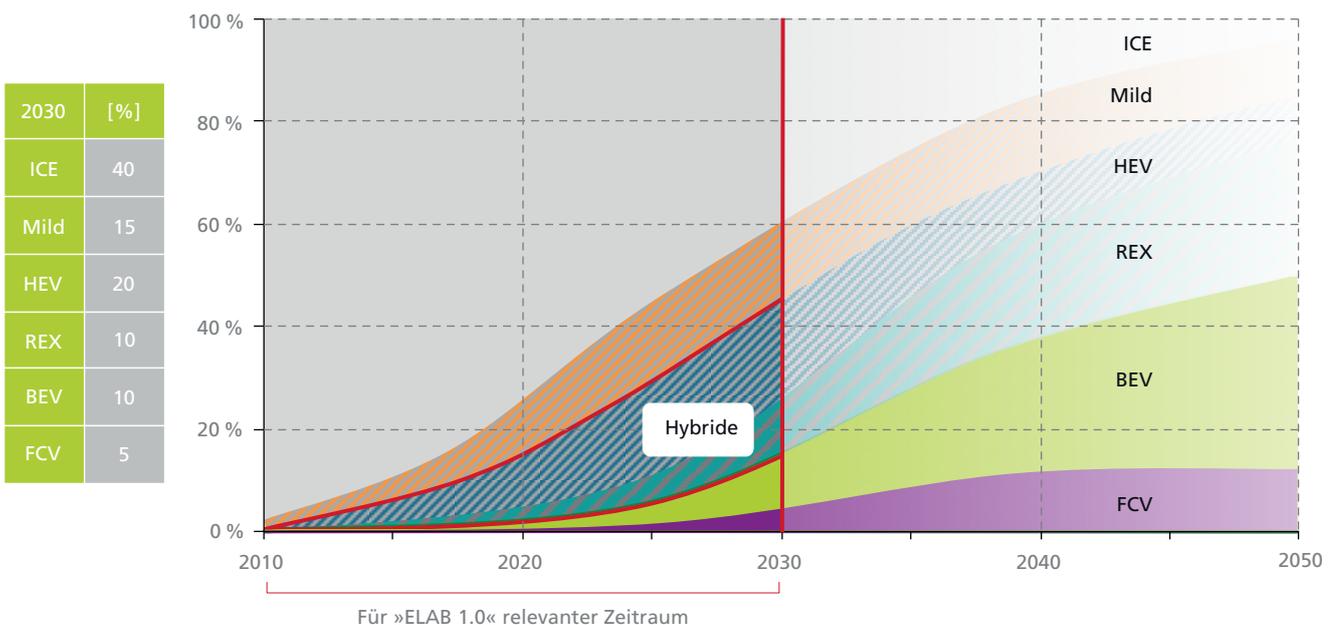


Abb. 1: Referenzszenario im Projekt »ELAB 1.0« (DLR; Spath et al., 2012)

Das Projekt »ELAB 1.0« kam zu dem Ergebnis, dass keine negativen Auswirkungen auf die Beschäftigung resultieren würden. Dies lag zum einen an der zum damaligen Zeitpunkt vertretenen Annahme, dass insbesondere Hybridkonzepte einen erheblichen Anteil an den jeweiligen Hochlaufszenerarien ausmachen würden. Zum anderen lag es an dem Betrachtungsfokus des Projekts auf den Herstellungs- und Montageprozessen in einem Endmontagewerk, sodass vorgelagerte Wertschöpfungsstufen bei den Zulieferunternehmen nicht berücksichtigt wurden. Hinsichtlich der Datensammlung und -auswertung musste darüber hinaus im Rahmen von »ELAB 1.0« auf verschiedene Hilfskonstrukte zurückgegriffen werden, da im damaligen Projektzeitraum nur begrenzt Erkenntnisse über Personalbedarfe bei einer zukünftigen Großserienproduktion der analysierten Antriebsstrangkomponenten vorlagen. Aus diesem Grund wurden neben zahlreichen Experteninterviews auch Analogiebetrachtungen in anderen Branchen durchgeführt sowie Extrapolationen vorgenommen, die von vorliegenden Daten von Prototypen- und Kleinserienproduktionen ausgingen.

Im Projekt ELAB 2.0 werden die Konsequenzen der oben genannten Trends und Entwicklungen bei aktualisierten Annahmen und Rahmenbedingungen nun nicht nur für ein Aggregatwerk, sondern sowohl für Automobilhersteller (OEM) als auch weitest möglich für TIER1- und TIER2-Zulieferer sowie für weitere Akteure untersucht. Dies geschieht mittels Abschätzung der Technologieeffekte ohne und mit Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen. Untersuchungsgegenstand ist dabei wieder die Herstellung von Antriebssträngen. Vor- und nachgelagerte Prozesse gehören nur im jeweils beschriebenen Umfang bzw. gar nicht zum Betrachtungsraum – im Gegensatz zu anderen aktuellen Studien, die die gesamte Automobilindustrie in den Blick nehmen. Die Änderungen von »ELAB 1.0« zu ELAB 2.0 sind in Abbildung 2 zusammenfassend veranschaulicht. Ausgehend von den quantitativen Resultaten werden im Rahmen des Projektes Empfehlungen zum Umgang mit Konsequenzen und Auswirkungen ausgearbeitet.

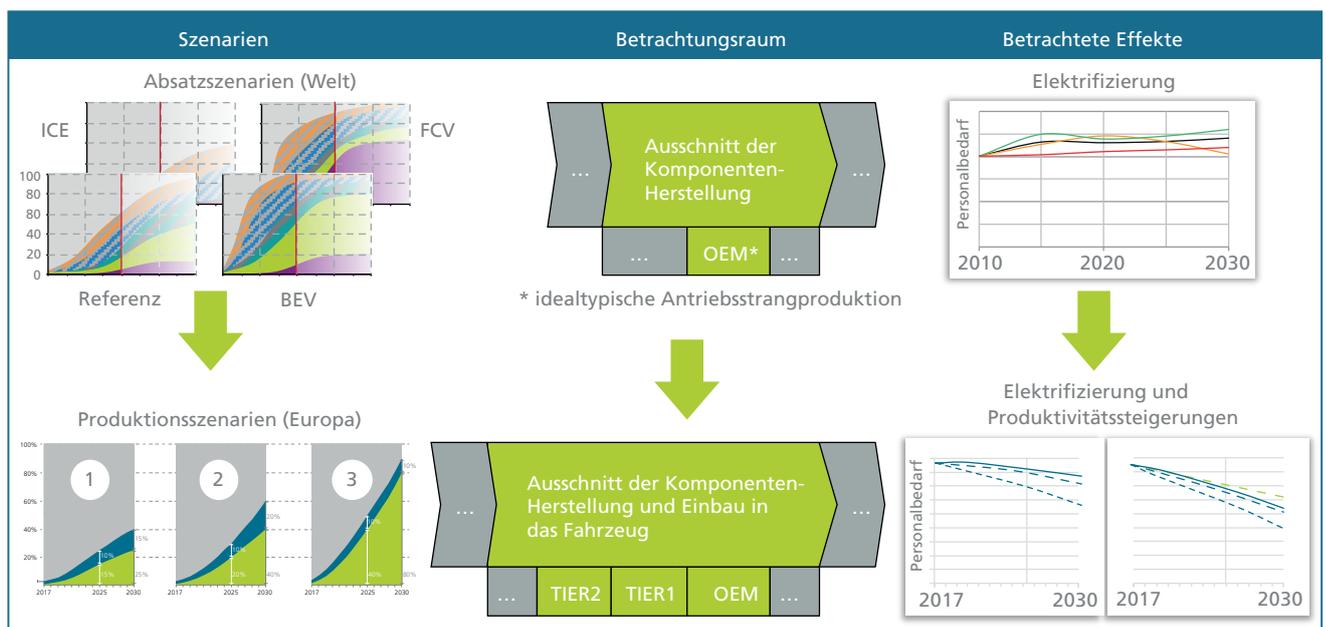


Abb. 2: Änderungen von »ELAB 1.0« zu ELAB 2.0

## 1.3

### ABGRENZUNG ZU BESTEHENDEN STUDIEN UND PROJEKTEN

Für die Ermittlung der Beschäftigungsveränderungen durch die Elektromobilität basiert das methodische Vorgehen, analog zum Projekt »ELAB 1.0«, auf ausgewählten Modellbausteinen und damit verbundenen Referenzannahmen.

Zur Quantifizierung der Beschäftigungsveränderungen wird im Rahmen des ELAB 2.0 Projekts ein sogenannter Bottom-Up-Ansatz gewählt. Im Gegensatz dazu haben andere Studien und wissenschaftliche Arbeiten vielfach gemein, dass sie als »Top-Down-Studien« angelegt sind, die verstärkt auf statistischen Daten basieren, aus denen Erkenntnisse zu Beschäftigungsveränderungen abgeleitet und analysiert werden. Hierdurch lassen sich Gesamteffekte auf aggregierter Ebenen und beispielsweise Auswirkungen auf komplette Branchen und Wirtschaftszweige ableiten.

Die Studie **»Antrieb im Wandel«** des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA) untersucht wertschöpfungsseitige Auswirkungen der Elektrifizierung von Fahrzeugantrieben auf den Maschinen- und Anlagenbau und die Zulieferindustrie (VDMA, 2018). Im Fokus der Studie stehen dabei die drei Anwendungsbereiche der Personenkraftwagen, der Nutzfahrzeuge sowie der mobilen Maschinen in den Leitmärkten Europa, China und USA. Zur Bestimmung der Wertschöpfungseffekte werden im Zuge der Studie Absatzprognosen in den definierten Leitmärkten für das Jahr 2030 herangezogen. Darüber hinaus werden die für die Herstellung der untersuchten Antriebsstrangtypen und -alternativen anfallenden Fertigungsprozesskosten bezogen auf die Anwendungsbereiche analysiert. Durch diesen Ansatz und die Berücksichtigung der monetären an Stelle der beschäftigungsseitigen Dimension gelangt die Studie zum Ergebnis, dass die im Rahmen des Antriebswandels entstehenden negativen Veränderungen durch neue Wertschöpfungsinhalte überkompensiert werden können.

Im Rahmen der Studie **»Auswirkungen eines Zulassungsverbots für Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge mit Verbrennungsmotor«** des ifo-Instituts werden Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekte für den Standort Deutschland mittels einer empirischen Untersuchung auf Basis statistischer Daten des verarbeitenden Gewerbes quantifiziert (ifo, 2017). Darüber hinaus werden den Innovationsbemühungen und -anreizen zur Entwicklung alternativer Technologien Rechnung getragen sowie Umweltauswirkungen untersucht, welche aus einem Verbrennerverbot resultieren würden. Basierend auf den Produktionsstrukturen des Referenzjahrs 2015 gelangt die Studie zu dem Ergebnis, dass mehr als 600 000 deutsche Industrie-Arbeitsplätze in direkter oder indirekter Form betroffen wären. Neben Arbeitsplätzen in der Automobilindustrie (Wirtschaftszweig 29) werden weitere Branchen berücksichtigt, welche über Vorleistungsverflechtungen zur Herstellung von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen beitragen.

Das Arbeitspapier **»Perspektiven des Wirtschaftsstandorts Deutschland in Zeiten zunehmender Elektromobilität«** untersucht mögliche Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzeffekte des Wandels hin zu Elektrofahrzeugen auf Basis der aktuellen und der möglichen zukünftigen Wettbewerbsposition der deutschen Automobilindustrie (Fraunhofer ISI, 2017). Ausgehend von den Annahmen, dass die zugrunde gelegten Marktanteile deutscher Automobilhersteller beim Verkauf von Elektrofahrzeugen von weltweit nahezu 20 Prozent zum Zeitpunkt der Studiererstellung (analog zu den Anteilen bei konventionellen Fahrzeugen) auch zukünftig gehalten werden können, Plug-in-Hybridfahrzeuge auch in Zukunft einen essentiellen Anteil im Antriebsmix ausmachen werden und ein hoher Exportanteil der im Inland hergestellten Fahrzeuge Bestand haben wird, kommen die Studienautoren zu dem Ergebnis, dass der Wandel hin zur Elektromobilität in Summe positive Effekte

auf Wertschöpfung und Beschäftigung in Deutschland haben könnte. Sie verweisen darauf, dass neue Arbeitsplatzpotenziale insbesondere in der Energiewirtschaft und in der Generierung neuer Dienstleistungen liegen.

Im Arbeitspapier **»Der Einfluss der Digitalisierung und Elektrifizierung auf die Beschäftigungsentwicklung in der deutschen Automobilindustrie«** erfolgt eine integrierte Betrachtung der Auswirkungen dieser beiden Megatrends auf Wertschöpfung und Beschäftigung der Branche (Diez, 2017). Dabei werden auf Basis eines fahrzeugbezogenen Wertschöpfungsmodells für die Hersteller und Zulieferer der deutschen Automobilindustrie bis zum Jahr 2030 Arbeitsplatzpotenziale durch die Digitalisierung von nahezu 40 000 ausgewiesen. Diese Arbeitsplätze entstehen verstärkt durch neue Wertschöpfungsinhalte im Kontext der Fahrzeugvernetzung, der Ausstattung von Fahrzeugen mit digitalen Medien und Systemen sowie durch die Automatisierung von Fahrfunktionen. Neben diesem positiven Effekt verdeutlicht die Studie auf Basis eines als wahrscheinlich angesehenen Szenarios andererseits, dass durch einen steigenden Produktionsanteil von Elektrofahrzeugen bis zum Jahr 2030 mehr als 115 000 Arbeitsplätze in Deutschland wegfallen könnten. Der Ausbau einer vollständigen Batteriepackproduktion (inkl. Zellherstellung) könnte diesen Verlust aber auf knapp 80 000 Arbeitsplätze begrenzen.

Alternative Gestaltungsmöglichkeiten des Mobilitäts- und Verkehrssystems und deren mögliche Auswirkungen auf die Mobilitätswirtschaft in Baden-Württemberg werden in der Studie **»Mobiles Baden-Württemberg – Wege der Transformation zu einer nachhaltigen Mobilität«** untersucht (BW Stiftung, 2017). Die Studie orientiert sich an einem Zielsystem, welches neben ökonomischen auch soziale und ökologische Ziele adressiert. Im Kern der Studie stehen dabei die drei Szenarien »Neue Individualmobilität«, »Neue Dienstleistungen« und »Neue Mobilitätskultur« bezogen auf den Zeithorizont 2050. Dabei werden hinsichtlich der ökologischen

Dimension alle drei Szenarien so entwickelt, dass bis zum Jahr 2050 die direkten Treibhausgasemissionen vollständig reduziert worden sind und ausschließlich Energieträger basierend auf erneuerbaren Energien zum Einsatz kommen. Ausgehend von den Projektannahmen werden Beschäftigungseffekte in der baden-württembergischen Automobil- und Mobilitätswirtschaft bis zu dem Stützjahr 2030 in einem Referenz- und einem 100 Prozent BEV-Marktszenario ermittelt. Im Bereich der Elektromobilität könnten demnach Arbeitsplätze in einer Bandbreite zwischen 3900 (Referenz) bis 75 300 (100 Prozent BEV) wegfallen. Berücksichtigt sind hierbei mögliche Arbeitsplatzeffekte in der Entwicklung und Herstellung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeugteilen (minus 15 300 Beschäftigte bei 100 Prozent BEV) sowie in den Marktsegmenten After Sales (minus 18 000 Beschäftigte bei 100 Prozent BEV) und Aftermarket (minus 42 000 Beschäftigte bei 100 Prozent BEV). Darüber hinaus verweisen die Studienautoren auf mögliche zusätzliche negative Effekte durch Produktivitätsfortschritte in Höhe von bis zu 58 000 Arbeitsplätzen.

Die Studie **»Digitale Transformation – Der Einfluss der Digitalisierung auf die Workforce in der Automobilindustrie«** kommt zu dem Ergebnis, dass bis 2030 rund 46 Prozent aller Arbeitsplätze in der Automobilindustrie von der Digitalisierung bedroht sind (MHP, 2017). Sie leitet mittels der Methode von Frey und Osborne (Frey / Osborne, 2013) Automatisierungswahrscheinlichkeiten für bestehende Berufsbilder und Belegschaftsbereiche ab. Die Untersuchung berücksichtigt u. a. die Berufsbilder des Monteurs, des KFZ-Mechanikers und Karosseriebauers, des Entwicklungs- und Produktionsingenieurs sowie des Fertigungsdisponenten und -planers. Dabei ist das Berufsbild des Monteurs mit einer ermittelten Automatisierungswahrscheinlichkeit von 86 Prozent durch die Digitalisierung am stärksten gefährdet. Die Gründe dafür liegen insbesondere im Einsatz immer intelligenterer Roboter und Digitalisierungslösungen, welche zu einer noch größeren maschinenseitigen Übernahme von Montagetätigkeiten und Effizienzsteigerung der Prozesse führen. Für das Berufsbild des

Fertigungsdisponenten und -planers wird eine Automatisierungswahrscheinlichkeit von gut 34 Prozent ermittelt. Zwar erfordern die damit verbundenen Tätigkeiten ein hohes Maß an Spezialkenntnissen und -fähigkeiten, dennoch führt die zunehmende Digitalisierung auch hier zu großen Veränderungen. Digitalisierungslösungen in der Intralogistik, Vernetzung von Maschinen und Anlagen sowie der Einsatz von kognitiven Systemen zur Klassifizierung und Auswertung von Daten im Rahmen der Produktionsplanung treiben diese Veränderungen an.

Die Analysen im Rahmen der Studie **»Schöne neue Arbeitswelt 4.0? Was wir tun müssen, damit uns die Arbeit nicht ausgeht«** kommen zum Ergebnis, dass sich bereits heute rund 40 Prozent der aktuellen beruflichen Tätigkeiten theoretisch durch Automatisierung ersetzen lassen (BCG, 2017). Konkret könnten bis zum Jahr 2025 rund 7,7 Millionen Beschäftigte in Deutschland von der voranschreitenden Automatisierung betroffen sein. Nicht berücksichtigt sind dabei neue Beschäftigungspotenziale durch Weiterbildungsmöglichkeiten, neue Beschäftigungsarten oder Wachstumseffekte. Die Studie verweist darauf, dass es sich bei über 60 Prozent der betroffenen Beschäftigten nicht um Geringverdiener, sondern um Fachkräfte handelt. Die größten negativen Effekte werden im Bereich der Fertigung gesehen. Dabei leiten die Studienautoren ab, dass ohne neues Wirtschaftswachstum im Jahr 2025 jeder dritte Arbeitsplatz automatisiert sein wird. Von einer anderen Seite aus betrachtet, bietet sich durch die Automatisierung aber auch etwa die Chance, die Auswirkungen des sich schon heute im Rahmen des demografischen Wandels klar abzeichnenden Fachkräftemangels zu lindern.

# 2

## AUSWIRKUNGEN DER TRANSFORMATION AUF DIE ANTRIEBSSTRANGPRODUKTION

### 2.1

#### VERÄNDERUNGEN DURCH DEN TREND DER DEKARBONISIERUNG

Heutzutage fahren auf den Straßen weltweit ca. 1,1 Milliarden Leichtfahrzeuge (Pkw plus leichte Nutzfahrzeuge) (Bloomberg, 2017). Der Straßenverkehr, der hauptsächlich auf ICEV basiert, verursacht ca. 18 Prozent der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen (IEA, 2017). Durch die stetige Zunahme der Weltbevölkerung und des Verkehrsaufkommens, verbunden mit dem Wachstum urbaner Räume, ist es unabdingbar, Mobilität neu zu denken und zu organisieren, damit das übergeordnete Ziel der Dekarbonisierung erreicht wird. Trotz der fortschreitenden technologischen Optimierung der Verbrennungskraftmaschine (ICE) zeichnet sich für die nahe Zukunft eine großflächige Verbreitung der Elektromobilität ab (Harrison / Thiel, 2016).

In Europa ist der Transportsektor der zweitgrößte Verursacher von Treibhausgas-Emissionen (Eurlex.europa.eu, 2016). Am 8. November 2017 stellte die Europäische Kommission einen Legislativvorschlag mit neuen Zielen für CO<sub>2</sub>-Emissionen nach 2020 vor. Dieser Vorschlag betrifft Pkw und leichte Nutzfahrzeuge. Die dort formulierten Ziele gelten für durchschnittliche Emissionswerte der Fahrzeugflotten von neuen Pkw und neuen Vans im europäischen Raum in einem beliebigen Kalenderjahr ab 2025, wobei strengere Ziele ab dem Jahr 2030 gesetzt werden. Der Vorschlag beinhaltet ebenfalls Maßnahmen zur technologieneutralen Förderung von emissionsarmen und -freien Fahrzeugen. Er soll dazu dienen, die im Rahmen des Pariser Klimaabkommens vereinbarten Verpflichtungen zu erfüllen. Dabei soll bis zum Jahr 2030 das übergeordnete Ziel einer Reduzierung der Treibhausgas-Emissionen von mindestens 40 Prozent im Vergleich zum Jahr 1990 bzw. mindestens 30 Prozent im Vergleich zum Jahr 2025 für den Straßenverkehr unterstützt werden. Des Weiteren sollen damit die Kosten von fossilen Kraftstoffen für Konsumenten reduziert, die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Automobilindustrie erhöht und die damit verbundene Beschäftigung gefördert werden. Gemäß diesem Vorschlag müssen im Jahr 2030 die

durchschnittlichen Emissionen von neuen Pkw und neuen Vans 30 Prozent niedriger als im Jahr 2021 sein. Im Jahr 2025 müssen diese Fahrzeuge bereits 15 Prozent weniger Emissionen als im Jahr 2021 produzieren, um ein schnellstmögliches Eintreten der Emissionsreduzierung sicherzustellen. Der Grund, warum die Ziele für die Jahre 2025 und 2030 keine konkreten CO<sub>2</sub>-Werte für die durchschnittlichen Emissionen der Fahrzeugflotten beinhalten, ist der Wechsel der Messmethode für Emissionen. Die Ziele von 95 g CO<sub>2</sub>/km für Pkw und 147 g CO<sub>2</sub>/km für leichte Nutzfahrzeuge für 2020/2021 basieren auf dem »New European Driving Cycle« (NEDC). Ab 2021 wird schrittweise die am 1. September 2017 festgelegte »Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure« (WLTP) eingeführt, so dass die Ziele für die nachfolgenden Jahre heute nur als relative Prozentangaben definiert werden können.

Neben dem Ziel der Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Austoßes bezweckt der Vorschlag der EU einen »technologieneutralen Mechanismus« zur Förderung von emissionsfreien (BEV und Brennstoffzellenfahrzeuge) und -armen (PHEV) Fahrzeugen, der eine marktseitige Investition in saubere Fahrzeuge stimulieren soll. Automobilhersteller, deren Anteil an emissionsfreien und -armen Fahrzeugen die Benchmark von 15 Prozent für das Jahr 2025 und 30 Prozent für das Jahr 2030 übersteigen, werden mit weniger strengen CO<sub>2</sub>-Zielen belohnt. Dabei wird die Leistung dieser Fahrzeuge in Bezug auf deren Emissionen gemessen. Mit diesem Ansatz strebt die EU einen schrittweisen Übergang von ICEV zu Elektrofahrzeugen an, der die geeignete Um- sowie Weiterqualifizierung der Belegschaft im Automobilssektor zulässt und somit keinen Mitarbeiter bzw. keine Region vernachlässigt. Spezifische Maßnahmen diesbezüglich können in der »EU Skills Agenda« und im »Blueprint for Sectoral Cooperation on Skills« gefunden werden. In diesem Zusammenhang muss betont werden, dass die Ziele herstellereinspezifisch bezogen auf die Durchschnittsemissionen von deren

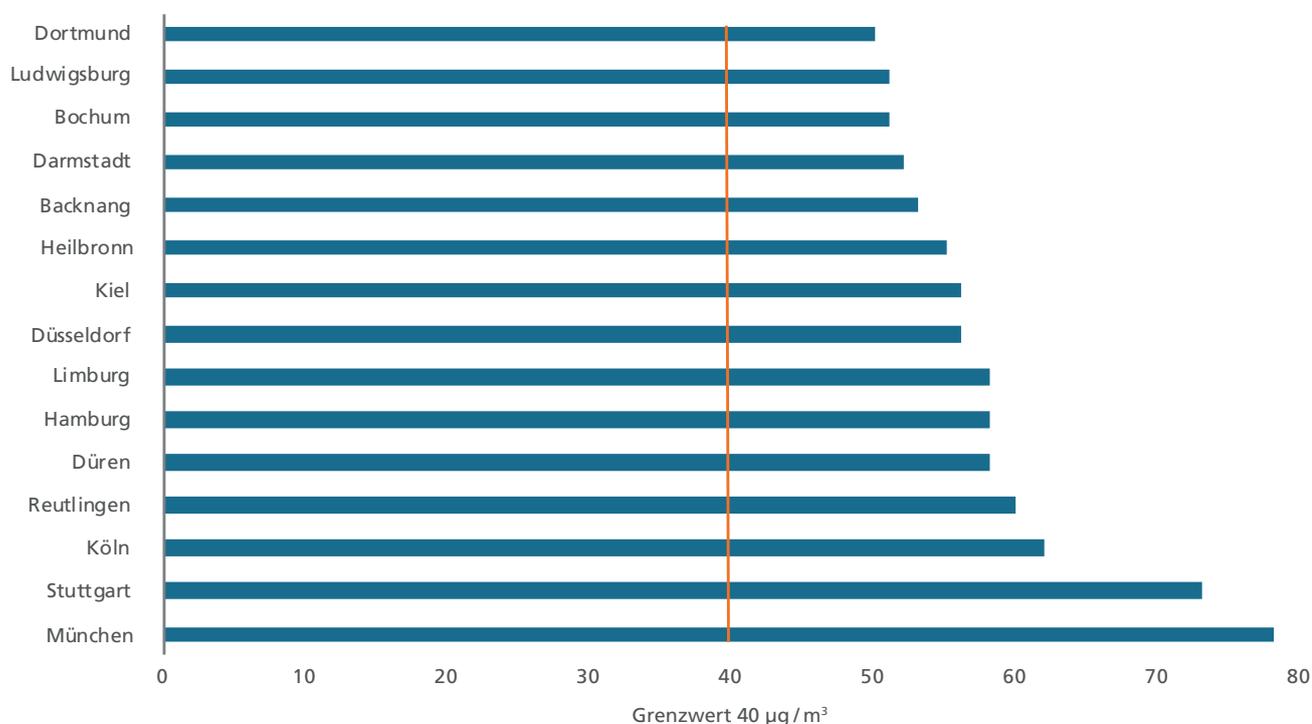


Abb. 3: Die 15 Städte mit den höchsten NO<sub>2</sub>-Grenzüberschreitungen 2017 (UBA, 2018)

gesamter Flotte festgelegt werden. Dieser Ansatz ist kompatibel mit anderen geltenden Regulierungen und soll zum Erhalt der Vielfalt im europäischen Automobilmarkt beitragen (ec.europa.eu, 2017).

In Deutschland selbst steht das Thema der Luftreinhaltung im Zentrum vieler Diskussionen. Gemäß der Auswertung des Umweltbundesamtes (UBA, 2018) zum NO<sub>2</sub>-Ausstoß in Deutschland haben 2017 im Jahresmittel 65 Städte den für Europa geltenden Grenzwert von 40 Mikrogramm NO<sub>2</sub> pro Kubikmeter Luft (µg/m<sup>3</sup>) überschritten. Die Stadt mit dem höchsten Ausstoß war München, gefolgt von Stuttgart und Köln (vgl. Abbildung 3). Aufgrund dieser hohen Immissionsbe-

lastung wird aktuell über die Einführung von Fahrverboten in besonders betroffenen deutschen Städten diskutiert. Der Zeitpunkt und die Vorgehensweise zur Umsetzung und Überwachung sind allerdings noch nicht final geklärt (WIWO, 2018).

Fahrverbote sind allerdings keine Seltenheit im europäischen Raum. In Italien, dem Land mit dem größten Anteil an Dieselmotoren (rund 57 Prozent), gelten z. B. in der Lombardei im Winter Fahrverbote für Dieselfahrzeuge. In Turin sollen Fahrverbote für moderne Dieselfahrzeuge mit Abgasnorm in Kraft treten, wenn diese die festgelegten Grenzwerte für Emissionen nicht einhalten. Mailand soll bis 2030 mithilfe eines mehrstufigen Prozesses mit Fahrverboten dieselfrei sein (Süddeutsche

Zeitung, 2018). In Rom soll ab dem Jahr 2024 ein Fahrverbot für private Dieselfahrzeuge im historischen Zentrum umgesetzt werden (Der Westen, 2018). Andere europäischen Metropolen haben ebenfalls diverse Maßnahmen ergriffen oder mindestens bereits geplant, um die Luftqualität zu verbessern. Oft werden in Großstädten Umweltzonen definiert, aus denen gewisse ICEV, meistens mit älteren Dieselmotoren, entweder temporär (Madrid, Barcelona, Oslo, Athen) oder permanent (Kopenhagen, Stockholm, Paris, Oxford) verbannt werden sollen. In der britischen Hauptstadt London wird von Fahrern von Benzin- und Dieselfahrzeugen, die den Standard Euro 4 nicht haben, die sogenannte »T-Charge« erhoben, wenn sie in die Innenstadt fahren. Darüber hinaus bestehen weitere Gebühren für das Einfahren in die »Low Emission Zone« und künftig in die »Ultra Low Emission Zone« (Independent, 2017).

Zulassungsverbote für Verbrennungsfahrzeuge auf Landesebene stellen eine weitere, strengere Maßnahme zur unmittelbaren Luftreinhaltung des europäischen Raums dar und können indirekt zu einer drastischen Verbreitung von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben führen. Die Regierungen verschiedener europäischer Länder haben entsprechende Absichten bereits angedeutet. So wird in Norwegen und den Niederlanden überlegt, ab 2025 bzw. 2030 keine ICEV mehr zuzulassen (Oliver Wyman, 2018). In Frankreich (Guardian, 2017) und Großbritannien (Dept. Transport, 2017) wird selbiges Vorhaben für das Jahr 2040 diskutiert.

Diese und noch weitere Initiativen zum Übergang in eine emissionsarme Zukunft haben bedeutende Folgen für die Unternehmen der Automobilindustrie. Zum einen müssen sie ihre Produktangebote den gesetzlichen Vorschriften anpassen, zum anderen weiterhin den Anforderungen des Markts bzw. potenzieller Kunden gerecht werden. Verbunden mit der Tatsache, dass noch eine gewisse Unsicherheit darüber besteht, welche Antriebstechnologie sich letztendlich durchsetzen wird (Proff/Fojcik, 2016), erschwert dies die Aufgabe der Produkt- und Produktionsplanung. Die Effekte der sich verändernden Produktion sind einerseits quantitativer Art: Die Stückzahlen

der Fahrzeuge und der dazugehörigen Komponenten verändern sich und beeinflussen den Umfang des Arbeitspensums. Andererseits ergeben sich Effekte qualitativer Art, da die Produktion der neuen Komponenten sich auf die Tätigkeitsprofile der Belegschaft auswirkt, was die Aneignung neuer Kompetenzen erfordert. Zusammengefasst heißt das, dass man im Zuge der Antriebsstrangelektrifizierung, abhängig von der tatsächlichen Diffusion der verschiedenen Antriebstechnologien, mit Verschiebungen von Mitarbeiterbedarfen und benötigten Kompetenzen rechnen muss.

Der tatsächliche Wandel hin zu einer nachhaltigen Mobilität, in der Elektrofahrzeuge eine Hauptrolle spielen, erfordert allerdings mehr als deren technische Realisierung und Vermarktung. Ein Umdenken heutiger Mobilitätspräferenzen bzw. ein Paradigmenwechsel seitens der Nutzer ist genauso entscheidend. Die Bereitschaft potenzieller Kunden, den Kauf eines Elektrofahrzeugs in Betracht zu ziehen, hängt oft von finanziellen Aspekten ab. Heutzutage sind diese Fahrzeuge im Vergleich zu konventionellen Pkw teurer in der Anschaffung. In diesem Zusammenhang bedarf es eines bedeutenden Fortschritts in technologischer Hinsicht, der zu einer erheblichen Kostendegression der Komponenten für Elektrofahrzeuge führt, vor allem der Traktionsbatterie. Erst dann könnten sie gegenüber ICEV preislich attraktiver werden. Darüber hinaus stellen vor allem bei BEV die vergleichsweise geringe Reichweite und der zeitaufwendige Prozess der Batterieaufladung Hemmnisse für deren Nutzung dar. Eine deutliche Marktdiffusion bis hin zu einer Dominanz emissionsfreier Fahrzeuge setzt daher auch eine ausreichende Infrastruktur für das Schnellladen voraus, die die Reichweitenangst reduziert und zur allgemeinen gesellschaftlichen Akzeptanz der Technologie beiträgt.

## 2.2

### VERÄNDERUNGEN DURCH DEN TREND DER DIGITALISIERUNG

Das Phänomen der fortschreitenden Digitalisierung von Abläufen kennzeichnet nicht nur das gesellschaftliche Leben, sondern auch die Wirtschaft bzw. das industrielle Umfeld (Schuh et al., 2016; Hackl et al., 2017). Neben der Fachkräftesicherung stellt die Digitalisierung die aktuell größte Herausforderung für Unternehmen dar. Etwa neun von zehn Unternehmen in Deutschland sehen die Herausforderung der Digitalisierung allerdings als Chance (Schuh et al., 2016). In diesem Zusammenhang spricht man von einer vierten industriellen Revolution, ebenfalls bekannt als »Industrie 4.0«. Durch den Einsatz neuer Technologien, wie etwa cyberphysischer Systeme in Kombination mit elektromechanischen Komponenten, wird die Vernetzung und eigenständige Kommunikation von Produktionssystemen bzw. -abläufen möglich. Dabei entstehen sogenannte »Smart Factories« (Hackl et al., 2017).

Die zunehmende Digitalisierung der Industrie soll eine Vielzahl an Vorteilen mit sich bringen. Sie soll die Produktion so flexibilisieren, dass eine starke Individualisierung von Produkten möglich ist. Kunden und Geschäftspartner sollen dadurch in die verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus (Forschung, Entwicklung, Produktion, Vertrieb und After-Sales) einbezogen werden können, um ihre Kompetenzen und Daten besser zu nutzen. Die Produktion wird um hochwertige Dienstleistungen ergänzt; intelligente Echtzeit-Überwachungssysteme sollen Entscheidungs- und Optimierungsprozesse unterstützen (Armengaud et al., 2017; Hackl et al., 2017).

Im Zuge der Einführung von »Industrie-4.0-Prozessen« wird es zu einer Veränderung der Arbeit kommen, was aber nicht heißen muss, dass Arbeitsstellen abgebaut werden (Hackl et al., 2017). Vielmehr heißt es, dass Mitarbeiter für ihre Tätigkeiten über ein neues Spektrum an Kompetenzen verfügen müssen, also neben fachlichen Kenntnissen auch IT-Kompetenz brauchen (Schuh et al., 2016; Winkelhake, 2017). Die Kompetenzen für neue Formen der Kollaboration und der Arbeit

im Kontext der Digitalisierung können sie sich in Lernfabriken aneignen (VDMA, 2017). In der Montage wird die Mensch-Roboter-Kooperation die heutigen Tätigkeitsprofile von Bandarbeitern verändern. Sogenannte »Cobots« (kollaborative Roboter) können Menschen von repetitiven und körperlich anstrengenden Tätigkeiten befreien und zusammen mit ihnen Aufgaben bewältigen, die bisher nur mit dem Einsatz von Schutzzäunen und anderen aufwändigen Sicherheitsmitteln durchführbar sind (Automationspraxis, 2017). Bürotätigkeiten sollen zunehmend digitalisiert werden. In diesen Prozessen, in denen Menschen und Roboter sich ergänzen, wird der Mensch dank seiner Kreativität weiterhin der Maschine überlegen bleiben. Je mehr Routinetätigkeiten Roboter übernehmen, desto mehr Freiräume öffnen sich für menschliche Mitarbeiter. Ihre Analyse-, Kommunikations- und Koordinationsfähigkeiten werden dabei wichtiger (VDMA, 2017). Eine dementsprechende regelmäßige Weiterbildung gewinnt an Bedeutung. Durch den digitalen Wandel wird das »Arbeiten 4.0« flexibilisiert und dezentralisiert (Dickel / Thiem, 2018).

Die Automobilbranche, deren Produktion aufgrund der Vielzahl an benötigten Komponenten und Kompetenzen von einer großen Komplexität gekennzeichnet ist, kann von diesen Digitalisierungsprozessen ebenfalls profitieren. Seit Jahrzehnten macht sich der Trend zur Globalisierung der Wertschöpfungsnetzwerke bemerkbar, der mit einer Auslagerung von Produktionsstandorten aus Hochlohnländern einhergeht. Die Einführung von »Industrie 4.0« kann demgegenüber die Attraktivität Europas als Innovationsstandort erhöhen. Dadurch werden außerdem die Gestaltung und das Management von globalen Produktionsnetzwerken intelligenter, effektiver und nachhaltiger (VDMA, 2017; Armengaud et al., 2017). Die Innovationszyklen und die Entwicklung von Produkten werden dadurch beschleunigt; Produktivitätssteigerungen werden erreicht (Hackl et al., 2017).

## AUSWIRKUNGEN DER TRANSFORMATION AUF DIE ANTRIEBSSTRANGPRODUKTION

In der Automobilproduktion wird die Digitalisierung zur Flexibilisierung der Logistiksysteme führen. Die Automobilindustrie kann dadurch den wachsenden Anforderungen an Produkt- und Modellvielfalt gerecht werden, wenn »Fahrzeuge ihre Teile selbst nachbestellen können« und sogar bei kleinen Losgrößen Lieferungen nach Just-in-Sequence ermöglicht werden. Diese »logistische Agilität« wird außerdem durch den Einsatz intelligenter Betriebsmittel unterstützt, wie etwa fahrerlose Transportfahrzeuge, Smart Glasses und intelligente Behälter, die Kommissionierungsaufgaben vereinfachen oder vollständig übernehmen (Automationspraxis, 2017). Die Grenzen zwischen IT und anderen Fachbereichen werden mehr und mehr verschwinden (Schuh et al., 2016).

Im Fahrzeugbau lässt sich die Digitalisierung nicht nur in der Produktion, sondern auch direkt im Produkt anwenden: Bei der Montage von Chassis- und Antriebsstrangkomponenten kann man beispielsweise anhand eingebauter Sensorik die Drehmomente, die Vibration und Temperaturen von montierten Lagern messen, um wichtige Informationen über den Zustand und die Nutzung vom Modul bzw. vom System zu erfassen. Das digitalisierte Produkt kommt allerdings nur zur Geltung, wenn die erfassten Daten in geeigneter Form interpretiert werden (Schaeffler, 2017).

Deutsche Unternehmen bieten bereits Lösungen für die digitalisierte Produktion von Antriebssträngen. Diese beinhalten mehrere Werkzeuge, welche die Vernetzung von Entwicklungs-, Planungs-, Produktions- und Inspektionsaufgaben in Echtzeit ermöglichen. Beispielsweise lassen sich dadurch Änderungen in der Konstruktion von Komponenten direkt in die CNC-Programmierung der Maschinen oder in Prüfverfahren übertragen, die Planung von Produktionsabläufen anhand der digitalen Erfassung aller Produktionsressourcen (Maschinen-Werkzeuge, Schneidemaschinen, Montageanlagen, etc.) akkurat durchführen und Produktionspläne direkt in die Produktionslinien schicken (Siemens, 2018). Durch die sukzessive Implementierung dieser Systeme werden eine höhere Produktqualität und wesentliche Kosten- und Zeitoptimierungen erzielt.

# 3

## METHODISCHES VORGEHEN, UNTERSUCHUNGS- RAUM UND ANNAHMEN

### 3.1

#### ÜBERBLICK ZUM METHODISCHEN VORGEHEN

Für die Ermittlung der Beschäftigungsveränderungen durch die Elektromobilität basiert das methodische Vorgehen, analog zum Projekt »ELAB 1.0«, auf ausgewählten Modellbausteinen und damit verbundenen Referenzannahmen. Zur Quantifizierung der Beschäftigungsveränderungen wird im Gegensatz zu Top-Down-Studien (vgl. Kapitel 1.3), die auf statistischen Daten basieren, ein sogenannter Bottom-Up-Ansatz gewählt: Ausgehend von der Bauteil- und Komponentenebene werden mit Hilfe der Projektpartner die Personalbedarfe innerhalb der einzelnen Komponentenbereiche ermittelt und zu Personalbedarfen auf System- bzw. Antriebsstrang-Topologie aggregiert. Den Modellrechnungen liegt zwecks Vereinheitlichung und Vergleichbarkeit der gesammelten Daten und der daraus resultierenden Ergebnisse die Annahme zugrunde, dass eine fixe Ausbringungsmenge von einer Million Antriebssträngen produziert wird. Die Komponenten lassen sich drei Antriebsstrang-Typen zuordnen, die nach aktuellem Wissensstand im Betrachtungszeitraum die größte Bedeutung für die Projektpartner bei »Passenger Cars« mit 2-Rad-Frontantrieb im C-Segment haben:

- ICEV (umfassen Benzin- und Dieselantriebe sowie deren Mild-Hybrid-Varianten - MHEV) mit 4-Zylinder-ICE mit 100 kW, Automatikgetriebe, 48-V-Startergenerator, Batterie mit 0,7 kWh ( $\cong$  48-V-Batterie; keine elektrische Reichweite), DC/DC-Wandler,
- PHEV (einschließlich HEV) mit 4-Zylinder-Benzin-ICE mit 100 kW, Hybridgetriebe mit Elektrischer Maschine (synchron) mit 75 kW als Ein-Motor-Konzept (paralleler Hybrid), Batterie mit 10 kWh und Thermomanagement (50 km elektrische Reichweite im NEFZ), DC/DC-Wandler,
- BEV mit Elektrischer Maschine (synchron) mit 100 kW und Getriebe als Ein-Motor-Konzept (Zentrilmotor), Batterie mit 60 kWh (400 km Reichweite im NEFZ), DC/DC-Wandler.

Der Auswahl der Komponenten liegen die Forderungen zugrunde, dass sich Veränderungen beim Personalbedarf eindeutig der Elektrifizierung des Antriebsstrangs zuordnen lassen und dass die zugehörigen Prozesse von den Projektpartnern auch untersucht werden können. U. a. deswegen sind die Herstellung der Magnete für die Elektrische Maschine und der Zellen für die Traktionsbatterie nicht berücksichtigt.

## 3.2 UNTERSUCHUNGSRAUM UND ANNAHMEN

Kapitel 3.1 bietet bereits erste Hinweise in Bezug auf den Untersuchungsraum von ELAB 2.0. Im vorliegenden Kapitel erfolgt die Abgrenzung des Projektes innerhalb des Produktlebenszyklus. Dieser Zyklus ist im Wesentlichen generisch für sämtliche produzierende Unternehmen und beinhaltet folgende Phasen:

- **Forschung:** Diese Phase beinhaltet die Arbeiten zum Erwerb neues Wissens unter Anwendung von wissenschaftlichen Methoden. Die gewonnenen Erkenntnisse können in den nachfolgenden Phasen zur Entwicklung eines Produktes genutzt werden (Mintken, 2010; Voigt et al., 2018). Für technische Bereiche der Forschung sind vor allem die Werkstoffforschung, die Grundlagen der Elektrik, Elektronik und Informationstechnik sowie die Konstruktions- und Fertigungstechnik von besonderem Interesse (Westkämper, 2006).
- **Produktentwicklung:** In dieser Phase kommt es zur praktischen Umsetzung der erworbenen Kenntnisse der Forschungsphase auf Produkte, Herstellverfahren und Produkt- oder Verfahrensanwendungen (Voigt et al., 2018). Neben der Entstehung von Konzepten für Produkte und Prozesse, werden in dieser Phase Prototypen hergestellt und erprobt bis das Produkt eine ausreichende finale Reife erreicht. Eine erfolgreiche Platzierung von Produkten am Markt ist in hohem Maß von einem systematisch durchgeführten Entwicklungsprozess abhängig (Westkämper, 2006).
- **Herstellung:** Das ist die Phase, in der Produkte unter Einsatz von Materialien, Energie, Maschinen, Menschen, Kapital, Information und Wissen entstehen. Während dieser Phase werden, gemäß der Erfahrung mit den Produkten am Markt, weitere Verbesserungen des Produkts durchgeführt und in den Markt gebracht (Westkämper, 2006).
- **Distribution:** Diese Phase beinhaltet alle Prozesse im Absatzkanal, um Produkte von den Herstellern ggf. über Händler zu den Endverbrauchern zu bringen (Krieger et al., 2018).
- **Service und Wartung:** In dieser Phase werden Wartungsarbeiten oder sonstige Dienstleistungen von den Produzenten oder Vertragspartnern durchgeführt. Diese Prozesse werden oftmals als »Aftersales« bezeichnet. Je nach Produkt wird dieser Phase ein hoher Stellenwert zugeschrieben.
- **Demontage und Recycling:** Diese Phase beinhaltet alle Tätigkeiten zur zweckmäßigen, systematischen und professionellen Entsorgung oder Wiederverwertung von Produkten oder Teilen davon. Teilweise sind Hersteller vom Gesetzgeber dazu verpflichtet (Westkämper, 2006).

Abbildung 5 veranschaulicht den Untersuchungsraum von ELAB 2.0.

Im Stadium der Produktentwicklung wird die Ausgangsbasis für die nachfolgende Produktion gelegt. Für das Projekt ELAB 2.0 heißt das, hier finden Entscheidungsprozesse in Bezug auf die zu produzierenden Antriebe statt. Die Produktarchitektur der ausgewählten Antriebsstränge für ICEV inkl. MHEV, PHEV inkl. HEV und BEV wird gemäß Kapitel 3.1 festgelegt. In einem weiteren Schritt werden den Antriebssträngen ausgewählte, repräsentative Komponenten zugeordnet. Die Zuordnung der ausgewählten Komponenten zu den Antriebssträngen ergibt die in Abbildung 4 dargestellte Matrix. Für möglichst detailgetreue Resultate sind die ICEV unterteilt in Benzin- und Dieselantrieb sowie je in die Mild-Hybrid-Variante (MHEV).

Für jede dieser Komponenten gilt der oben genannte Zyklus in mehr oder weniger identischer Weise. In einer üblichen Beziehung zwischen einem OEM und einem TIER1-Zulieferer müssen sogar die Zyklen zeitlich miteinander so gekoppelt sein, dass vor allem die Entwicklungsprozesse des Gesamtfahrzeugs, des Antriebsstrangs und der zugehörigen Komponenten parallel ablaufen. Es zeigt sich also, dass die Akteure auf unterschiedlichen Stufen der Wertschöpfungskette bzw. in verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus miteinander kooperieren müssen.

	ICE Benzin	ICE-Peripherie Benzin	ICE Diesel	ICE-Peripherie Diesel	Automatik-getriebe	Hybrid-getriebe	Elektrische Maschine	Traktions-batterie	Leistungs-elektronik
ICEV Benzin	X	X			X				
ICEV Benzin MHEV	X	X			X			X	X
ICEV Diesel			X	X	X				
ICEV Diesel MHEV			X	X	X			X	X
PHEV	X	X				X	1	X	X
BEV							X	X	X

Abb. 4: Zuordnung der betrachteten repräsentativen Komponenten zu den Antriebssträngen

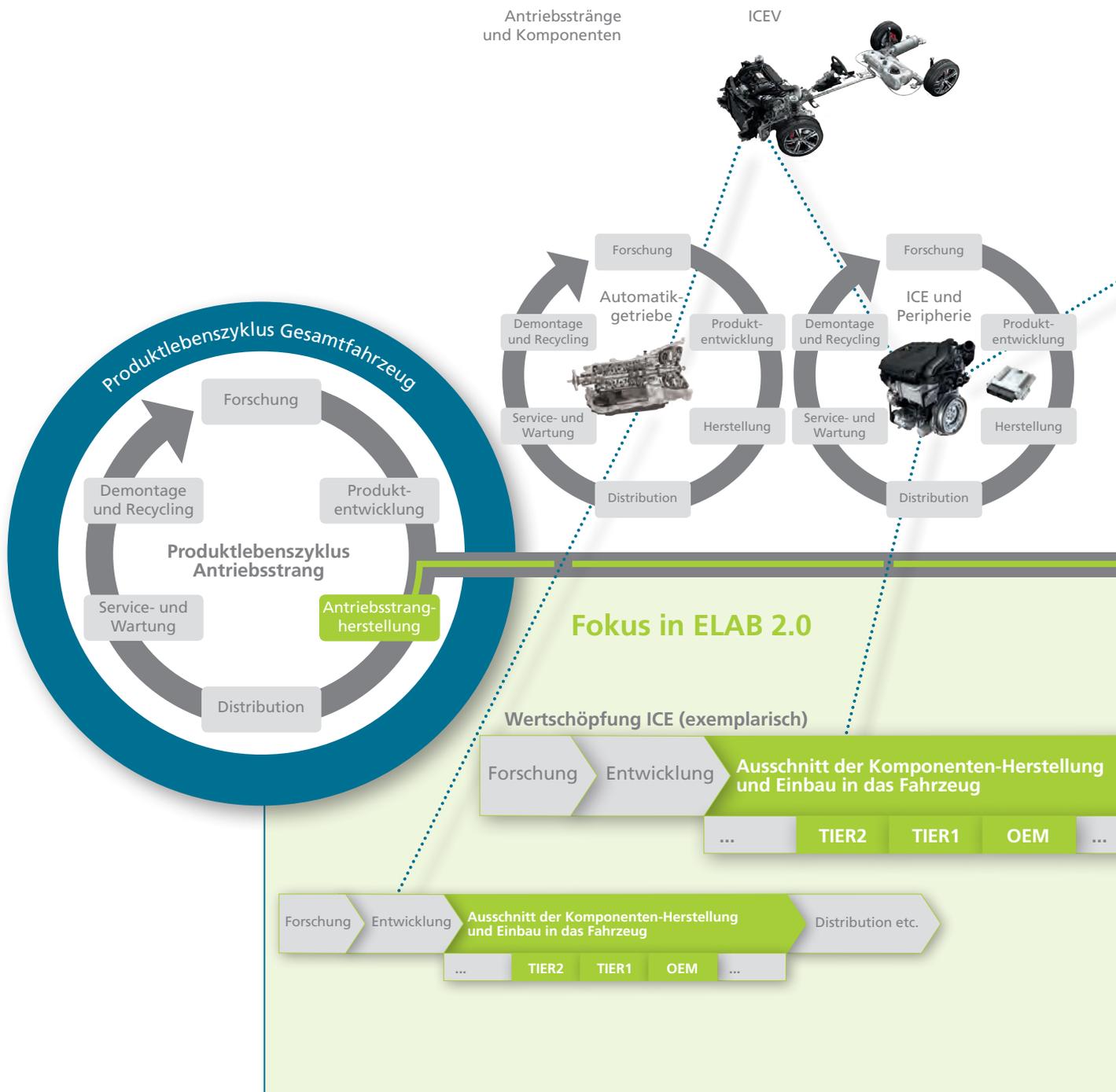
1 Bei PHEV ist die Elektrische Maschine im Hybridgetriebe enthalten

Im Fokus der quantitativen Analysen des Projekts ELAB 2.0 steht lediglich die Phase der Herstellung des Antriebsstrangs, aufgeteilt auf die repräsentativen Komponenten, einschließlich ihres Einbaus in das Fahrzeug. Dort werden die Auswirkungen am deutlichsten erkennbar, die eindeutig der Elektrifizierung zuzurechnen sind. Die Herstellungsprozesse der jeweiligen Komponenten werden wiederum, je nach betrachteten Wertschöpfungsanteil und Verfügbarkeit der Daten, in sechs bis fünfzehn Prozessschritte aufgliedert. Die Beschreibung dieser Schritte wird möglichst über die üblichen Grenzen des OEM hinaus auf TIER1- und TIER2-Zulieferer ausgeweitet. In der tatsächlichen Bewertung der Personalbedarfe erfolgt allerdings keine Differenzierung zwischen Wertschöpfungsumfängen von Komponenten- und Automobilherstellern.

Hinsichtlich der Interpretation der berechneten Effekte der Antriebsstrangelektrifizierung auf die Personalbedarfe ist die Betonung folgender Aspekte wichtig:

- Die Personalbedarfe sind repräsentativ für den in diesem Kapitel beschriebenen Untersuchungsraum: Drei Antriebsstrang-Topologien mit insgesamt neun Systemen, die wiederum einem bestimmten Abschnitt der Wertschöpfungskette entsprechen.
- Die Personalbedarfe beziehen sich zwecks der Vergleichbarkeit und Vereinheitlichung ausschließlich auf die normierte Ausbringungsmenge von einer Million Antriebssträngen.
- Die Auswirkungen angenommener Produktivitätssteigerungen, differenziert nach konventionellen und neuen Komponenten, werden für die Ermittlung der Personalbedarfe in Betracht gezogen. Vergleiche zwischen Saldo-Effekten von Personalbedarfen mit oder ohne Produktivitätssteigerungen sind möglich.
- Die Einschätzung der Personalbedarfe berücksichtigt keine Effekte von Wachstumsraten des Automobilmarktes. Mit anderen Worten: Mögliche positive Auswirkungen eines ansteigenden Produktionsvolumens auf den Personalbedarf werden nicht dargestellt.
- Selbstverständlich führen die im Kapitel 2 beschriebenen Trends ebenfalls zu Veränderungen in den vor- und nachgelagerten Phasen des Produktlebenszyklus. Diese werden soweit möglich in den Kontext des Projektes eingeordnet, jedoch in der Modellierung der Personalbedarfe nicht betrachtet.

METHODISCHES VORGEHEN,  
UNTERSUCHUNGSRAUM UND ANNAHMEN



## METHODISCHES VORGEHEN, UNTERSUCHUNGSRAUM UND ANNAHMEN

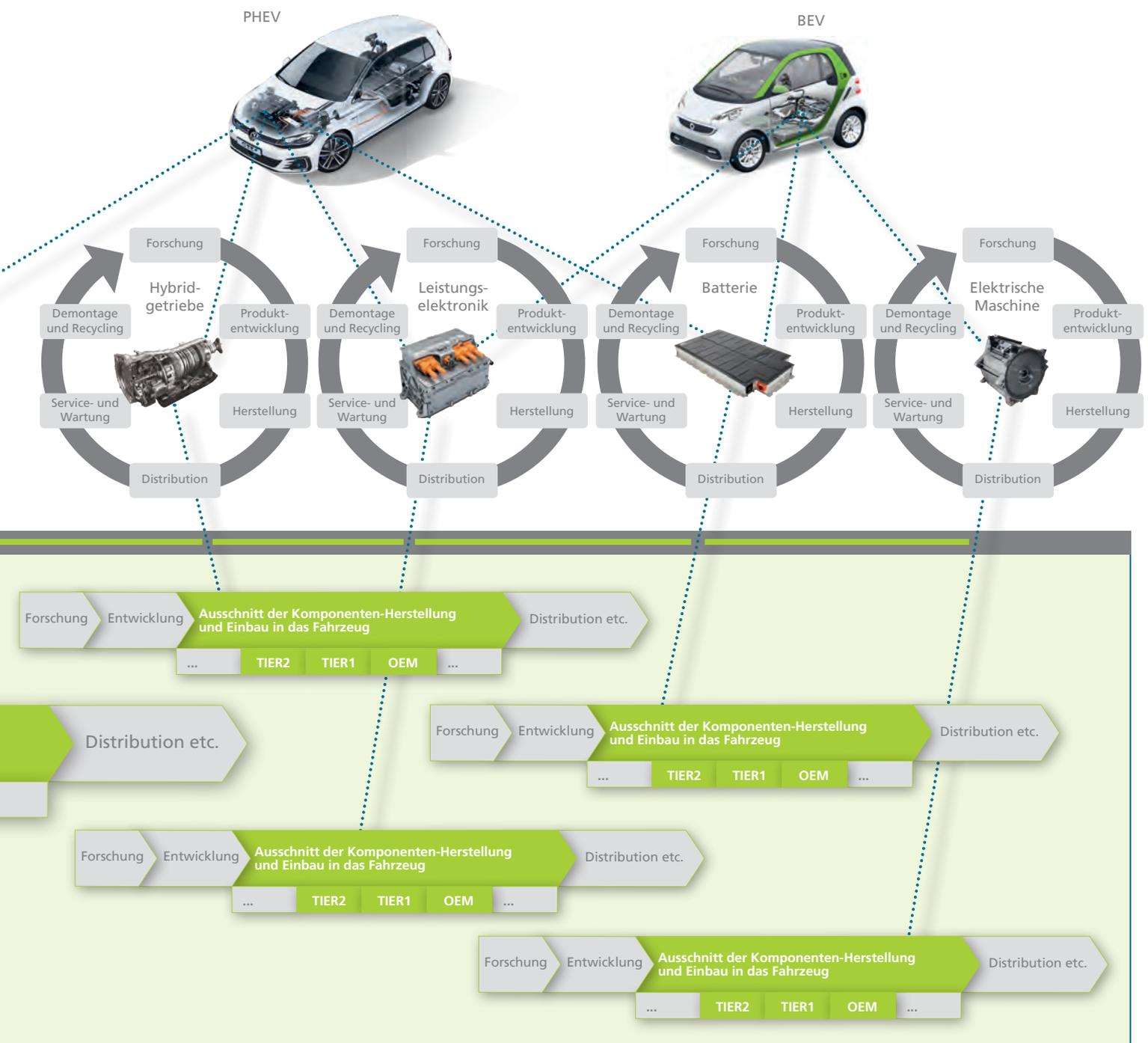


Abb. 5: Produktlebenszyklus und Untersuchungsraum des Projekts ELAB 2.0 (Quellen: Bosch, BRUSA, Peugeot, Volkswagen)

# 4

## TECHNISCHE ANALYSE VON FAHRZEUG UND ANTRIEBSKONZEPTEN

### 4.1

#### AKTUELLER STAND, ENTWICKLUNGSTRENDS UND ZUKUNFTSPERSPEKTIVE

Aktuell werden die Neuzulassungen in Deutschland von konventionell angetriebenen Pkw mit Verbrennungsmotor dominiert (KBA, 2017). 58 Prozent der Neuzulassungen weisen einen Benzin-, 39 Prozent einen Dieselmotor auf. Insbesondere aufgrund strenger werdender Emissionsgrenzwerte planen die OEM, ihren Marktanteil von alternativ angetriebenen Fahrzeugen in den kommenden Jahren signifikant zu erhöhen. Hierbei spielen Plug-in-Hybride und batterieelektrische Fahrzeuge die zentrale Rolle. Doch auch Verbrennungsmotoren werden weiter optimiert, besonders hinsichtlich ihrer Effizienz und ihrem Schadstoffausstoß. Hierbei kommen auch hybridisierte Antriebsstränge vermehrt zum Einsatz, jedoch ohne externen Ladeanschluss.

Während in der Vergangenheit neue Technologien in der Regel zuerst in der Oberklasse eingeführt wurden, kann bei der

Elektrifizierung der Antriebsstränge keine eindeutige Diffusionsrichtung ausgemacht werden. Sowohl in den kleinen, wie auch in den mittleren und großen Segmenten werden Mild-, Voll- und Plug-in-Hybride sowie batterieelektrische Fahrzeuge angeboten.

Im Rahmen der vorliegenden Studie werden konventionelle Antriebsstränge (Benzin- und Dieselmotoren inkl. der dazugehörigen Mild-Hybride), Hybridfahrzeuge (Plug-in-Hybride sowie Voll-Hybride) und batterieelektrische Antriebsstränge unterschieden. Aufgrund der Stückzahlrelevanz sowohl der Automobil- wie auch der Automobilzulieferindustrie ist hierbei das Fahrzeugsegment C (z. B. VW Golf, BMW 1er, Mercedes-Benz A-Klasse) als Referenzfall gewählt. In Abbildung 6 sind die im Projekt behandelten Antriebsstränge exemplarisch dargestellt.



Abb. 6: Im Projekt ELAB 2.0 behandelte Antriebsstränge ICEV, PHEV, BEV (von links; Quellen: Peugeot, Volkswagen, Daimler)

Der Antriebsstrang ist ein entscheidender Bestandteil bei der Entwicklung von Pkw. Aufgrund der strengen CO<sub>2</sub>-Gesetzgebung wurden Pkw in den vergangenen Jahren insbesondere hinsichtlich ihrer Effizienz und damit verbunden ihrem Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoß optimiert. In den letzten Jahren lässt sich beobachten, dass Fahrzeuge über die Modellgenerationen hinweg zunehmend größer und schwerer werden. Das wird zum Teil dadurch ausgeglichen, dass kleinere Fahrzeugmodelle im Portfolio der Hersteller hinzukommen (z. B. VW up!, MINI, Audi A1). Den Trend hin zu größeren Fahrzeugen kann man zudem an dem steigenden Marktanteil von SUV beobachten. Diesem Größenzuwachs müssen neue effizienzsteigernde und verbrauchssenkende Technologien entgegengestellt werden. Hierzu werden sowohl der Antriebsstrang weiterentwickelt und optimiert, wie auch andere Maßnahmen einbezogen, wie z. B. der Leichtbau und die aerodynamische Optimierung der Fahrzeuge.

Als wichtige Trends bei Antriebssträngen können das Downsizing sowie die Elektrifizierung genannt werden. Beim Downsizing werden Motoren verkleinert (weniger Hubraum, weniger Zylinder) und dem dadurch entstehenden Leistungsverlust durch neue Brennverfahren, Motorsteuerung sowie Aufladung der Motoren entgegengewirkt. Dabei ist allerdings zu beachten, dass einzelne solcher Maßnahmen wiederum Auswirkung auf die Bildung von Verbrennungsprodukten haben, was zum Teil aufwändige Abgasnachbehandlungen erforderlich macht. Zudem sind der Effizienzsteigerung von Verbrennungsmotoren physikalische Grenzen gesetzt. Die Elektrifizierung von Nebenverbrauchern (z. B. Klimaanlage) kann hierbei zusätzliche Effekte bewirken. Dies kann allerdings wiederum Auswirkungen auf das Bordnetz haben und dort (teilweise) ein Spannungsniveau von 48 V erforderlich machen.

Um über das Downsizing hinaus eine Verbrauchsreduktion und Effizienzsteigerungen erzielen zu können, erweist sich die Elektrifizierung des Antriebsstrangs derzeit als aussichtsreichste Option. Diese kann in verschiedenen Elektrifizierungsgraden, von Mild-Hybrid bis batterieelektrisch, realisiert

werden. Unterscheidungskriterien zwischen den Hybridarten (Mild-Hybrid, Voll-Hybrid, Plug-in-Hybrid) sind die Leistung des Elektromotors und damit die Möglichkeit, überhaupt rein elektrisch zu fahren, die Kapazität der Batterie und damit die elektrische Reichweite des Fahrzeugs sowie die Möglichkeit, die Batterie extern aufzuladen. Funktionen wie die Rückgewinnung von Bremsenergie (Rekuperieren), die Unterstützung des Verbrennungsmotors beim Beschleunigen (Boosten) sowie das automatische Abschalten des Verbrennungsmotors im Fahrzeugstillstand (Start-Stopp-Automatik) weisen sämtliche hier dargestellten Hybridvarianten in der Regel auf.

Zum Antriebsstrang gehört das Getriebe. Während Automatikgetriebe in den USA und Japan traditionell einen hohen Marktanteil aufweisen, werden in Deutschland zu einem großen Anteil Handschaltgetriebe nachgefragt. Diese haben bei konventionellen Antriebssträngen Vorteile hinsichtlich Bauraum, Gewicht und Effizienz. Allerdings haben moderne Automatikgetriebe den Vorteil, dass durch intelligente Schaltstrategien die Gangwahl verbrauchs- oder leistungsoptimiert erfolgen kann. Diese Eigenschaft bekommt beim Zusammenspiel von elektrischer Maschine und Verbrennungsmotor in Hybridfahrzeugen eine entscheidende Bedeutung.

Ein Getriebetyp, der die Vorteile eines Handschaltgetriebes mit der Möglichkeit der optimierten Betriebsstrategie vereint und zusätzlich ähnliche Komforteigenschaften wie ein herkömmliches Automatikgetriebe besitzt, ist das Doppelkupplungsgetriebe. Die Funktionsweise dieses Getriebes ist mit dem eines Handschaltgetriebes vergleichbar, wobei die Gangwahl sowie der Ein- und Auskuppelvorgang automatisch erfolgt. Die Bezeichnung Doppelkupplungsgetriebe kommt daher, dass bei diesem Getriebe nicht wie bei einem Handschaltgetriebe ausgekuppelt wird, bevor der neue Gang gewählt und anschließend eingekuppelt wird. Vielmehr kann der neue Gang bereits vorgewählt werden, wodurch das Einkuppeln des neuen Gangs zeitgleich zum Auskuppeln des ersten Gangs erfolgt. Weitere Bauweisen von Getrieben wie das stufenlose Getriebe (CVT) haben bisher keine großen Marktanteile erreicht und

verfügen auch über keine Vorteile, die das für die Zukunft erwarten lassen.

Bei den elektrifizierten Antrieben (hybrid und batterieelektrisch) kommen Elektrische Maschinen zum Einsatz. Deren Varianz an möglichen Technologien und Topologien ist deutlich größer als bei Verbrennungsmotoren. In der Regel werden die Maschinen hinsichtlich ihrer Erregungsart sowie in Bezug auf die Anzahl und den Einbauort unterschieden. Bei der Erregungsart kann zwischen fremd- und permanent-erregten Maschinen differenziert werden. Bei permanent-erregten Maschinen wird die magnetische Erregung des Rotors über Permanentmagnete erzielt, bei fremderregten Maschinen werden die beiden elektrischen Felder von Rotor und Stator über eine elektrische Wicklung erzeugt. Zusätzlich muss zwischen Synchron- und Asynchronmaschinen unterschieden werden. Asynchronmaschinen weisen nur im Stator eine aktive Erregungsspannung auf, wohingegen das Magnetfeld im Rotor über den Nachlauf des Rotors gegenüber dem umlaufenden Magnetfeld induziert wird. Bei fremderregten Synchronmaschinen laufen das Magnetfeld im Stator und der Rotor synchron, weshalb auch das Magnetfeld im Rotor durch eine aktive Erregerspannung erzeugt werden muss. Hierbei muss die Spannung auf den drehenden Rotor übertragen werden, was in der Regel über Bürsten, bei neueren Maschinentypen auch induktiv erfolgen kann. Asynchronmaschinen sind der einfachste und günstigste Maschinentyp. Hinsichtlich Leistungsdichte und Effizienz haben sie hingegen gegenüber den anderen Varianten Nachteile. Permanent-erregte Synchronmaschinen weisen die höchste Effizienz und Leistungsdichte auf, sind aber aufgrund der für die Produktion der Permanentmagneten erforderlichen seltenen Erden am ressourcen- und kostenintensivsten. Hinsichtlich des Einbauorts kann zwischen Radnaben-, Radnaben-, Achs- und Zentralmotoren unterschieden werden. Diese Varianten kommen auch miteinander kombiniert mit mehreren Motoren sowie in Verbindung mit Getrieben in Frage.

Die Batterien, die in Elektrofahrzeugen zum Einsatz kommen, basieren auf Lithium-Ionen-Technologien. Bei der Form der einzelnen Zellen (z. B. Rundzellen oder prismatische Zellen) sowie bei der Form und dem Aufbau der Batteriemodule (z. B. Ausführung des Thermomanagements) gibt es verschiedene Möglichkeiten, die derzeit in Fahrzeugen unterschiedlicher Hersteller auch zum Einsatz kommen. Die nächsten Produktgenerationen werden zeigen, ob sich hierbei ein eindeutiger Trend feststellen lässt oder ob es weiterhin unterschiedliche Lösungen geben wird. Hinsichtlich zukünftiger Batterietechnologien erscheinen derzeit Polymer- und Feststoff-Batterien mit einem gelartigen bzw. festen Elektrolyten auf Polymerbasis bzw. auf Basis verschiedener Phosphatverbindungen vielversprechend. Die Batteriemodule werden gebündelt, was ihre Handhabung bei der Montage und einer möglichen Wartung vereinfacht, und ergeben so eine Traktionsbatterie. Neben den Zellen und Modulen umfasst eine Traktionsbatterie auch Komponenten zum mechanischen, elektrischen und elektronischen Zusammenschluss sowie für das thermische Management und die Kommunikation.

Den Energiefluss im Antriebsstrang von Elektrofahrzeugen steuert die Leistungselektronik. Zu ihren Aufgaben gehören das Invertieren von Spannungen (Umrichten einer Wechselspannung in eine Gleichspannung und umgekehrt), das Konvertieren von Spannungen (Umwandeln einer hohen in eine niedrigere Spannung und umgekehrt) oder Kombinationen aus beidem. Neben der Versorgung der elektrischen Maschine aus dem Energiespeicher müssen auch umgekehrte Energieflüsse aus Rekuperations- oder Ladevorgängen sowie Anpassungen von Spannungsniveaus innerhalb des Bordnetzes über die Leistungselektronik dargestellt werden. Die Leistungselektronik umfasst damit bedeutende Komponenten mit großem Einfluss auf Wirtschaftlichkeit und Effizienz von Elektrofahrzeugen. Bei ihrer Konzeption müssen die Kosten, Verfügbarkeit, Performance, Gewicht und Package des Systems so gut wie möglich gemeinsam optimiert werden, um zu einem für die jeweiligen Anforderungen optimalen Ergebnis zu kommen.

## 4.2

### REFERENZFAHRZEUG UND BETRACHTETE KOMPONENTEN

Das zugrundeliegende Referenzfahrzeug orientiert sich an einem Fahrzeug für das europäische Segment C (Kompaktklasse nach der Definition des Kraftfahrt-Bundesamtes). Diesem Segment werden z. B. der BMW 1er, der VW Golf sowie die Mercedes-Benz A-Klasse zugeordnet. Mit rund 25 Prozent Anteil an den Neuzulassungen ist dieses Segment das größte Einzelsegment in Deutschland (KBA, 2016).

Bei den Untersuchungen im Rahmen des Projekts ELAB 2.0 werden repräsentative Vertreter der nachfolgend aufgezählten Komponenten betrachtet:

- Verbrennungsmotor Benzin und Diesel, jeweils zzgl. Peripherie,
- Automatikgetriebe,
- Hybridgetriebe,
- Elektrische Maschine,
- Traktionsbatterie,
- Leistungselektronik.

Für die repräsentativen Vertreter der oben genannten Komponenten des Antriebsstrangs werden die folgenden Festlegungen getroffen: Der Verbrennungsmotor weist eine Leistung von 100 kW auf und verfügt über vier Zylinder. Darüber hinaus kommt der Verbrennungsmotor mit Aufladung zum Einsatz. Hierbei wird keine weitere Differenzierung zwischen Benzin- und Dieselmotoren vorgenommen. Zum Verbrennungsmotor hinzu kommt seine Peripherie, welche insbesondere die Kraft- und Betriebsstoffsysteme, das Bordnetz sowie die Abgasanlage inkl. Abgasnachbehandlung umfasst. Für das Getriebe wird bei den konventionellen Fahrzeugen ein 6-Gang-Doppelkupplungsgetriebe zugrunde gelegt. Die Hybridfahrzeuge verfügen über ein 6-Gang-Hybridgetriebe, welches ebenfalls als Doppelkupplungsgetriebe konzipiert ist und zusätzlich die Elektrische Maschine aufnimmt. Bei der Elektrischen

Maschine handelt es sich um eine permanenterregte Synchronmaschine mit 75 kW im Fall eines Voll- und Plug-in-Hybrid bzw. mit 100 kW im Fall eines batterieelektrischen Fahrzeugs. Die Traktionsbatterie ist eine auf Li-Ionen-Technologie basierende Batterie mit 0,7 kWh im Fall eines Mild-Hybrid, mit 10 kWh im Fall eines Plug-in- oder Voll-Hybrid bzw. mit 60 kWh im Fall eines batterieelektrischen Fahrzeugs. Das batterieelektrische Fahrzeug verfügt somit über eine Reichweite von ca. 400 km im NEFZ. Bezüglich des Aufbaus wird davon ausgegangen, dass die Zellen als Hochenergiezellen ausgelegt sind.

# 5

## ZUGRUNDE GELEGTE PRODUKTIONS- SZENARIEN

### 5.1 GRUNDLAGEN

Die Szenarien, die die Grundlage der Berechnungen im Rahmen des Projekts »ELAB 1.0« bildeten, wurden bereits vor acht Jahren erstellt. Sie basierten auf Prognosen damals verfügbarer Studien. Neuere, der bisherigen Entwicklung angepasste Prognosen deuten auf eine andere Diffusion von Elektrofahrzeugen hin als damals angenommen. Die Unterschiede bestehen etwa darin, dass sich der prognostizierte Rückgang an ICEV bis 2030 heute durch eine moderate Zunahme von PHEV und eine bedeutende Zunahme von BEV erklären lässt. Unter Berücksichtigung dieser Annahme werden in diesem Kapitel drei Szenarien aufgestellt. Diese Szenarien spiegeln aber nicht den globalen Absatzmarkt für Elektrofahrzeuge, sondern die Verteilung produzierter Antriebsstränge für den gesamteuropäischen Absatzmarkt (Kontinentaleuropa) wider. Dadurch entsteht ein realistischeres Bild der deutschen bzw. europäischen Produktionslandschaft. Denn der Fahrzeugabsatz in Märkten wie etwa China und den USA folgt anderen Nachfragemustern.

Die Szenarien stellen jeweils eine Zusammenfassung des betrachteten Marktes dar. Sie berücksichtigen an dieser Stelle keine spezifischen Eigenschaften einzelner Märkte oder

Fahrzeugsegmente, beispielsweise, dass PHEV generell in den Segmenten der mittleren Oberklassen und aufwärts zu finden sind, oder, dass BEV sich als »City-Fahrzeuge« bzw. in den kleinen Fahrzeugsegmenten gut etabliert haben.

Die Ausgangsbasis aller Szenarien ist der Antriebsmix im Jahr 2016 (hauptsächlich auf den Ebenen OEM, TIER1 und TIER2) gemäß den festgelegten Antriebssträngen, aus dem Prognosen für die Stützjahre 2025 und 2030 abgeleitet werden. Für das Jahr 2017 ergeben sich inspiriert von heutigen Marktanteilen 49 Prozent ICE Benzin, 48 Prozent ICE Diesel, 2 Prozent PHEV und 1 Prozent BEV. Es wird angenommen, dass das Verhältnis von Diesel- zu Benzinfahrzeugen sich bis zum Jahr 2030 drastisch verändern wird und die ICEV optimiert sein bzw. deren Antrieb einen geringen Grad an Elektrifizierung aufweisen werden. Beträgt der heutige Anteil von MHEV an den ICEV ca. 3 Prozent mit gleichmäßiger Aufteilung auf ICE Benzin und ICE Diesel, so wird für das Jahr 2030 davon ausgegangen, dass 75 Prozent aller ICE Benzin und 50 Prozent aller ICE Diesel MEHV sein werden. Dieses Verhältnis gilt für die drei vorgestellten Szenarien, unabhängig vom angenommenen Gesamtanteil der ICEV.

## 5.2 SZENARIO 1 (25 % BEV)

Szenario 1, das in Abbildung 7 dargestellt ist, ist das Szenario mit der niedrigsten Elektrifizierungsquote. Hierbei wird für PHEV ein Anteil von 10 Prozent bzw. 15 Prozent in den Jahren 2025 und 2030 prognostiziert. Der BEV-Anteil beträgt 15 Prozent im Jahr 2025 und 25 Prozent im Jahr 2030. Mit anderen Worten: 2030 wird noch eine Dominanz des herkömmlichen Antriebs erwartet. Dieses Szenario ist inspiriert durch den im Kapitel 2.1 beschriebenen Benchmark-Ansatz der EU-Kommission bezüglich CO<sub>2</sub>-Zielerreichung. Es berücksichtigt keinen Eintritt von unerwarteten Ereignissen, die den normalen Verlauf der Diffusion von Elektrofahrzeugen maßgeblich verändern könnten. An dieser Stelle muss auf die verschiedenen Bezugsgrößen von ELAB 2.0 und der EU-Kommission hingewiesen werden. Während sich die Empfehlung der EU-Kommission auf die Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Werten bezieht, basieren die Analysen von ELAB 2.0 rein auf der angenommenen Diffusion der betrachteten Antriebsstränge.

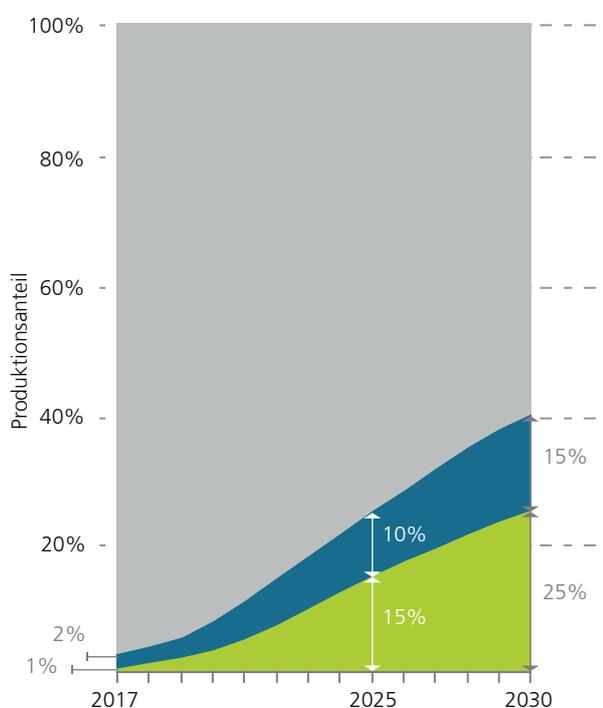


Abb. 7: Im Projekt ELAB 2.0 zugrunde gelegtes Szenario 1

- ICEV Benzin und Diesel einschließlich MHEV,
- PHEV einschließlich HEV, ■ BEV

### 5.3 SZENARIO 2 (40 % BEV)

Im Szenario 2, das in Abbildung 8 dargestellt ist, wird von einem stärkeren Anstieg der elektrifizierten Antriebe ausgegangen. Der Anteil der PHEV erreicht 10 Prozent im Jahr 2025 und 20 Prozent im Jahr 2030. BEV erleben ein deutlich stärkeres Wachstum und besitzen einen Anteil von 20 Prozent im Jahr 2025 und 40 Prozent im Jahr 2030. Dies kann die Folge von regulatorischen Maßnahmen sein, die eine direkte oder indirekte Förderung der Elektromobilität anstreben, wie etwa breite Einfahr- oder Zulassungsverbote und -auflagen für ICEV auf kommunaler oder regionaler Ebene. Werden diese Maßnahmen auf weitere urbane Zentren in Europa ausgeweitet, könnten Menschen, die auf individuelle Mobilität angewiesen sind, den Kauf eines Elektrofahrzeugs stärker in Betracht ziehen. Eine solche Entwicklung konnte bereits nach dem Einfahrverbot von ICE-angetriebenen, zweirädrigen Fahrzeugen in China seit 1994 beobachtet werden (Weinert et al., 2007), der weitaus größte Markt für elektrische Zweiräder (IEA, 2018). Des Weiteren wird im Szenario 2 angenommen, dass die höhere Diffusion von BEV von einer ausreichende Verbreitung von Ladeinfrastruktur inkl. Schnelladepunkten begleitet wird.

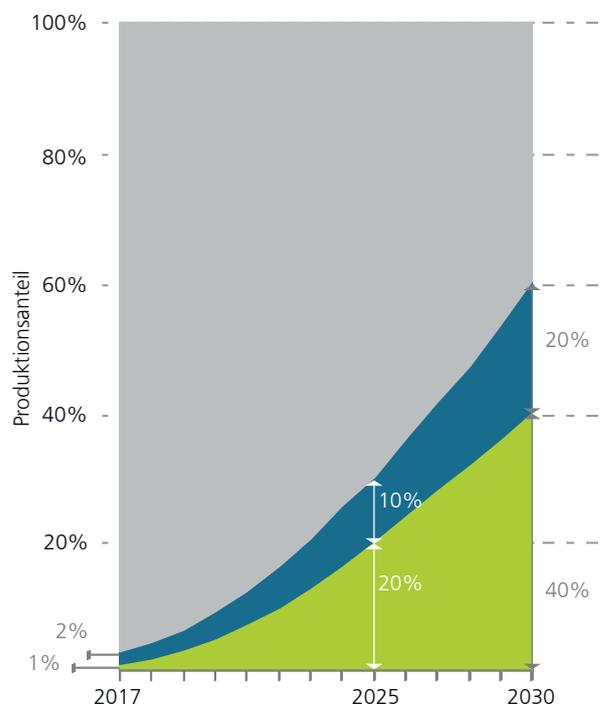


Abb. 8 : Im Projekt ELAB 2.0 zugrunde gelegtes Szenario 2  
 ■ ICEV Benzin und Diesel einschließlich MHEV,  
 ■ PHEV einschließlich HEV, ■ BEV

## 5.4 SZENARIO 3 (80 % BEV)

Szenario 3 ist von der Annahme eines sehr starken Anstiegs des BEV-Anteils bei einem sehr moderaten Anstieg des PHEV-Anteils gekennzeichnet. Dabei wird davon ausgegangen, dass PHEV einen Anteil von 10 Prozent im Jahr 2025 erreichen und bis zum Jahr 2030 beibehalten. Im Gegensatz erzielen BEV einen Anteil von 40 Prozent im Jahr 2025, der im Jahr 2030 auf 80 Prozent weiter steigt. Diese maximale Zuspitzung der Elektromobilität könnte das Ergebnis weiterer Verschärfungen von gesetzlichen Maßnahmen zur Dekarbonisierung sein. Eine unabdingbare Voraussetzung dafür wäre allerdings eine Stärkung der Belastbarkeit der Verteilnetze insbesondere im urbanen Raum. Darüber hinaus wird hier angenommen, dass Elektrofahrzeuge von der Gesellschaft als zuverlässige und finanziell attraktive Mobilitätslösungen angesehen werden, wodurch sich ihre Marktdiffusion um ein Vielfaches beschleunigt.

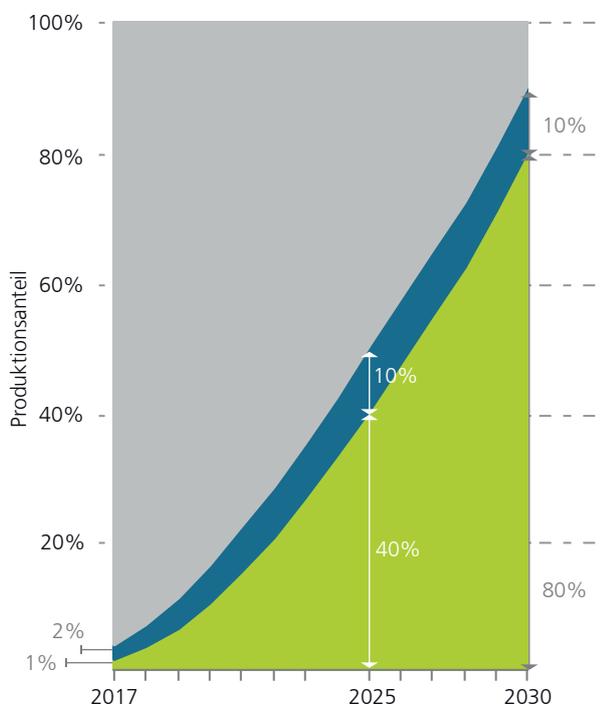


Abb. 9: Im Projekt ELAB 2.0 zugrunde gelegtes Szenario 3

■ ICEV Benzin und Diesel einschließlich MHEV,  
■ PHEV einschließlich HEV, ■ BEV

# 6

## BETRACHTETE WERTSCHÖPFUNGSUMFÄNGE

### 6.1

#### BETRACHTETE ANTRIEBSSTRANGKOMPONENTEN

Nachfolgend werden die Komponenten näher beschrieben, die die Basis für die Untersuchungen im Rahmen des Projekts ELAB 2.0 bilden. Alle Komponenten lassen sich dem Antriebsstrang zuordnen. Der Auswahl der Komponenten lagen die Forderungen zugrunde, dass sich Veränderungen beim Personalbedarf eindeutig der Elektrifizierung des Antriebsstrangs zuordnen lassen und dass die zugehörigen Prozesse von den Projektpartnern auch untersucht werden können.



##### 6.1.1 Verbrennungskraftmaschine (ICE)

Die Verbrennungskraftmaschinen, die im Rahmen der ELAB-2.0-Untersuchungen zugrunde gelegt werden, sind Benzin-/Dieselmotoren mit 4 Zylindern und 100 kW Leistung, wie sie bei Mittelklassefahrzeugen zum Einsatz kommen. Bei den Motoren wird nochmals unterschieden zwischen dem eigentlichen Motor sowie den dazugehörigen Peripheriesystemen. Die Herstellung des Verbrennungsmotors ist geprägt durch die klassischen Produktionsverfahren in der Metallverarbeitung. Hierzu gehören insbesondere Gieß- und Schmiedeprozesse sowie spanende Bearbeitungen. Ein großer Teil der einzelnen Komponenten werden als Rohling gegossen, zum Teil geschmiedet und anschließend fräsend und bohrend weiterbearbeitet, bevor weitere Veredelungsschritte folgen können. So wird z. B. der Motorblock gegossen, bevor verschiedene Bohrungen und Gewinde für Anbauteile, Kühlkanäle und ähnliches eingebracht werden. Die Zylinder werden gefräst und mit Laufbuchsen versehen. Die Nockenwelle wird als Rohling gegossen und anschließend geschmiedet, poliert und thermisch gehärtet. In der nachstehenden Abbildung 10 ist die Komponente exemplarisch dargestellt.

Abb. 10: Exemplarische Darstellung einer im Projekt betrachteten Verbrennungskraftmaschine (Quelle: Volkswagen)



Einzelne Komponenten sowie die dazugehörigen Herstellungsprozesse werden wie folgt für die Peripherie des Verbrennungsmotors einbezogen:

- Aufladung (herstellen),
- Ölversorgung (herstellen),
- Luftversorgung (herstellen, besondere Berücksichtigung von Saugmodul, Filter, Kühler, Sensoren, Reinflutleitung),
- Abgasanlage (herstellen, besondere Berücksichtigung von Sensorik, Katalysator, Partikelfilter, AGR, Schalldämpfer, SCR),
- Einspritzsystem (herstellen, besondere Berücksichtigung von Steuergeräten, Einspritzdüse, Kraftstoffpumpe),
- Zündanlage (herstellen, besondere Berücksichtigung von Zündkerzen, Zündspule, Verkabelung),
- 48-V-Startergenerator (herstellen),
- Seiten-/Gelenkwelle (herstellen),
- Tanksystem (herstellen; besondere Berücksichtigung von Tank, Filter, Deckel, Schläuchen, Pumpe).
- Als letzter Prozessschritt der Fertigstellung wird die Montage des Verbrennungsmotors sowie der Peripherie berücksichtigt.

### 6.1.3 Automatik- und Hybridgetriebe

Für die Untersuchungen werden zwei Arten von Getrieben unterschieden. Für die konventionell angetriebenen Fahrzeuge, welche nur über einen Verbrennungsmotor verfügen, wird ein 6-Gang-Automatikgetriebe mit Doppelkupplung unterstellt. Bei Hybridfahrzeugen wird von einem Hybridgetriebe ausgegangen, welches grundsätzlich denselben Aufbau wie das konventionelle Getriebe aufweist, zusätzlich jedoch mit einer Elektrischen Maschine ausgestattet ist. Deren Verbindung lässt sich mittels einer zusätzlichen Trennkupplung oder achsparallel über einen einfachen Radsatz ohne Trennkupplung realisieren. Auf Übersetzungsgetriebe bei BEV wird nicht eingegangen.

Ähnlich wie die Herstellung des Verbrennungsmotors ist auch die des Getriebes geprägt von klassischen Prozessen der Metallverarbeitung wie Gießen und spanender Bearbeitung. Das Getriebegehäuse wird in der Regel gegossen, bevor einzelne Bereiche fräsend bearbeitet werden und Löcher gebohrt und Gewinde geschnitten werden. Die Getriebewellen werden in der Regel aus Stangen gedreht, wobei anschließend Härtever-

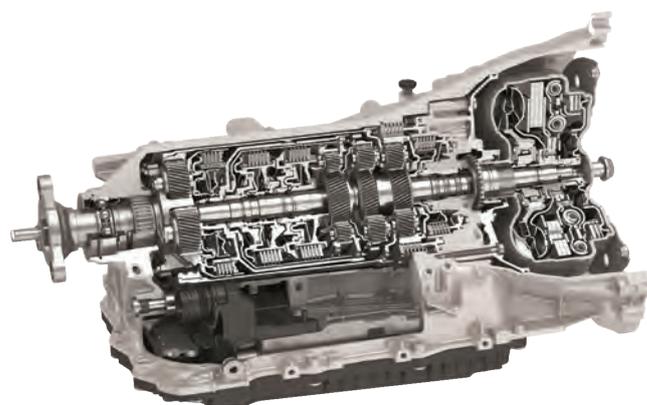


Abb. 12: Exemplarische Darstellung eines Automatikgetriebes  
(Quelle: ZF)

fahren zum Einsatz kommen können. Auch die Zahnräder werden aus gegossenen Rohlingen durch Fräs- und Schleifprozesse sowie anschließende Veredelung hergestellt. Nachstehend ist exemplarisch in Abbildung 12 ein Automatikgetriebe und in Abbildung 13 ein Hybridgetriebe dargestellt.

Im Detail werden die folgenden Komponenten und die dazugehörigen Produktionsschritte zugrunde gelegt, für einzelne Komponenten wird die gesamte Herstellung als ein Schritt zusammengefasst:

- Zweimassenschwungrad (pressen, stanzen, nieten),
- Lammellenkupplung (stanzen, nieten),
- Zahnräder (gießen, walzfräsen, härten, schleifen),
- Lager (herstellen),
- Wellen (drehen, härten, entgraten),
- Hydraulikölpumpe (herstellen),
- Mechatronik (herstellen),
- Getriebegehäuse (gießen, bohren, fräsen, schleifen),
- Trennkupplung (herstellen, nur Hybrid),
- Elektrische Maschine montieren (nur Hybrid),
- Getriebemontage.



Abbildung 13: Exemplarische Darstellung eines Hybridgetriebes (einschließlich Elektrischer Maschine; Quelle: ZF)

#### 6.1.4 Traktionsbatterie

Der grundlegende Bestandteil der Batterie in einem Elektrofahrzeug sind die Batteriezellen. Bisher gibt es noch keine europäische Zellfertigung. Diese findet hauptsächlich im asiatischen Raum statt. Deshalb wird bei der Fertigung der Traktionsbatterie unterstellt, dass die Zellen zugeliefert werden, sodass im Rahmen der Untersuchungen nur die Herstellung der Zellmodule und der Aufbau der Traktionsbatterie betrachtet wird. Für die Zellmodule werden die einzelnen Zellen elektrisch, elektronisch und mechanisch verbunden. Je nach Zelltyp kann dieser Prozess im Detail unterschiedlich gestaltet sein. Rundzellen werden »stehend« verbunden, während Pouch-Zellen »liegend« gestapelt werden. Zum Teil werden hierbei zusätzliche Sensoren und Komponenten für das Thermomanagement in die Zellmodule integriert.

Die Gehäuse für die Batterien werden in der Regel aus Blechen durch Umformen gefertigt. Anschließend werden die Gehäuseteile durch Kleben, Schweißen und Nieten verbunden. Das Batteriemangement kann hierbei entweder im Gehäuse integriert oder bei der Endmontage außen angebracht werden. Eine wichtige Funktion, die das Gehäuse der Batterie übernimmt, ist die Absicherung der Batterie bei einem Unfall, weshalb diese mit verschiedenen Arten von Crashelementen versehen werden. In der nachstehenden Abbildung 14 ist die Komponente exemplarisch dargestellt.



Abb. 14: Exemplarische Darstellung eines im Projekt betrachteten Batteriesystems (Quelle: BMW, Torqeedo)

Im Detail werden für das Batteriesystem folgende Komponenten und Herstellungsschritte berücksichtigt:

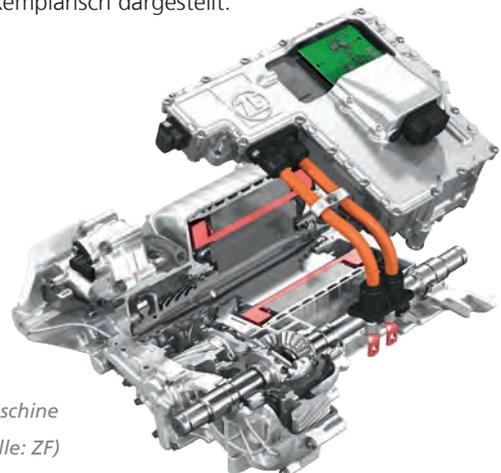
- Zellmodule (montieren),
- Batteriegehäuse (fertigen; umformen, fügen, prüfen),
- Batteriesystem (montieren; besondere Berücksichtigung des Einsetzens der Zellmodule in das Gehäuse, Verbinden der Zellmodule),
- Batteriemanagercontroller (montieren).



Abb.15: Exemplarische Darstellung einer im Projekt betrachteten Elektrischen Maschine (links; Quelle: BMW) und deren Integration in eine Elektrische Achse (rechts; Quelle: ZF)

### 6.1.5 Elektrische Maschine

Im Vergleich zu einem Verbrennungsmotor sind Elektrische Maschinen in der Herstellung recht einfach. Es werden deutlich weniger Einzelteile benötigt als bei Verbrennungsmotoren. Grundsätzlich besteht eine Elektrische Maschine aus einem Gehäuse, in welchem der Stator untergebracht ist, sowie einem Rotor, der sich in dem Gehäuse drehen kann. Je nach Maschinentyp werden im Rotor und Stator noch Wicklungen, oftmals aus Kupferdraht, aufgebracht oder Magnete befestigt. Die Rotoren werden bei Motoren mit großer Stückzahl in der Regel aus gestanzten Blechen aufgeschichtet, wobei diese auf eine Welle aufgebracht werden. Auch die Zähne im Stator, welche mit Draht umwickelt werden, sind in der Regel aus geschichteten Blechen aufgebaut. Im Fall von permanenterregten Maschinen werden die Permanentmagnete häufig auf den Rotor geklebt. Da die Eigenschaften der Elektrischen Maschine – insbesondere deren Effizienz – in hohem Maße von Spaltmaßen und damit Fertigungstoleranzen abhängen, ist darauf bei der Aufbringung der Magnete besonders zu achten. Darüber hinaus fallen bei der Herstellung der Elektrischen Maschine Isolations- und Montageschritte an. Die Magnete werden als Zulieferteil berücksichtigt. Bei batterieelektrischen Fahrzeugen wird in vielen Fällen ein Übersetzungsgetriebe mit verbaut. In der nachstehenden Abbildung 15 ist die Komponente exemplarisch dargestellt.



Im Einzelnen werden für die Herstellung der Elektrischen Maschinen für batterie- und hybridelektrische Fahrzeuge folgende Komponenten und Herstellungsschritte einbezogen:

- Rotor (stanzen und aufschichten),
- Magnete (montieren; kleben, wuchten, vergießen),
- Stator (stanzen, aufbauen, isolieren, wickeln, lackieren),
- Lager (montieren),
- Gehäuse (gießen, Feinarbeiten),
- Lager und Stator (in Gehäuse setzen),
- Rotor (in Stator setzen, Wicklungen prüfen, messen),
- Getriebe (montieren, nur batterieelektrisches Fahrzeug).

### 6.1.6 Leistungselektronik

Die Leistungselektronik steuert den Energiefluss im elektrischen Antriebsstrang. Hierfür werden AC/DC- und DC/DC-Wandler eingesetzt, wobei verschiedene Ausführungen (IGBT, MOSFET) sowie unterschiedliche Materialien (GaN – Galliumnitrid, SiC – Siliciumcarbid) zum Einsatz kommen. Für die Leistungselektronik wurden im Rahmen der vorliegenden Studie keine neuen Erhebungen hinsichtlich der Herstellungsprozesse durchgeführt. Stattdessen wurde auf die Daten aus dem Vorgängerprojekt »ELAB 1.0« zurückgegriffen. In der nachstehenden Abbildung 16 ist die Komponente exemplarisch dargestellt.

Folgende Komponenten und Fertigungsschritte wurden bei der Leistungselektronik berücksichtigt:

- Zulieferteile: IGBTs, DCB, Bodenplatte, Gehäuse,
- Leistungsmodul (montieren),
- Kondensator (herstellen),
- Steuerungselektronik (herstellen),
- Gehäuse Steuerungselektronik (gießen),
- Montage Leistungselektronik (Leistungsmodul fixieren, Kondensatoren und Steuerungselektronik montieren, Gehäuse schließen).



Abb.16: Exemplarische Darstellung einer im Projekt betrachteten Leistungselektronik (Quelle: Bosch)

## 6.2

### BETRACHTETE WERTSCHÖPFUNGSKETTEN

Der Betrachtungsraum im Rahmen des Projekts ELAB 2.0 ist in verschiedener Hinsicht eingegrenzt. Eine der Eingrenzungen besteht darin, dass keine weiteren Komponenten als die vorstehend beschriebenen untersucht werden. Der Grund dafür sind im Wesentlichen die Forderungen, dass sich Veränderungen beim Personalbedarf eindeutig der Elektrifizierung des Antriebsstrangs zuordnen lassen müssen und dass die zugehörigen Prozesse von den Projektpartnern auch untersucht werden können.

Eine weitere Eingrenzung ist, dass bei den Komponenten nicht die jeweils vollständige, wohl aber ein möglichst großer Teil der entsprechenden Wertschöpfungskette betrachtet wird. Als Prämisse des Projekts ELAB 2.0 gilt, dass sowohl die Aufbereitung von Rohstoffen und Rohmaterial als auch die Herstellung von Normteilen bei allen Komponenten grundsätzlich von der Betrachtung ausgeschlossen ist. Darüber hinaus gehören mit den Zellen bei der Traktionsbatterie und den Magneten bei der Elektrischen Maschine teilweise auch solche Bestandteile von Komponenten nicht zum Untersuchungsraum, die entscheidend sind für die Komponentencharakteristik sowie auch für deren Wahrnehmung in der öffentlichen Diskussion – u. a. aufgrund der Knappheit seltener Erden und der Kosten bisher verfügbarer Batterien. Der verbleibende Teil der Wertschöpfungskette je Komponente wird im weiteren Verlauf als »betrachtete Wertschöpfungskette« bezeichnet.

Gerechtfertigt werden kann der oben beschriebene Ausschluss entscheidender Komponentenbestandteile zum einen dadurch, dass sich ihnen im Rahmen des Projekts ELAB 2.0 keine repräsentativen Daten im Sinne des Projektziels – der Untersuchung von Effekten auf die Beschäftigung – zuordnen ließen. Die wesentlich bedeutungsvollere Rechtfertigung ist allerdings die Zahl der Beschäftigten, die bei der Herstellung der

entscheidenden, aber nicht im Betrachtungsraum enthaltenen Teile eingesetzt werden. Diese bleibt gemäß den Erkenntnissen und Erfahrungen der Projektpartner sowie gemäß öffentlich bekannten Angaben und Daten teilweise deutlich hinter der für andere Teile zurück, bei denen die Verfügbarkeit wesentlich größer und die Kosten wesentlich niedriger sind und die deswegen nicht als entscheidend gelten.

Unabhängig von den oben beschriebenen Eingrenzungen setzt sich die Wertschöpfungskette jeder Komponente aus unterschiedlichen Bestandteilen zusammen. Dabei findet im Projekt ELAB 2.0 keine Festlegung und auch keine Analyse statt, in welchen Bereichen oder zu welchen Teilen sich die betrachteten Wertschöpfungsketten auf OEM oder Zulieferunternehmen aufteilen oder in Zukunft aufteilen sollten. Das Ende der betrachteten Wertschöpfungskette jeder Komponente stellt die Endmontage dar. Daran anschließend wird im Projekt ELAB 2.0 auch noch der Einbau in das Fahrzeug betrachtet, bei dem allerdings bei ICEV, PHEV und BEV jeweils mehrere Komponenten von identischen Beschäftigten gehandhabt werden. Deswegen lassen sich hierfür keine Beschäftigtenzahlen explizit bestimmten Komponenten zuweisen.

Die nachfolgende Abbildung 17 veranschaulicht exemplarisch die Wertschöpfungskette der Komponenten ICE und Elektrische Maschine für das Projekt ELAB 2.0. Dabei sind hier aus Gründen der Übersichtlichkeit keine Tätigkeiten dargestellt, sondern die aus den Tätigkeiten resultierenden Komponenten (-bestandteile). Näher auf die Tätigkeiten eingegangen wird im folgenden Kapitel 6.3. In Abbildung 17 wird der Unterschied zwischen der jeweils vollständigen Wertschöpfungskette (einschließlich der Handhabung von Rohstoffen sowie der Herstellung von Normteilen) und der jeweils betrachteten Wertschöpfungskette deutlich.



Abb. 17: Veranschaulichung der betrachteten Wertschöpfungsketten anhand von zwei exemplarischen Komponenten (Quellen: BMW, ZF, (Binder, 2008))

An dieser Stelle sei in Erinnerung gerufen, dass das Ziel des Projekts ELAB 2.0 in der Untersuchung von Effekten auf die Beschäftigung besteht. Von daher spielen Faktoren wie Kosten oder ähnliches weder in Zusammenhang mit der obenstehenden Abbildung 17 noch an einer anderen Stelle eine Rolle. Sehr wohl eine Rolle spielt hingegen, wie viele Beschäftigte zur Herstellung jedes Bestandteils einer jeden Komponente erforderlich sind, und wie sich ihre Anzahl durch die Fahrzeugelektrifizierung verändert. Um dies in Erfahrung zu bringen, werden aus der betrachteten Wertschöpfungskette, die beispielhaft für ICE und Elektrische Maschine in Abbildung 17 ersichtlich und für alle anderen zuvor genannten Komponenten in analoger Art gegeben ist, in einem ersten Schritt möglichst viele in der Herstellung Beschäftigte aufgenommen. Dabei ist es aufgrund von unübersichtlichen Längen und teilweise unterschiedlich definierten Grenzen der jeweils betrachteten Wertschöpfungsketten nicht möglich, die jeweils zugehörigen Beschäftigten vollumfänglich zu erfassen. Aber dank der Kompetenzen und Erfahrungen der Projektpartner gelingt es für die meisten Komponenten, die Beschäftigten in der jeweils betrachteten Wertschöpfungskette zu einem beträchtlichen Teil aufzunehmen – in jedem Fall über OEM hinaus, denen im Extremfall ausschließlich die Beschäftigten für den Einbau in das Fahrzeug zuzuordnen sind, bis teilweise hin zu den Zulieferunternehmen der Ebene TIER2.

Die im weiteren Verlauf ermittelten und ausgewiesenen Effekte auf die Beschäftigung gelten in jedem Fall ausschließlich für die Beschäftigten in der Herstellung von Antriebssträngen. Strenggenommen ist die Aussagekraft sogar begrenzt auf den Teil der Beschäftigten, der in den oben beschriebenen, betrachteten Wertschöpfungsketten überhaupt erfasst werden kann. Dieser Anteil wird im weiteren Verlauf als »analysierter Anteil der Beschäftigung in der je Komponente betrachteten Wertschöpfungskette« bezeichnet. In Kapitel 7.1.2 erfolgt eine Quantifizierung der Anteile und generell beschrieben ist das Vorgehen bei der Erfassung der Anzahl von Beschäftigten in den Wertschöpfungskette der Komponenten ab Kapitel 7.1.

### 6.3 ÜBERSICHT ÜBER DIE BETRACHTETEN WERT- SCHÖPFUNGSUMFÄNGE

In der nachstehenden Abbildung 18 sind die zuvor genannten Komponenten zusammengefasst und jeweils Prozessschritte zur Herstellung aufgeführt. Die so aufgespannte Matrix zeigt folglich die im Rahmen des Projekts ELAB 2.0 betrachteten Wertschöpfungsketten. Von den Prozessschritten sind dabei diejenigen grün markiert, die im Rahmen des Projekts näher betrachtet wurden. Ihre Anzahl je Komponente dient auch als Richtwert bei der Quantifizierung des analysierten Anteils der Beschäftigung in den betrachteten Wertschöpfungsketten (vgl. Kapitel 6.2 und 7.1.2). Die Matrix zeigt die Herstellung der Komponenten aber nur exemplarisch. Nachher ausgewiesene Personalbedarfe beziehen sich nicht notwendigerweise exakt auf die hier angegebenen Schritte.

*Abb. 18: Matrix der im Projekt ELAB 2.0 behandelten Komponenten und exemplarische Herstellungsschritte. Die grauen Felder sind nicht Teil der jeweils betrachteten Wertschöpfungskette und stehen in der Tabelle nur der Vollständigkeit halber.*

## BETRACHTETE WERTSCHÖPFUNGSMOMENTE



	ICE	ICE-Peripherie	Automatikgetriebe	Hybridgetriebe	Elektrische Maschine	Traktionsbatterie	Leistungselektronik
	Benzin/Diesel, 4 Zylinder, 100 kW	Schritte nicht aufeinanderfolgend.	Doppelkupplung, 6 Gänge	Doppelkupplung, 6 Gänge	Synchron, 75–100 kW	Hochenergie, 0,7–60 kWh	DC/DC-, AC/DC-Wandler...
15	Schwungscheibe gießen, Lager schmieden und härten						
14	Motorblock gießen, glühen, bohren und fräsen						
13	Kolbenring biegen, härten, beschichten						
12	Kurbelwelle gießen/schmieden, polieren und härten						
11	Pleuel schmieden und Pleuellager herstellen	Aufladung herstellen		Trennkupplung herstellen: stanzen, nieten			
10	Kolben gießen, fräsen, polieren	Luftversorgung herstellen: Saugmodul, Filter, Kühler, Sensoren, Reinflufleitung		Zweimassenschwungrad herstellen: pressen, stanzen, nieten			
9	Ölwanne tiefziehen, lackieren	Luftversorgung herstellen: Saugmodul, Filter, Kühler, Sensoren, Reinflufleitung	Zweimassenschwungrad herstellen: pressen, stanzen, nieten	Lammellenkupplungen herstellen: stanzen, nieten			
8	Laufbuchse hohlen, pressen, polieren	Abgasanlage herstellen: Sensorik, Katalysatoren, Partikelfilter, AGR, Schalldämpfer, SCR	Lammellenkupplungen herstellen: stanzen, nieten	Zahnräder herstellen: gießen, walzfräsen, härten, schleifen	Magnete herstellen		
7	Zylinderkopf herstellen	Einspritzanlage herstellen: Steuerggerät, Einspritzdüse, Kraftstoffpumpe (Hochdruck)	Zahnräder herstellen: gießen, walzfräsen, härten, schleifen	Lager herstellen	Rotor stanzen und aufschichten		
6	Zylinderkopf-dichtung stanzen, kleben	Zündanlage: Zündkerze, Zündspule, Verkabelung	Lager herstellen	Wellen herstellen: drehen, härten, entgraten	Magnete montieren: kleben, wuchten, vergießen		Teile Leistungsmodul herstellen: IGBTs, DCB, Bodenplatte, Gehäuse
5	Zylinderkopf-abdeckung herstellen	48-V-Starter-Generator herstellen	Wellen herstellen: drehen, härten, entgraten	Hydraulikölpumpe herstellen	Stator aufbauen: stanzen, isolieren, wickeln, lackieren	Zellen aufbauen	Leistungsmodul montieren
4	Nockenwelle gießen, härten, zusammenbauen, fräsen	Kardanwelle herstellen (entfällt, weil Frontantrieb)	Hydraulikölpumpe herstellen	Mechatronik herstellen	Lager montieren	Zellmodule montieren	Kondensator herstellen
3	Ventiltrieb herstellen: Ventile (Ein- u. Ausl.), Führung, Tassenstößel, Federn	Hinterachsgetriebe herstellen (entfällt, weil Frontantrieb)	Mechatronik herstellen	Getriebegehäuse herstellen: Gießen, fräsen, bohren, schleifen	Gehäuse gießen, feinbearbeiten	Batteriegehäuse fertigen: umformen (z. B. tiefziehen), fügen (z. B. schweißen), prüfen	Steuerungselektronik herstellen
2	Steuerriemen stanzen und montieren	Seiten-/Gelenkwellen herstellen	Getriebegehäuse herstellen: gießen, fräsen, bohren, schleifen	Elektrische Maschine montieren	Lager und Stator ins Gehäuse setzen, Rotor in Stator einsetzen, Wicklung prüfen und messen	Batteriesystem montieren: Module in Gehäuse einsetzen etc	Gehäuse Steuerungselektronik gießen
1	ICE montieren	Tanksystem herstellen: Tank, Filter, Deckel, Schläuche, Pumpe	Getriebe montieren	Getriebe montieren	Getriebe montieren	Batteriemanagement-Controller montieren	Montage Leistungselektronik: Leistungsmodul fixieren, Kondensatoren und Steuerungselektronik montieren, Gehäuse schließen
0	Fahrzeugeinbau durch OEM						

- im Rahmen des Projekts betrachtete und analysierte Prozessschritte
- im Rahmen des Projekts betrachtete, aber nicht analysierte Prozessschritte
- nicht Teil der jeweils betrachteten Wertschöpfungskette

# 7

## QUANTITATIVE ANALYSE DER BESCHÄFTIGUNGSEFFEKTE IM REFERENZMODELL

### 7.1

#### BERECHNUNGSGRUNDLAGEN UND MODELLBAUSTEINE

Zur Ermittlung der quantitativen Ergebnisse, die im Rahmen des Projekts ELAB 2.0 aus den beschriebenen Trends folgen, wurden die erläuterten Szenarien, unterschiedliche Größen verschiedener Art aus verschiedenen Quellen sowie weitere Daten mit Hilfe eines sogenannten Datenmodells miteinander kombiniert. Nachfolgend sind das Modell mit seiner Berechnungslogik sowie die damit kombinierten Größen und Daten näher beschrieben.

Das Modell setzt sich aus zwei Haupt-Pfaden zusammen. Auf Basis von Angaben, die während des Projekts ermittelt wurden, werden jeweils spezifische, aufeinander aufbauende Berechnungen angestellt. Der eine Pfad hat das Ziel, Produktionszahlen für Komponenten ausgehend von mehreren getroffenen Annahmen auszugeben. Das Ziel des anderen Pfads ist es, für die Komponenten den Personalbedarf bei unterschiedlich hohen produzierten Stückzahlen und jeweils vorliegenden, evaluierten Verhältnissen möglichst realitätsnah aufzuzeigen. Werden die beiden Pfade zusammengeführt, sind zur Ermittlung der quantitativen Ergebnisse noch die Netto-/

Brutto-Faktoren sowie ggf. Produktivitätssteigerungen zu berücksichtigen. Dies ist in Abbildung 19 grafisch dargestellt. Die quantitativen Ergebnisse des Projekts ELAB 2.0 stellen die Summation der Personalbedarfe pro Komponente für alle betrachteten Komponenten dar.

Anhand der obigen Beschreibung und Darstellung des Datenmodells wird der im Rahmen von ELAB 2.0 angewendete Bottom-Up-Ansatz deutlich: Ausgehend von erhobenen Personalbedarfen für produzierte Stückzahlen werden mit Hilfe von Szenarien, ausgewählten Antriebsstrang-Typen und Komponenten sowie weiteren Einflussgrößen die Ergebnisse ermittelt.

Nachfolgend werden die einzelnen Bausteine der beiden Haupt-Pfade des Datenmodells näher beschrieben. Zunächst steht der Pfad zur Ermittlung der Produktionszahlen im Fokus. Anschließend wird der Pfad zur Berechnung der Personalbedarfe pro Stückzahl mit erhobenen Personalbedarfen und stückzahlabhängigen Verhältnissen behandelt.



Abb. 19: Aufbau des Datenmodells des Projekts ELAB 2.0

### 7.1.1 Festgelegte Szenarien, Antriebsstrang-Typen und deren Komponenten

In diesem Kapitel wird derjenige Pfad des Datenmodells des Projekts ELAB 2.0 beschrieben, an dessen Ende Produktionszahlen für Komponenten stehen. Darin eingehende Annahmen und Größen sind: Eine festgelegte fixe Ausbringungsmenge, festgelegte Produktionsszenarien, bestimmte Antriebsstrang-Typen sowie ausgewählte, repräsentative Komponenten.

Als fixe Ausbringungsmenge werden **eine Million Antriebsstränge pro Jahr** festgelegt. Dadurch gelingt es, erhobene Daten und daraus resultierende Ergebnisse in den folgenden Modellrechnungen zu vereinheitlichen und vergleichbar zu machen. Zu einem späteren Zeitpunkt erfolgt allerdings noch

eine Extrapolation der Erkenntnisse auf eine höhere Ausbringungsmenge.

Die drei festgelegten Produktionsszenarien und ihre Hintergründe sind ausführlich beschrieben in Kapitel 5. Sie beziehen sich stets auf die fixe Ausbringungsmenge von einer Million Antriebssträngen. Zusammengefasst bilden sie hier zwecks Darstellung der Beschäftigtensituation in Deutschland die Verhältnisse in der Antriebsstrangproduktion ab (nicht beim Absatz) und sind sie inspiriert vom Benchmark-Ansatz der EU-Kommission zur CO<sub>2</sub>-Zielerreichung, von breiten Einfahr- oder Zulassungsverboten für ICE sowie von weiteren gesetzlichen Verschärfungen. Nachfolgend sind in Abbildung 20 die Szenarien aus Kapitel 5 nochmals dargestellt.

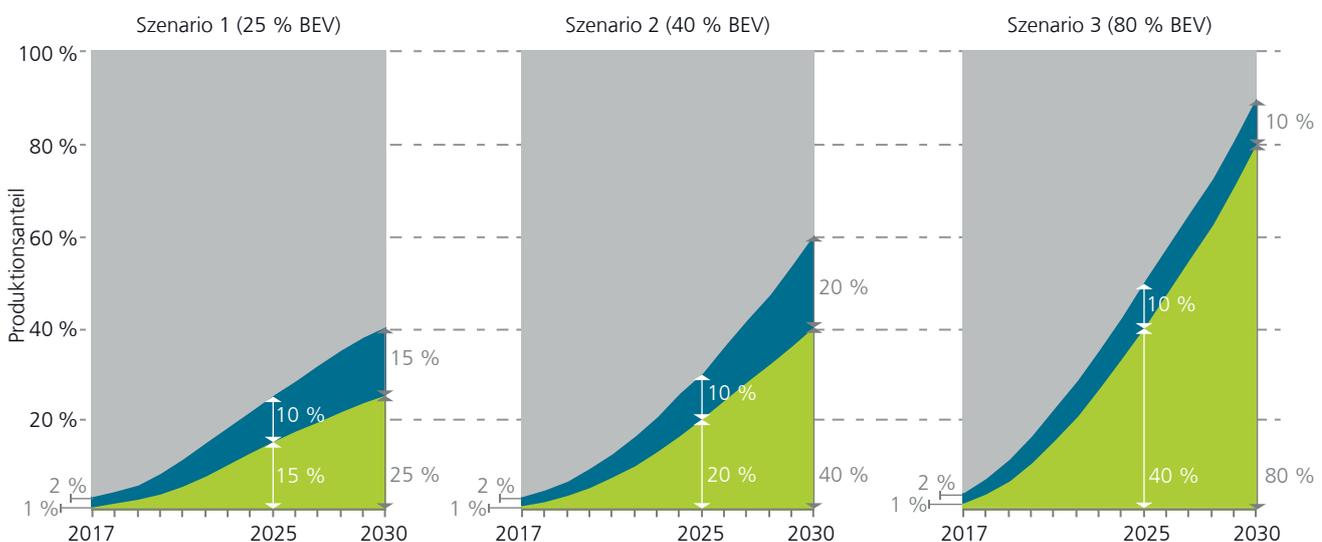


Abb. 20: Im Projekt ELAB 2.0 zugrunde gelegte Szenarien – ■ ICEV Benzin und Diesel einschließlich MHEV, ■ PHEV einschließlich HEV, ■ BEV

## QUANTITATIVE ANALYSE DER BESCHÄFTIGUNGSEFFEKTE IM REFERENZMODELL

Für die Antriebsstrang-Typen werden diejenigen herangezogen, die nach aktuellem Wissensstand im Betrachtungszeitraum von ELAB 2.0 die größte Bedeutung für die Projektpartner bei »Passenger Cars« mit 2-Rad-Frontantrieb im C-Segment haben.

Diese Typen und die für sie festgelegten Kennwerte sind:

- ICEV (umfasst Benzin- u. Dieselantriebe sowie deren Mild-Hybrid-Varianten - MHEV) mit 4-Zylinder-ICE mit 100 kW, Automatikgetriebe, 48-V-Startergenerator, Batterie mit 0,7 kWh ( $\hat{=}$  48-V-Batterie; keine elektrische Reichweite), DC/DC-Wandler,
- PHEV (einschließlich HEV) mit 4-Zylinder-Benzin-ICE mit 100 kW, Hybridgetriebe mit Elektrischer Maschine (synchron) mit 75 kW als Ein-Motor-Konzept (paralleler Hybrid), Batterie mit 10 kWh und Thermomanagement (50 km elektrische Reichweite im NEFZ), DC/DC-Wandler,
- BEV mit Elektrischer Maschine (synchron) mit 100 kW und Getriebe als Ein-Motor-Konzept (Zentralmotor), Batterie mit 60 kWh (400 km Reichweite im NEFZ), DC/DC-Wandler.

Der oben zusammen mit der Festlegung der Antriebsstrang-Typen zum Großteil bereits erfolgten Festlegung der weiter betrachteten Komponenten lag zum einen die Forderung zugrunde, dass sich Veränderungen beim Personalbedarf eindeutig der Elektrifizierung des Antriebsstrangs zuordnen lassen. Vervollständigt um die Peripherie der ICE und detaillierter unterschieden in Benzin- und Dieselantriebe umfasst die Auswahl somit Verbrennungsmotoren samt Peripherie für Benzin und Dieselantriebe, Automatik- und Hybridgetriebe, Elektrische Maschine, Traktionsbatterie und Leistungselektronik. Eine weitere Forderung war, dass die Projektpartner die zu den Komponenten zugehörigen Prozesse überhaupt untersuchen können. U. a. deswegen nicht berücksichtigt sind die Herstellung der Magnete für die Elektrische Maschine und der Zellen für die Traktionsbatterie.

	ICE Benzin	ICE-Peripherie Benzin	ICE Diesel	ICE-Peripherie Diesel	Automatikgetriebe	Hybridgetriebe	Elektrische Maschine	Traktionsbatterie	Leistungselektronik
ICEV Benzin (100 kW ICE, Peripherie, Automatikgetriebe)	X	X			X				
ICEV Benzin MHEV (wie oben + 0,7 kWh Batterie, DC/DC-Wandler)	X	X			X			X <sup>2</sup>	X
ICEV Diesel (100 kW ICE, Peripherie, Automatikgetriebe)			X	X	X				
ICEV Diesel MHEV (wie oben + 0,7 kWh Batterie, DC/DC-Wandler)			X	X	X			X <sup>2</sup>	X
PHEV (100 kW ICE, 75 kW El. Maschine, 10 kWh Batt., DC/DC-Wandler)	X	X				X	1	X <sup>3</sup>	X
BEV (100 kW Elektrische Maschine, 60 kWh Batterie, DC/DC-Wandler)							X	X	X

Abb. 21: Zuordnung der betrachteten Komponenten zu den Antriebssträngen

- 1 Bei PHEV ist die Elektrische Maschine im Hybridgetriebe enthalten
- 2 10 % des Personalbedarfs für die Herstellung einer Traktionsbatterie mit 60 kWh angenommen
- 3 70 % des Personalbedarfs für die Herstellung einer Traktionsbatterie mit 60 kWh angenommen

Um aus den Anteilen der drei oben genannten Antriebsstrang-Typen in den verschiedenen Szenarien die Produktionszahlen für die zugehörigen Komponenten gewinnen zu können, werden Antriebsstränge und Komponenten einander in einer Matrix zugeordnet. Dies ist dargestellt in Abbildung 21. Dort sind für möglichst detailgetreue Resultate die ICEV nicht nur in Benzin- und Dieselantrieb unterteilt, sondern es ist zusätzlich je die Mild-Hybrid-Variante (MHEV) berücksichtigt.

Abbildung 21 zeigt auch eine zwecks Vereinfachung getroffene Annahme, die im folgenden Kapitel noch näher erläutert wird. So muss der Personalbedarf für die Herstellung

einer Batterie mit 0,7 kWh bzw. 10 kWh nicht separat erhoben werden, sondern er lässt sich berechnen als 10 Prozent bzw. 70 Prozent des Personalbedarfs für die Herstellung einer Batterie mit 60 kWh.

Mit Hilfe der jeweiligen Anzahl von verschiedenen Antriebsstrang-Typen in den Szenarien aus Abbildung 20 und der jeweiligen Komponenten dieser Antriebsstrang-Typen aus Abbildung 21 lassen sich als Ergebnis des ersten Haupt-Pfads des Datenmodells des Projekts ELAB 2.0 szenarienabhängige Komponenten-Produktionszahlen ermitteln. Abbildung 22 zeigt das Ergebnis.

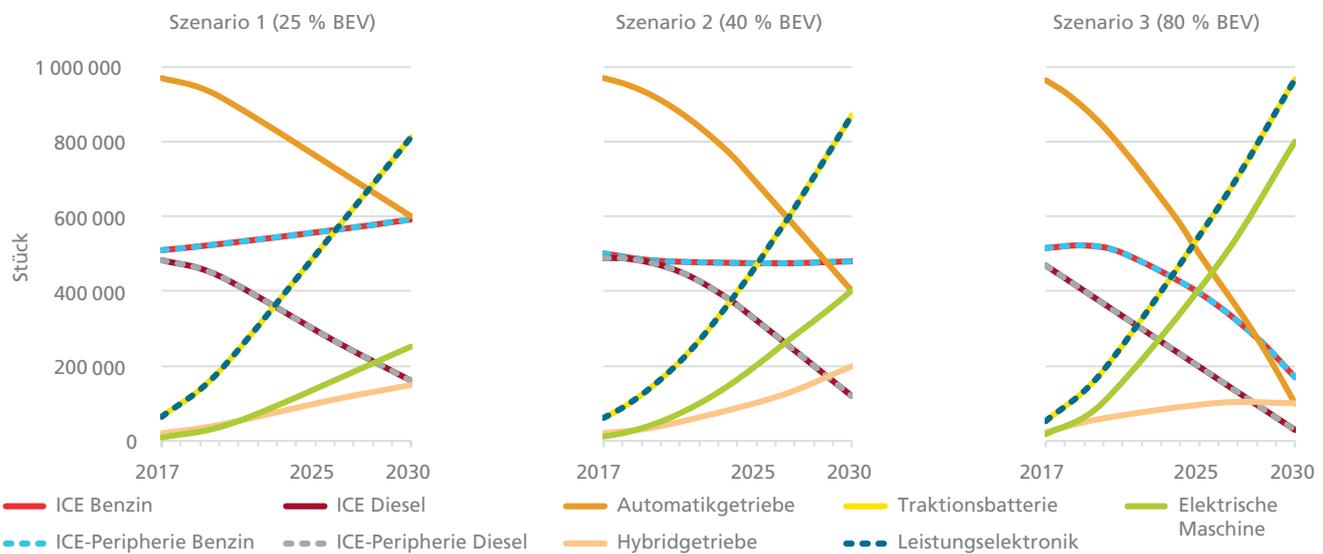


Abb. 22: Komponenten-Produktionszahlen als Ergebnis des ersten Haupt-Pfads des Datenmodells (vgl. Kapitel 7.1)

**7.1.2 Erhobene Personalbedarfe und stückzahlabhängige Verhältnisse**

In diesem Kapitel wird der Pfad des Datenmodells des Projekts ELAB 2.0 beschrieben, an dessen Ende Personalbedarfe pro Stückzahl für die unterschiedlichen Komponenten stehen. Darin eingehende Annahmen und Größen sind die zusammen mit den Projektpartnern erhobenen Personalbedarfe und stückzahlabhängigen Verhältnisse.

Bedingt durch die Zusammensetzung der Projektpartner und deren jeweilige Position in der deutschen Automobilindustrie konnten im Gegensatz zum Projekt »ELAB 1.0« insbesondere für die konventionellen Komponenten sowohl Daten auf der Ebene der OEM als auch aus vorgelagerten Bereichen der jeweiligen Wertschöpfungsketten erhoben werden. Lediglich für die Leistungselektronik wird auf Daten aus »ELAB 1.0« zurückgegriffen. Abbildung 23 fasst die Herkunft der Daten je Komponente zusammen.

Komponente	ICE	ICE-Peripherie	Automatik- getriebe	Hybrid- getriebe (einschließlich El. Maschine)	Elektrische Maschine (einschließlich Getriebe, ohne Magnete)	Traktions- batterie (ohne Zellen)	Leistungs- elektronik
Personalbedarf aus Sicht der	OEM, TIER1- und TIER2-Zulieferer						»ELAB 1.0«

Abb. 23: Herkunft der zu den verschiedenen Komponenten erhobenen Daten

Von den Betrachtungen ausgeschlossen sind nicht nur die Herstellung von Magneten und Zellen, sondern Zukauf- und Normteile (vgl. Kapitel 6.2). Davon und vom Einblick der Projektpartner in die Wertschöpfungsketten der betrachteten Komponenten ausgehend, kann prozentual abgeschätzt werden, welchen Anteilen der Beschäftigung in der betrachteten Wertschöpfungskette (WSK) die analysierten Umfänge entsprechen (vgl. Kapitel 6.2 und 6.3). Diese Prozentzahl stellt

einen Richtwert dar, für wie viele Beschäftigte auf Basis der geltenden Prämissen die später getroffenen Aussagen gelten. Dank der Kompetenzen und Erfahrungen der Projektpartner gelingt es, für die meisten Komponenten die betrachtete Wertschöpfungskette zu teilweise deutlich über 50% zu analysieren. Nur für die ICE-Peripherie beträgt der analysierte Anteil der betrachteten Wertschöpfungskette lediglich ein Viertel (vgl. Abbildung 24).

Komponente	ICE	ICE-Peripherie	Automatik- getriebe	Hybrid- getriebe (einschließlich El. Maschine)	Elektrische Maschine (einschließlich Getriebe, ohne Magnete)	Traktions- batterie (ohne Zellen)	Leistungs- elektronik
Analysierter Anteil der Beschäftigung in der jeweils betrachteten Wertschöpfungskette	60 %	25 %	75 %	75 %	85 %	70 %	55 %

Abb. 24: Analysierter Anteil der Beschäftigung in der je Komponente betrachteten Wertschöpfungskette

Um einen möglichst großen Teil des mit der Produktion von Antriebssträngen befassten Personals zu berücksichtigen, umfassen die nachfolgend dargelegten Personalbedarfe direkte, produktionsnahe indirekte sowie indirekte Mitarbeiter. Diese Gruppen unterscheiden sich wie folgt:

- Direkte Mitarbeiter sind Lohnarbeiter, die direkt an der Produktion beteiligt sind.
- Produktionsnahe indirekte Mitarbeiter sind Mitarbeiter, die zwar an der Produktion beteiligt, jedoch nicht direkt beispielsweise mit Montagetätigkeiten beschäftigt sind (70 Prozent Logistik, 20 Prozent Instandhaltung, 10 Prozent Qualitätssicherung).
- Indirekte Mitarbeiter sind Mitarbeiter, die die Produktion planen, jedoch nicht direkt an ihr beteiligt sind (Meister und Planer).

Zur möglichst realitätsnahen Wiedergabe produktionstechnischer Gegebenheiten bildet das Datenmodell des Projekts ELAB 2.0 die Arbeit im Drei-, Zwei- und Einschichtbetrieb genauso ab wie die Arbeit an mehreren Produktionslinien – jeweils unter Berücksichtigung stückzahlabhängiger Verhältnisse. Bezüglich des Schichtbetriebs besagen Theorie und Praxis, dass an einer Produktionslinie der Personalbedarf beim Wechsel vom Drei- über den Zwei- zum Einschichtbetrieb nicht jeweils um ein Drittel sinkt, obwohl das jeweils erreichbare Produktionsvolumen dies tut. Vielmehr gibt es Mitarbeiter, etwa aus der Instandhaltung oder der Planung, die auch bei einem geringeren Produktionsvolumen (entsprechend einem Zwei- oder Einschichtbetrieb) genauso zur Verfügung stehen müssen, wie beim maximal möglichen Produktionsvolumen (entsprechend einem Dreischichtbetrieb). In Abbildung 25 sind die auf Basis des Wissens der Projektpartner im Datenmodell des Projekt ELAB 2.0 angewendeten Bedarfe an direkten, produktionsnahen indirekten und indirekten Mitarbeitern an einer Linie bei Drei-, Zwei- und Einschichtbetrieb zusammengefasst.

Betriebene Schichten	Erreichbares Produktionsvolumen der Linie	Personalbedarf an der Produktionslinie		
		Direkte Mitarbeiter	Produktionsnahe indirekte Mitarbeiter	Indirekte Mitarbeiter
1	33 %	33 %	38 %	75 %
2	67 %	67 %	73 %	100 %
3	100 %	100 %	100 %	100 %

Abb. 25: Personalbedarf an einer Produktionslinie bei Drei-, Zwei- und Einschichtbetrieb im Datenmodell des Projekts ELAB 2.0

## QUANTITATIVE ANALYSE DER BESCHÄFTIGUNGSEFFEKTE IM REFERENZMODELL

Für die Abbildung der Arbeit an mehreren Produktionslinien werden die auf dem Wissen der Projektpartner basierenden, stückzahlabhängigen Verhältnisse ebenfalls beachtet. So sind für eine doppelte Anzahl von Linien zwar auch doppelt so viele direkte Mitarbeiter erforderlich, aber nicht doppelt so viele produktionsnahe indirekte und indirekte Mitarbeiter. Denn Mitarbeiter aus der Instandhaltung oder der Planung können sich auch um mehrere Linien kümmern, sodass nicht jede Linie den gleichen Personalbedarf wie die vorherige hervorruft. Quantitativ ausgedrückt lauten die im Datenmodell des Projekts ELAB 2.0 getroffenen Annahmen für

- direkte Mitarbeiter: Lineare Zunahme des Personalbedarfs über mehrere Linien.
- produktionsnahe indirekte Mitarbeiter: Für jede weitere Linie werden nur noch 50 Prozent der zuvor zusätzlich notwendigen Mitarbeiter aus Instandhaltung und Qualitätssicherung benötigt. Der Zuwachs an Mitarbeitern der Logistik ist linear ausgeprägt. Der Personalbedarf an produktionsnahen indirekten Mitarbeitern über mehrere Linien ist also degressiv ausgeprägt (bei jeder neuen Linie ist der Bedarf 25 Prozent geringer als bei der vorherigen Linie).

- indirekte Mitarbeiter: Bei der ersten Linie beträgt das Verhältnis von Meistern und Planern 1:2. Für die zweite Linie müssen genauso viele Meister, aber nur halb so viele Planer zusätzlich eingestellt werden wie für die erste Linie. Für jede weitere Linie müssen genauso viele Meister, aber nur halb so viele Planer zusätzlich eingestellt werden wie für die vorherige Linie. Der Personalbedarf an indirekten Mitarbeitern über mehrere Linien ist also insgesamt degressiv ausgeprägt.

Die oben für mehrere Produktionslinien beschriebenen Verhältnisse sind in Abbildung 26 mit Hilfe eines fiktiven Beispiels veranschaulicht.

Beschreibungen der oben genannten Verhältnisse finden sich mit anderen Worten im Abschlussbericht des Projekts »ELAB 1.0« (Spath et al., 2012). Die darin erfolgte Berücksichtigung unterschiedlicher Automatisierungsgrade hat für ELAB 2.0 aber keine Relevanz mehr. Denn alle damals teilweise erst im Prototypen-Stadium befindlichen und in Kleinserie gefertigten Komponenten werden mittlerweile an hochautomatisierten Standorten in großen Stückzahlen produziert.

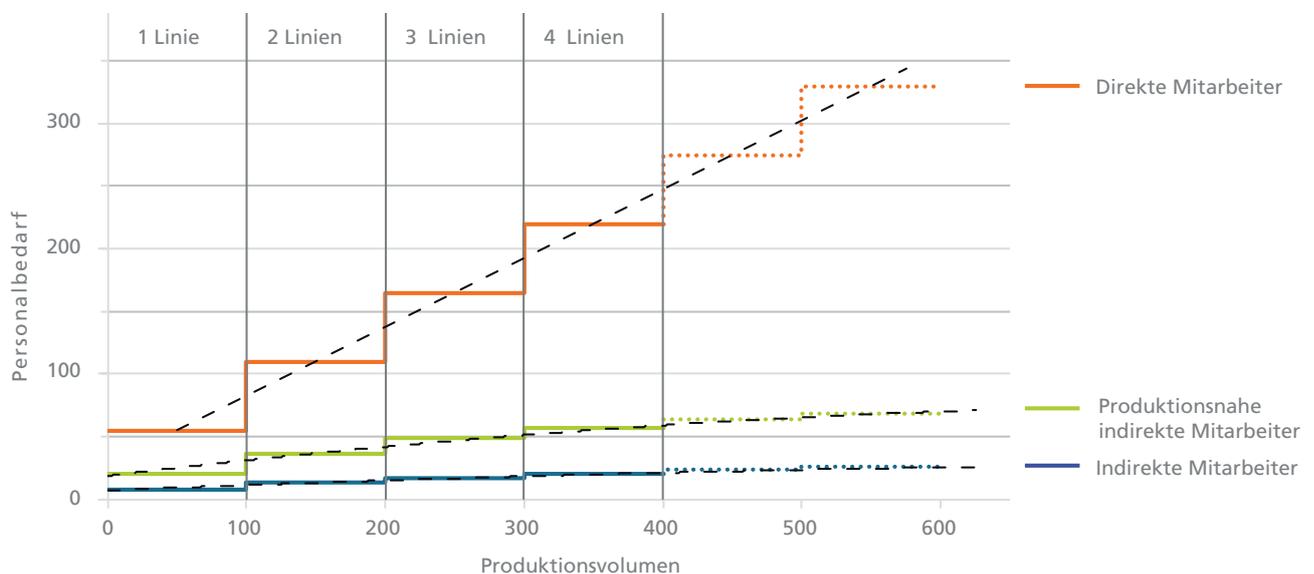


Abb. 26: Entwicklung des Personalbedarfs über mehrere Produktionslinien im Datenmodell des Projekts ELAB 2.0 (fiktives Beispiel)

## QUANTITATIVE ANALYSE DER BESCHÄFTIGUNGS- EFFEKTE IM REFERENZMODELL

Als Referenz-Jahr für die Datenerhebung gilt 2016, da zu Beginn des Projekts ELAB 2.0 im Jahr 2017 noch keine vollumfänglich belastbaren Daten für 2017 verfügbar waren. Die ermittelten Netto-Personalbedarfe für das Jahr 2016 für den analysierten Anteil der Beschäftigung in der betrachteten Wertschöpfungskette und für den Fahrzeugeinbau

zeigt Abbildung 27. Die aufgelisteten Bedarfe sind die Summen aus direkten, produktionsnah indirekten und indirekten Mitarbeitern. Die Einzelwerte für die drei Mitarbeitergruppen können dem Anhang entnommen werden. Unstimmigkeiten bei den Summen sind auf die Rundung auf Vielfache von zehn zurückzuführen.

Herstellung von Komponente	Analysierter Anteil der Beschäftigung in der jeweils betrachteten Wertschöpfungskette	Beschäftigte (netto) im Jahr 2016 bei	
		250 000 Stück / a (1 Linie im Dreischichtbetrieb)	1 000 000 Stück / a (4 Linien im Dreischichtbetrieb)
ICE Benzin (4 Zylinder, 100 kW)	60 %	~ 1140	~ 3990
ICE Diesel (4 Zylinder, 100 kW)	60 %	~ 1150	~ 4030
ICE-Peripherie Benzin (4 Zylinder, 100 kW)	25 %	~ 630	~ 2100
ICE-Peripherie Diesel (4 Zylinder, 100 kW)	25 %	~ 1030	~ 3380
Automatikgetriebe (Doppelkupplung, 6 Gänge)	75 %	~ 940	~ 3360
Hybridgetriebe (Doppelkupplung, 6 Gänge) einschließlich Elektrischer Maschine (synchron, 75 kW)	75 %	~ 1.230	~ 4420
Elektrische Maschine (synchron, 100 kW) einschl. Getriebe, ohne Magnete (nicht in betrachteter WSK)	85 %	~ 530	~ 1840
Traktionsbatterie (60 kWh) ohne Zellen (nicht in betrachteter WSK)	70 %	~ 350	~ 1320
Leistungselektronik	55 %	~ 120	~ 420
Einbau des Antriebsstrangs in das Fahrzeug bei	ICEV	~ 270	~ 900
	PHEV	~ 430	~ 1450
	BEV	~ 210	~ 680

Abb. 27: Personalbedarfe für die Komponentenherstellung bei analysiertem Anteil der Beschäftigung in der jeweils betrachteten Wertschöpfungskette sowie für den Fahrzeugeinbau im Jahr 2016 (netto)

Es besteht kein linearer Zusammenhang zwischen den in Abbildung 27 ausgewiesenen Personalbedarfen bei 250 000 und bei 1 000 000 Stück pro Jahr wegen der zuvor beschriebenen stückzahlabhängigen Verhältnisse bei der Arbeit im Drei-, Zwei- und Einschichtbetrieb sowie bei der Arbeit an mehreren Produktionslinien. Des Weiteren sei hier die zwecks Vereinfachung getroffene Annahme wiederholt, dass der Personalbedarf für die Herstellung einer Batterie mit 0,7 kWh bzw. 10 kWh nicht separat erhoben werden muss, sondern sich als 10 Prozent bzw. 70 Prozent des Personalbedarfs für die Herstellung einer Batterie mit 60 kWh berechnen lässt.

In obenstehender Abbildung 27 ist erneut kenntlich gemacht, dass bei der Traktionsbatterie die Herstellung der Zellen nicht zur betrachteten Wertschöpfungskette zählt. Der Grund dafür ist, dass im Jahr 2016 eine Zellherstellung deutscher Hersteller nicht vorhanden war und auch nicht in Aussicht stand. Selbst bei ihrer Berücksichtigung wären jedoch keine besonders großen Beschäftigungseffekte zu erwarten, da in der Zellherstellung in der Regel ein sehr hoher Automatisierungsgrad vorherrscht (Thüringen, 2018).

### 7.1.3 Netto-/Brutto-Faktoren und angenommene Produktivitätssteigerungen

In Abbildung 27 handelt es sich um Netto-Werte, d. h. Zeit für Urlaub, Krankheit, Verwaltungsaufgaben und sonstige Tätigkeiten ist nicht berücksichtigt. Die im folgenden Kapitel dargestellten Ergebnisse und Saldo-Effekte sind hingegen Brutto-Werte. Sie werden gewonnen mittels Multiplikation der Netto-Werte mit gängigen, auf Erfahrung beruhenden, aus der Praxis gewonnenen Faktoren, die Abbildung 28 zeigt.

Ergänzend zu den Effekten, die aus dem Trend der Dekarbonisierung und damit der Elektrifizierung des Antriebsstrangs resultieren, sollen auch Effekte auf die Beschäftigung in der Herstellung von Antriebssträngen infolge von Produktivitätssteigerungen Berücksichtigung finden. Dabei wird, basierend auf Erfahrungswerten der beteiligten Projektpartner, davon ausgegangen, dass bei den konventionellen Komponenten (Verbrennungsmotor samt Peripherie, Automatik- und Hybridgetriebe) eine Produktivitätssteigerung von 2 Prozent pro Jahr gegenüber 2016 und bei den neuen Komponenten (Elektrische Maschine, Traktionsbatterie, Leistungselektronik) eine Produktivitätssteigerung von 3 Prozent pro Jahr gegenüber 2016 über den Betrachtungszeitraum bis zum Jahr 2030 eintreten wird. Abbildung 29 veranschaulicht die Auswirkung dieser Produktivitätssteigerungen auf die Beschäftigung.

Mitarbeitergruppe	Direkte Mitarbeiter	Produktionsnahe indirekte Mitarbeiter	Indirekte Mitarbeiter
Netto-/Brutto-Faktor	1,35	1,25	1,15

Abb. 28: Netto-/Brutto-Faktor je Mitarbeitergruppe im Projekt ELAB 2.0

## QUANTITATIVE ANALYSE DER BESCHÄFTIGUNGS- EFFEKTE IM REFERENZMODELL

Produktivitätssteigerungen p.a.  
gegenüber dem Jahr 2016

- 2 % (konventionelle Komponenten)
- - - 3 % (neue Komponenten)

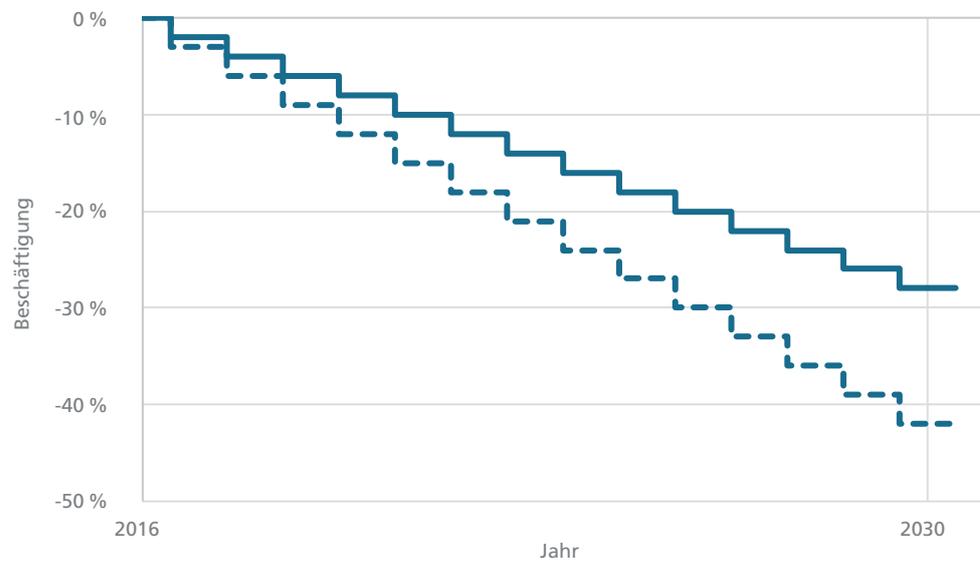


Abb. 29: Im Projekt ELAB 2.0 angenommene Produktivitätssteigerungen und ihre Wirkung auf die Beschäftigung

## 7.2 PERSONALBEDARF IM JAHR 2017 UND WIRKUNG DER PRODUKTIVITÄTSSTEIGERUNGEN

Als ein erstes Ergebnis lässt sich unter den Prämissen des Projekts ELAB 2.0 – Betrachtung eines Teils der Herstellung von Antriebssträngen bei einer fixen Ausbringungsmenge von einer Million Antriebssträngen – der Brutto-Gesamt-Personalbedarf im Jahr 2017 gewinnen. Hierzu erfolgt eine Kombination der im Kapitel 7.1.1 aufgezeigten Szenarien, Antriebsstrang-Typen und Komponenten mit den im Kapitel 7.1.2 genannten Netto-Personalbedarfen, die je Komponente für den analysierten Anteil der Beschäftigung in der betrachteten Wertschöpfungskette gelten und auf stückzahlabhängigen Verhältnissen beruhen, multipliziert mit den im Kapitel 7.1.3 erwähnten Netto-/Brutto-Faktoren. Dies führt, zu einem Brutto-Gesamt-Personalbedarf im Jahr 2017 in Höhe von knapp 17 320 Beschäftigten, wie Abbildung 30 zusammenfasst, der für alle Szenarien identisch ist. Denn in allen Szenarien liegt

im Jahr 2017 der Anteil der PHEV bei ca. 2 Prozent und der Anteil der BEV bei knapp 1 Prozent (vgl. Abbildung 20). Dieser Brutto-Gesamt-Personalbedarf ohne Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen umfasst 15 220 Beschäftigte für ICEV, 1 660 Beschäftigte für PHEV und 440 Beschäftigte für BEV.

Der genannte Personalbedarf im Jahr 2017 gilt auch für das Jahr 2016 in allen Szenarien, da sich die Anteile dazwischen nur unwesentlich verschieben. Werden hierauf die in Kapitel 7.1.3 beschriebenen Annahmen angewendet, ergibt sich der Brutto-Gesamt-Personalbedarf im Jahr 2017 unter Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen. Dieser liegt für alle Szenarien bei ca. 16 970 Beschäftigten (14 920 für ICEV, 1 620 für PHEV und 430 für BEV), wie Abbildung 31 zusammenfasst.

		Szenario 1, 2 und 3 (im Jahr 2017 je 2 % PHEV- und 1 % BEV-Anteil)
Brutto-Gesamt-Personalbedarf im Jahr 2017 unter den Prämissen des Projekts ELAB 2.0 OHNE Produktivitätssteigerungen		17 320 Beschäftigte
Brutto-Personalbedarf im Jahr 2017 unter den Prämissen von ELAB 2.0 OHNE Produktivitätssteigerungen	ICEV PHEV BEV	15 220 Beschäftigte 1 660 Beschäftigte 440 Beschäftigte

Abb. 30: Brutto-Personalbedarf im Jahr 2017 in allen Szenarien ohne Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen

		Szenario 1, 2 und 3 (im 2017 je 2 % PHEV- und 1 % BEV-Anteil)
Brutto-Gesamt-Personalbedarf im Jahr 2017 unter den Prämissen des Projekts ELAB 2.0 MIT Produktivitätssteigerungen		16 970 Beschäftigte
Brutto-Personalbedarf im Jahr 2017 unter den Prämissen von ELAB 2.0 MIT Produktivitätssteigerungen	ICEV PHEV BEV	14 920 Beschäftigte 1 620 Beschäftigte 430 Beschäftigte

Abb. 31: Brutto-Personalbedarf im Jahr 2017 in allen Szenarien mit Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen

Bildet man die Differenz der in Abbildung 30 und Abbildung 31 genannten Bedarfe und zieht sie in jedem Jahr des Betrachtungszeitraums des Projekts ELAB 2.0 erneut ab, ergibt sich die Baseline der Produktivitätssteigerungen. Es handelt sich dabei also um eine Anwendung der Effekte durch Produktivitätssteigerungen auf eine ab dem Jahr 2017 über den

gesamten Betrachtungszeitraum konstant bleibende Verteilung produzierter Stückzahlen auf die Antriebsstränge (2 Prozent PHEV- und 1 Prozent BEV-Anteil). Die Baseline zeigt einen Rückgang des Brutto-Gesamt-Personalbedarfs bis zum Jahr 2025 um ca. 17 Prozent und bis zum Jahr 2030 um ca. 27 Prozent gegenüber dem Jahr 2030, wie die folgende Abbildung 32 zeigt.

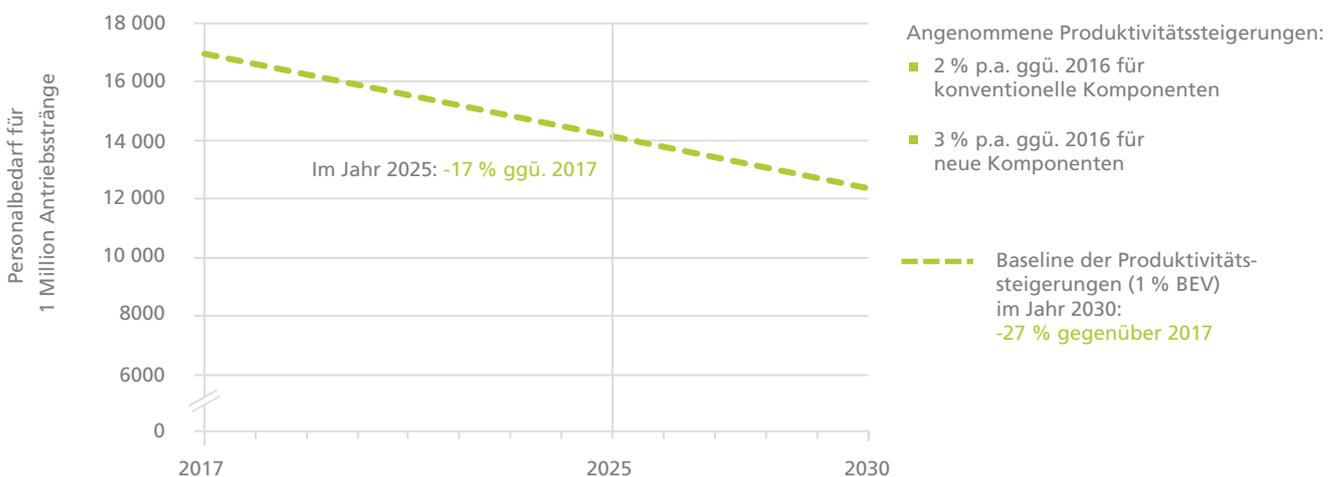


Abb. 32: Baseline der Produktivitätssteigerungen unter den Prämissen des Projekts ELAB 2.0

### 7.3 EFFEKTE IN DEN SZENARIEN

Nach Darstellung und Erläuterung aller Daten und Annahmen werden in diesem Kapitel für Szenario 1, 2 und 3 jeweils ohne und mit Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen stets nach demselben Schema in Form von Brutto-Werten aufgezeigt:

- der Saldo des Personalbedarfs über alle Antriebsstränge, Komponenten und Mitarbeitergruppen über den Betrachtungszeitraum des Projekts ELAB 2.0,
- die Aufteilung der Bedarfe auf die untersuchten Antriebsstränge ICEV, PHEV und BEV unter Angabe der prozentualen Veränderungen gegenüber dem Jahr 2017,

- im Detail für alle Antriebsstränge und Komponenten die jeweiligen Personalbedarfe im Jahr 2017 sowie in den Stützjahren 2025 und 2030.

Sämtlichen nachfolgend genannten und beschriebenen Ergebnissen liegen die insbesondere in den Kapiteln 3 und 7.1 aufgeführten Prämissen des Projekts ELAB 2.0 zugrunde. Untersuchungsraum ist die Herstellung von Antriebssträngen. Effekte durch die Elektrifizierung der Antriebe oder sonstiges, die in anderen Unternehmensbereichen, Industrieteilen, Branchen oder sonst wo eintreten könnten, sind nicht berücksichtigt.

### 7.3.1 Ermittelte Effekte Szenario 1 (25 % BEV)

Nachfolgend werden die Veränderungen beim Personalbedarf infolge der Elektrifizierung des Antriebsstrangs in Szenario 1 behandelt. Effekte durch Produktivitätssteigerungen sind hier noch nicht berücksichtigt.

Die Abbildung 33 zeigt den Saldo des Personalbedarfs über alle Antriebsstränge, Komponenten und Mitarbeitergruppen über den Betrachtungszeitraum des Projekts ELAB 2.0. Es wird gegenüber dem Jahr 2017 bis zum Jahr 2025 ein Rückgang um 7 Prozent und bis zum Jahr 2030 ein Rückgang um 11 Prozent deutlich.

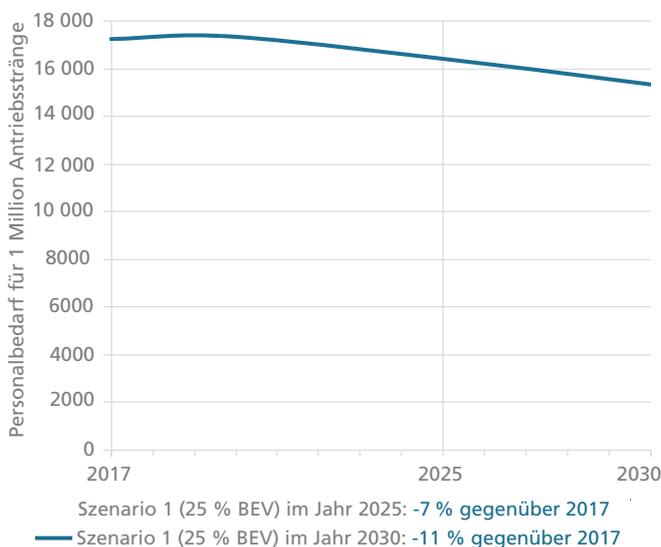


Abb. 33: Saldo des Personalbedarfs in Szenario 1 ohne Produktivitätssteigerungen

Die Abbildung 34 zeigt für das Jahr 2017 sowie für die Stützjahre 2025 und 2030 zum einen den jeweiligen Gesamt-Personalbedarf. Des Weiteren wird die Aufteilung der Bedarfe auf die untersuchten Antriebsstränge ICEV, PHEV und BEV veranschaulicht. In Ergänzung dazu sind außerdem Angaben enthalten, wie sich die Bedarfe gegenüber dem Jahr 2017 prozentual verändern. Bezugsgröße ist einmal der Gesamt-

Personalbedarf im Jahr 2017 und einmal der Bedarf je Antriebsstrang im Jahr 2017. Die auf den Gesamt-Personalbedarf bezogenen Werte können wegen der gemeinsamen Bezugsgröße addiert werden. Die Summen finden sich bereits in der voranstehenden Abbildung.

Veränderungen bezogen auf den jeweiligen Bedarf im Jahr 2017:

	2025	2030
BEV	+118 %	+220 %
PHEV	+76 %	+102 %
ICEV	-19 %	-30 %

Veränderungen bezogen auf den Gesamt-Bedarf im Jahr 2017:

	2025	2030
BEV	+3 %	+5 %
PHEV	+7 %	+10 %
ICEV	-17 %	-26 %
<b>Saldo</b>	<b>-7 %</b>	<b>-11 %</b>

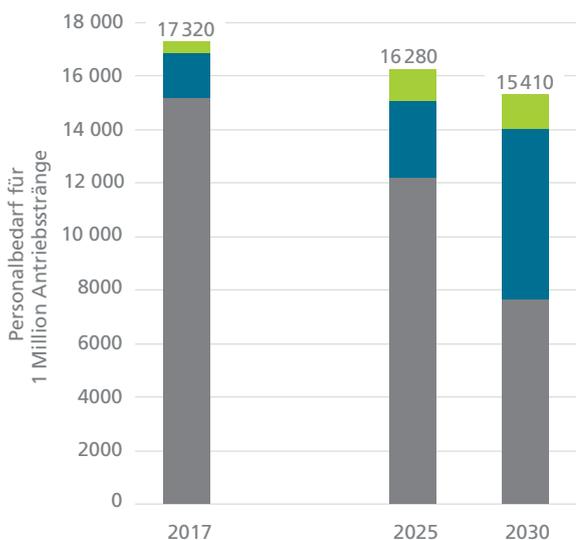


Abb. 34: Verteilung der Personalbedarfe auf die Antriebsstränge und Veränderung gegenüber 2017 in Szenario 1 ohne Produktivitätssteigerungen (■ ICEV Benzin und Diesel einschließlich MHEV, ■ PHEV einschließlich HEV, ■ BEV)

## QUANTITATIVE ANALYSE DER BESCHÄFTIGUNGS- EFFEKTE IM REFERENZMODELL

Die Abbildung 35 zeigt schließlich noch im Detail für alle Antriebsstränge und Komponenten die jeweiligen Personalbedarfe im Jahr 2017 sowie in den Stützjahren 2025 und 2030. Unstimmigkeiten bei Summen sind eine Folge der Rundung auf Vielfache von zehn.

Szenario 1 OHNE Produktivitätssteigerungen	Jahr	Stück	ICE Benzin	ICE-Peripherie Benzin	ICE Diesel	ICE-Peripherie Diesel	Automatikgetriebe	Hybridgetriebe	Elektrische Maschine	Traktionsbatterie	Leistungselektronik	Summe	Einbau	Summe		
			60 %	25 %	60 %	25 %	75 %	75 %	85 %	70 %	55 %					
ICEV Benzin (100 kW ICE, Peripherie, Automatikgetriebe)	2017	462 550	2320	1190			1840					5350	1160	15 220		
	2025	266 940	1430	770			1230					3430	910	12 260		
	2030	110 000	960	520			780					2260	840	10 650		
ICEV Benzin MHEV (wie oben + 0,7 kWh Batterie, DC/DC-Wandler)	2017	24 310	480	280			370			40	10	1190	zusammen mit ICEV Benzin	Summen über alle ICEV →		
	2025	186 610	1070	560			910			90	100	2740				
	2030	330 000	1780	920			1460			120	180	4460				
ICEV Diesel (100 kW ICE, Peripherie, Automatikgetriebe)	2017	474 740			2360	1940	1840					6140			zusammen mit ICEV Benzin	Summen über alle ICEV →
	2025	239 470			1440	1220	910					3580				
	2030	80 000			540	500	420					1460				
ICEV Diesel MHEV (wie oben + 0,7 kWh Batterie, DC/DC-Wandler)	2017	8120			480	470	370			40	10	1390	zusammen mit ICEV Benzin	Summen über alle ICEV →		
	2025	56 980			560	550	350			90	40	1610				
	2030	80 000			540	500	420			120	50	1630				
PHEV (100 kW ICE, 75 kW El. Maschine, 10 kWh Batt., DC/DC-Wandler)	2017	21 060	480	280				610		40	10	1430			230	1660
	2025	100 000	770	430				1140		90	70	2510			410	2920
	2030	150 000	960	520				1140		220	100	2930			410	3350
BEV (100 kW El. Maschine, 60 kWh Batterie, DC/DC-Wandler)	2017	9220							270	40	10	330	110	440		
	2025	150 000							500	180	70	760	200	960		
	2030	250 000							690	320	140	1140	270	1410		
Summe	2017	1 000 000	3270	1760	2840	2420	4420	610	270	170	60	15 820	1500	17 320		
	2025	1 000 000	3270	1760	2000	1780	3410	1140	500	460	290	14 620	1530	16 150		
	2030	1 000 000	3690	1960	1080	1000	3090	1140	690	770	470	13 890	1520	15 410		

Abb. 35: Brutto-Personalbedarfe je Antriebsstrang und Komponente für eine Million Antriebsstränge im betrachteten Produktionsmix in den Jahren 2017, 2025 und 2030 in Szenario 1 ohne Produktivitätssteigerungen

## QUANTITATIVE ANALYSE DER BESCHÄFTIGUNGSEFFEKTE IM REFERENZMODELL

Nachfolgend werden zusätzlich zu den Veränderungen beim Personalbedarf infolge der Elektrifizierung des Antriebsstrangs die Effekte von Produktivitätssteigerungen in Szenario 1 behandelt.

Die Abbildung 36 zeigt den Saldo des Personalbedarfs über alle Antriebsstränge, Komponenten und Mitarbeitergruppen über den Betrachtungszeitraum des Projekts ELAB 2.0. Es wird gegenüber dem Jahr 2017 bis zum Jahr 2025 ein Rückgang um 23 Prozent und bis zum Jahr 2030 ein Rückgang um 37 Prozent deutlich. Zum Vergleich ist auch die Baseline der Produktivitätssteigerungen dargestellt (vgl. Abbildung 32).

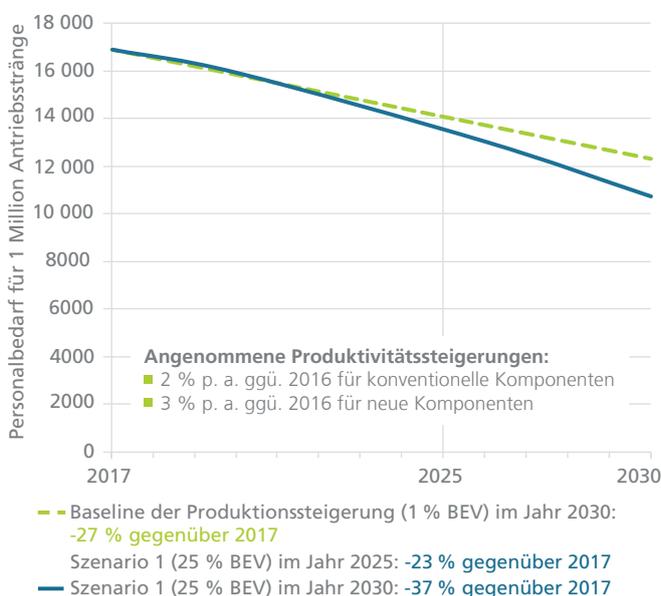


Abb. 36: Saldo des Personalbedarfs in Szenario 1 mit Produktivitätssteigerungen

Die Abbildung 37 zeigt für das Jahr 2017 sowie für die Stützjahre 2025 und 2030 zum einen den jeweiligen Gesamt-Personalbedarf. Des Weiteren wird die Aufteilung der Bedarfe auf die untersuchten Antriebsstränge ICEV, PHEV und BEV veranschaulicht. In Ergänzung dazu sind außerdem Angaben enthalten, wie sich die Bedarfe gegenüber dem Jahr 2017

prozentual verändern. Bezugsgröße ist einmal der Gesamt-Personalbedarf im Jahr 2017 und einmal der Bedarf je Antriebsstrang im Jahr 2017. Die auf den Gesamt-Personalbedarf bezogenen Werte können wegen der gemeinsamen Bezugsgröße addiert werden. Die Summen finden sich bereits in der voranstehenden Abbildung.

Veränderungen bezogen auf den jeweiligen Bedarf im Jahr 2017:

	2025	2030
BEV	+63 %	+86 %
PHEV	+48 %	+45 %
ICEV	-33 %	-49 %

Veränderungen bezogen auf den Gesamt-Bedarf im Jahr 2017:

	2025	2030
BEV	+2 %	+2 %
PHEV	+4 %	+4 %
ICEV	-29 %	-43 %
<b>Saldo</b>	<b>-23 %</b>	<b>-37 %</b>

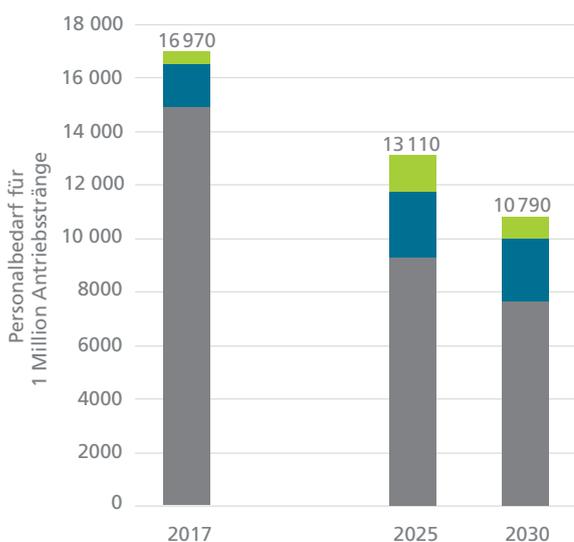


Abb. 37: Verteilung der Personalbedarfe auf die Antriebsstränge und Veränderung gegenüber 2017 in Szenario 1 mit Produktivitätssteigerungen (■ ICEV Benzin und Diesel einschließlich MHEV, ■ PHEV einschließlich HEV, ■ BEV)

## QUANTITATIVE ANALYSE DER BESCHÄFTIGUNGS- EFFEKTE IM REFERENZMODELL

Die Abbildung 38 zeigt schließlich noch im Detail für alle Antriebsstränge und Komponenten die jeweiligen Personalbedarfe im Jahr 2017 sowie in den Stützjahren 2025 und 2030. Unstimmigkeiten bei Summen sind eine Folge der Rundung auf Vielfache von zehn.

Szenario 1 MIT Produktivitätssteigerungen	Jahr	Stück	ICE Benzin	ICE-Peripherie Benzin	ICE Diesel	ICE-Peripherie Diesel	Automatikgetriebe	Hybridgetriebe	Elektrische Maschine	Traktionsbatterie	Leistungselektronik	Summe	Einbau	Summe		
			60 %	25 %	60 %	25 %	75 %	75 %	85 %	70 %	55 %					
ICEV Benzin (100 kW ICE, Peripherie, Automatikgetriebe)	2017	462 550	2270	1160			1800					5240	1140	14 920		
	2025	266 940	1180	630			1010					2810	750	10 020		
	2030	110 000	690	370			560					1630	600	7 640		
ICEV Benzin MHEV (wie oben + 0,7 kWh Batterie, DC/DC-Wandler)	2017	24 310	470	280			360			40	10	1170	zusammen mit ICEV Benzin	Summen über alle ICEV ↑		
	2025	186 610	880	460			750			70	70	2230				
	2030	330 000	1280	660			1050			80	120	3190				
ICEV Diesel (100 kW ICE, Peripherie, Automatikgetriebe)	2017	474 740			2310	1900	1800					6010			zusammen mit ICEV Benzin	Summen über alle ICEV ↑
	2025	239 470			1180	1000	750					2930				
	2030	80 000			390	360	300					1050				
ICEV Diesel MHEV (wie oben + 0,7 kWh Batterie, DC/DC-Wandler)	2017	8120			470	460	360			40	10	1360	zusammen mit ICEV Benzin	Summen über alle ICEV ↑		
	2025	56 980			460	450	290			70	30	1300				
	2030	80 000			390	360	300			80	30	1160				
PHEV (100 kW ICE, 75 kW El. Maschine, 10 kWh Batt., DC/DC-Wandler)	2017	21 060	470	280				600		40	10	1400			220	1620
	2025	100 000	630	350				940		80	60	2060			340	2390
	2030	150 000	690	370				820		120	50	2050			300	2350
BEV (100 kW El. Maschine, 60 kWh Batterie, DC/DC-Wandler)	2017	9220							260	40	10	320	110	430		
	2025	150 000							370	130	50	550	150	700		
	2030	250 000							400	170	70	640	160	800		
Summe	2017	1 000 000	3210	1720	2780	2370	4330	600	260	170	60	15 500	1470	16 970		
	2025	1 000 000	2680	1440	1640	1460	2800	940	370	340	210	11 870	1240	13 110		
	2030	1 000 000	2650	1410	770	720	2230	820	400	450	270	9730	1060	10 780		

Abb. 38: Brutto-Personalbedarfe je Antriebsstrang und Komponente für eine Million Antriebsstränge im betrachteten Produktionsmix in den Jahren 2017, 2025 und 2030 in Szenario 1 mit Produktivitätssteigerungen

### 7.3.2 Ermittelte Effekte Szenario 2 (40 % BEV)

Nachfolgend werden die Veränderungen beim Personalbedarf infolge der Elektrifizierung des Antriebsstrangs in Szenario 2 behandelt. Effekte durch Produktivitätssteigerungen sind hier noch nicht berücksichtigt.

Die Abbildung 39 zeigt den Saldo des Personalbedarfs über alle Antriebsstränge, Komponenten und Mitarbeitergruppen über den Betrachtungszeitraum des Projekts ELAB 2.0. Es wird gegenüber dem Jahr 2017 bis zum Jahr 2025 ein Rückgang um 9 Prozent und bis zum Jahr 2030 ein Rückgang um 18 Prozent deutlich.

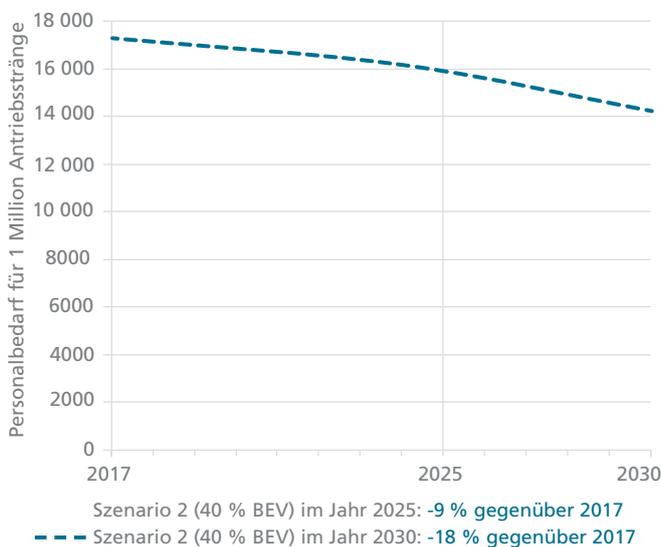


Abb. 39: Saldo des Personalbedarfs in Szenario 2 ohne Produktivitätssteigerungen

Die Abbildung 40 zeigt für das Jahr 2017 sowie für die Stützjahre 2025 und 2030 zum einen den jeweiligen Gesamt-Personalbedarf. Des Weiteren wird die Aufteilung der Bedarfe auf die untersuchten Antriebsstränge ICEV, PHEV und BEV veranschaulicht. In Ergänzung dazu sind außerdem Angaben enthalten, wie sich die Bedarfe gegenüber dem Jahr 2017 prozentual verändern. Bezugsgröße ist einmal der Gesamt-

Personalbedarf im Jahr 2017 und einmal der Bedarf je Antriebsstrang im Jahr 2017. Die auf den Gesamt-Personalbedarf bezogenen Werte können wegen der gemeinsamen Bezugsgröße addiert werden. Die Summen finden sich bereits in der voranstehenden Abbildung.

Veränderungen bezogen auf den jeweiligen Bedarf im Jahr 2017:

	2025	2030
BEV	+209 %	+432 %
PHEV	+82 %	+160 %
ICEV	-25 %	-50 %

Veränderungen bezogen auf den Gesamt-Bedarf im Jahr 2017:

	2025	2030
BEV	+5 %	+11 %
PHEV	+8 %	+15 %
ICEV	-22 %	-44 %
<b>Saldo</b>	<b>-9 %</b>	<b>-18 %</b>

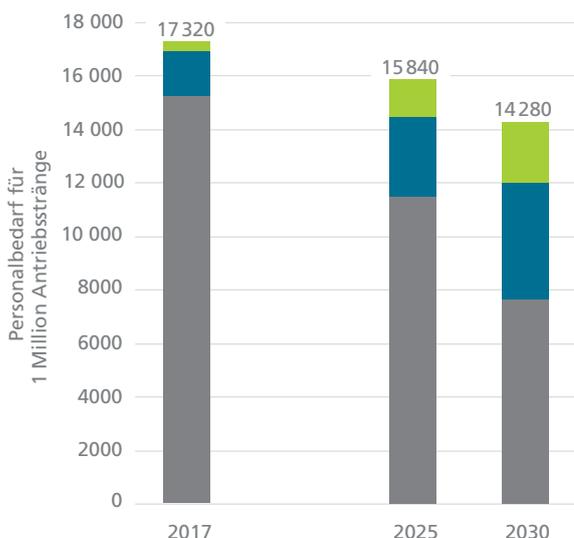


Abb. 40: Verteilung der Personalbedarfe auf die Antriebsstränge und Veränderung gegenüber 2017 in Szenario 2 ohne Produktivitätssteigerungen (■ ICEV Benzin und Diesel einschließlich MHEV, ■ PHEV einschließlich HEV, ■ BEV)

## QUANTITATIVE ANALYSE DER BESCHÄFTIGUNGSEFFEKTE IM REFERENZMODELL

Die Abbildung 41 zeigt schließlich noch im Detail für alle Antriebsstränge und Komponenten die jeweiligen Personalbedarfe im Jahr 2017 sowie in den Stützjahren 2025 und 2030. Unstimmigkeiten bei Summen sind eine Folge der Rundung auf Vielfache von zehn.

Szenario 2 OHNE Produktivitätssteigerungen	Jahr	Stück	ICE Benzin	ICE-Peripherie Benzin	ICE Diesel	ICE-Peripherie Diesel	Automatikgetriebe	Hybridgetriebe	Elektrische Maschine	Traktionsbatterie	Leistungselektronik	Summe	Einbau	Summe		
			60 %	25 %	60 %	25 %	75 %	75 %	85 %	70 %	55 %					
ICEV Benzin (100 kW ICE, Peripherie, Automatikgetriebe)	2017	460 860	2320	1190			1840					5350	1160	15 220		
	2025	245 930	1150	590			990					2730	910	11 460		
	2030	70 000	460	270			360					1100	560	7 620		
ICEV Benzin MHEV (wie oben + 0,7 kWh Batterie, DC/DC-Wandler)	2017	20 090	480	280			370			40	10	1190	zusammen mit ICEV Benzin	Summen über alle ICEV →		
	2025	127 330	830	450			710			110	70	2180				
	2030	210 000	1180	610			940			130	130	2980				
ICEV Diesel (100 kW ICE, Peripherie, Automatikgetriebe)	2017	478 680			2360	1940	1840					6140			zusammen mit ICEV Benzin	Summen über alle ICEV →
	2025	286 380			1550	1340	1330					4210				
	2030	60 000			540	500	360					1400				
ICEV Diesel MHEV (wie oben + 0,7 kWh Batterie, DC/DC-Wandler)	2017	8930			480	470	370			40	10	1390	zusammen mit ICEV Benzin	Summen über alle ICEV →		
	2025	40 360			450	440	380			110	40	1430				
	2030	60 000			540	500	360			130	50	1580				
PHEV (100 kW ICE, 75 kW El. Maschine, 10 kWh Batt., DC/DC-Wandler)	2017	20 840	480	280				610		40	10	1430			230	1660
	2025	100 000	830	450				1140		110	70	2610			410	3020
	2030	200 000	1180	610				1610		240	130	3760			560	4320
BEV (100 kW El. Maschine, 60 kWh Batterie, DC/DC-Wandler)	2017	10 610							270	40	10	330	110	440		
	2025	200 010							690	300	100	1090	270	1360		
	2030	400 000							1130	570	210	1900	440	2340		
Summe	2017	1 000 000	3270	1760	2840	2420	4420	610	270	170	60	15 820	1500	17 320		
	2025	1 000 000	2810	1500	2000	1780	3410	1140	690	620	290	14 250	1590	15 850		
	2030	1 000 000	2810	1500	1080	1000	2030	1610	1130	1060	510	12 720	1560	14 280		

Abb. 41: Brutto-Personalbedarfe je Antriebsstrang und Komponente für eine Million Antriebsstränge im betrachteten Produktionsmix in den Jahren 2017, 2025 und 2030 in Szenario 2 ohne Produktivitätssteigerungen

## QUANTITATIVE ANALYSE DER BESCHÄFTIGUNGSEFFEKTE IM REFERENZMODELL

Nachfolgend werden zusätzlich zu den Veränderungen beim Personalbedarf infolge der Elektrifizierung des Antriebsstrangs die Effekte von Produktivitätssteigerungen in Szenario 2 behandelt.

Die Abbildung 42 zeigt den Saldo des Personalbedarfs über alle Antriebsstränge, Komponenten und Mitarbeitergruppen über den Betrachtungszeitraum des Projekts ELAB 2.0. Es wird gegenüber dem Jahr 2017 bis zum Jahr 2025 ein Rückgang um 24 Prozent und bis zum Jahr 2030 ein Rückgang um 40 Prozent deutlich. Zum Vergleich ist auch die Baseline der Produktivitätssteigerungen dargestellt (vgl. Abbildung 32).

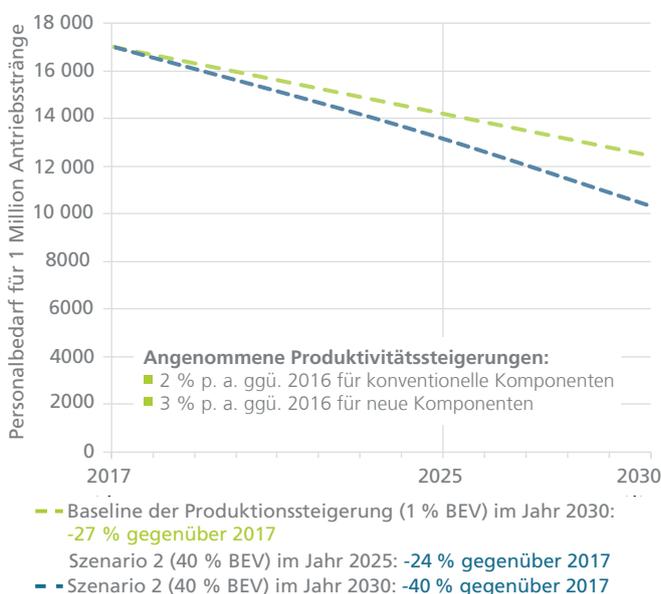


Abb. 42: Saldo des Personalbedarfs in Szenario 2 mit Produktivitätssteigerungen

Die Abbildung 43 zeigt für das Jahr 2017 sowie für die Stützjahre 2025 und 2030 zum einen den jeweiligen Gesamt-Personalbedarf. Des Weiteren wird die Aufteilung der Bedarfe auf die untersuchten Antriebsstränge ICEV, PHEV und BEV veranschaulicht. In Ergänzung dazu sind außerdem Angaben enthalten, wie sich die Bedarfe gegenüber dem Jahr 2017

prozentual verändern. Bezugsgröße ist einmal der Gesamt-Personalbedarf im Jahr 2017 und einmal der Bedarf je Antriebsstrang im Jahr 2017. Die auf den Gesamt-Personalbedarf bezogenen Werte können wegen der gemeinsamen Bezugsgröße addiert werden. Die Summen finden sich bereits in der voranstehenden Abbildung.

Veränderungen bezogen auf den jeweiligen Bedarf im Jahr 2017:

	2025	2030
BEV	+153 %	+277 %
PHEV	+53 %	+92 %
ICEV	-37 %	-63 %

Veränderungen bezogen auf den Gesamt-Bedarf im Jahr 2017:

	2025	2030
BEV	+4 %	+7 %
PHEV	+5 %	+9 %
ICEV	-33 %	-56 %
<b>Saldo</b>	<b>-24 %</b>	<b>-40 %</b>

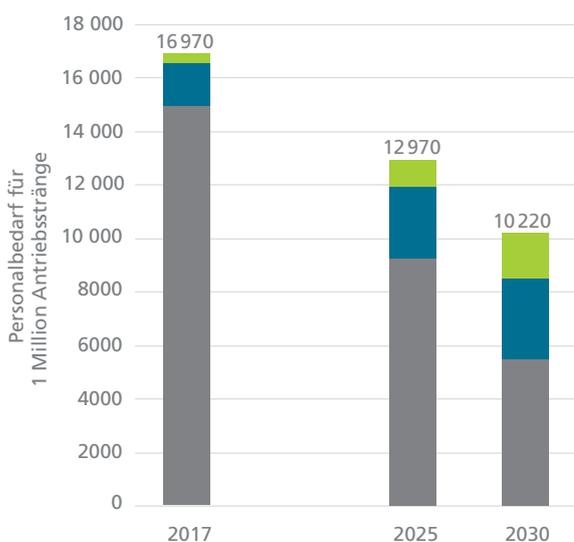


Abb. 43: Verteilung der Personalbedarfe auf die Antriebsstränge und Veränderung gegenüber 2017 in Szenario 2 mit Produktivitätssteigerungen (■ ICEV Benzin und Diesel einschließlich MHEV, ■ PHEV einschließlich HEV, ■ BEV)

## QUANTITATIVE ANALYSE DER BESCHÄFTIGUNGS- EFFEKTE IM REFERENZMODELL

Die Abbildung 44 zeigt schließlich noch im Detail für alle Antriebsstränge und Komponenten die jeweiligen Personalbedarfe im Jahr 2017 sowie in den Stützjahren 2025 und 2030. Unstimmigkeiten bei Summen sind eine Folge der Rundung auf Vielfache von zehn.

Szenario 2 MIT Produktivitätssteigerungen	Jahr	Stück	ICE Benzin	ICE-Peripherie Benzin	ICE Diesel	ICE-Peripherie Diesel	Automatikgetriebe	Hybridgetriebe	Elektrische Maschine	Traktionsbatterie	Leistungselektronik	Summe	Einbau	Summe		
			60 %	25 %	60 %	25 %	75 %	75 %	85 %	70 %	55 %					
ICEV Benzin (100 kW ICE, Peripherie, Automatikgetriebe)	2017	460 860	2270	1160			1800					5240	1140	14 920		
	2025	245 930	940	490			810					2240	750	9 400		
	2030	70 000	330	200			260					790	410	5 490		
ICEV Benzin MHEV (wie oben + 0,7 kWh Batterie, DC/DC-Wandler)	2017	20 090	470	280			360			40	10	1170	zusammen mit ICEV Benzin	Summen über alle ICEV ↑		
	2025	127 330	680	370			580			90	60	1790				
	2030	210 000	850	440			670			90	90	2140				
ICEV Diesel (100 kW ICE, Peripherie, Automatikgetriebe)	2017	478 680			2310	1900	1800					6010			zusammen mit ICEV Benzin	Summen über alle ICEV ↑
	2025	286 380			1270	1090	1090					3450				
	2030	60 000			390	360	260					1010				
ICEV Diesel MHEV (wie oben + 0,7 kWh Batterie, DC/DC-Wandler)	2017	8930			470	460	360			40	10	1360	zusammen mit ICEV Benzin	Summen über alle ICEV ↑		
	2025	40 360			370	360	310			90	30	1170				
	2030	60 000			390	360	260			90	30	1140				
PHEV (100 kW ICE, 75 kW El. Maschine, 10 kWh Batt., DC/DC-Wandler)	2017	20 840	470	280				600		40	10	1400			220	1620
	2025	100 000	680	370				940		90	60	2140			340	2480
	2030	200 000	850	440				1160		170	90	2710			400	3110
BEV (100 kW El. Maschine, 60 kWh Batterie, DC/DC-Wandler)	2017	10 610							270	40	10	320	110	430		
	2025	200 010							570	240	90	890	200	1090		
	2030	400 000							810	410	150	1370	250	1620		
Summe	2017	1 000 000	3210	1720	2780	2370	4330	600	270	170	60	15 500	1470	16 970		
	2025	1 000 000	2310	1230	1640	1460	2800	940	570	510	240	11 690	1280	12 970		
	2030	1 000 000	2030	1080	770	720	1460	1160	810	760	370	9160	1060	10 220		

Abb. 44: Brutto-Personalbedarfe je Antriebsstrang und Komponente für eine Million Antriebsstränge im betrachteten Produktionsmix in den Jahren 2017, 2025 und 2030 in Szenario 2 mit Produktivitätssteigerungen

### 7.3.3 Ermittelte Effekte Szenario 3 (80 % BEV)

Nachfolgend werden die Veränderungen beim Personalbedarf infolge der Elektrifizierung des Antriebsstrangs in Szenario 3 behandelt. Effekte durch Produktivitätssteigerungen sind hier noch nicht berücksichtigt.

Die Abbildung 45 zeigt den Saldo des Personalbedarfs über alle Antriebsstränge, Komponenten und Mitarbeitergruppen über den Betrachtungszeitraum des Projekts ELAB 2.0. Es wird gegenüber dem Jahr 2017 bis zum Jahr 2025 ein Rückgang um 20 Prozent und bis zum Jahr 2030 ein Rückgang um 35 Prozent deutlich.

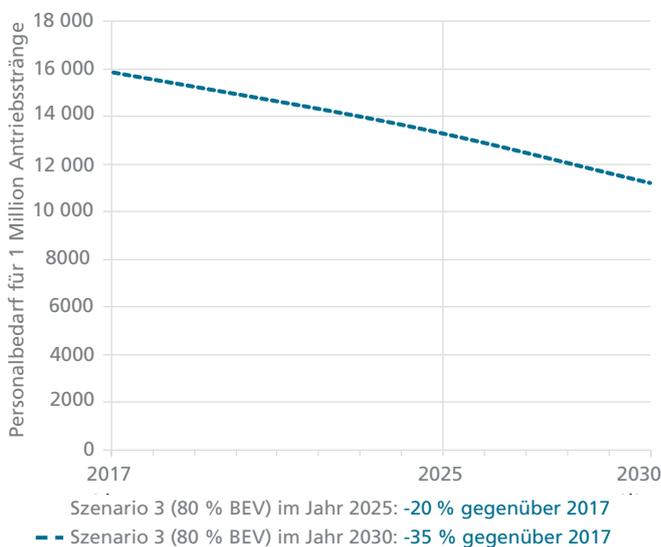


Abb. 45: Saldo des Personalbedarfs in Szenario 3 ohne Produktivitätssteigerungen

Die Abbildung 46 zeigt für das Jahr 2017 sowie für die Stützjahre 2025 und 2030 zum einen den jeweiligen Gesamt-Personalbedarf. Des Weiteren wird die Aufteilung der Bedarfe auf die untersuchten Antriebsstränge ICEV, PHEV und BEV veranschaulicht. In Ergänzung dazu sind außerdem Angaben enthalten, wie sich die Bedarfe gegenüber dem Jahr 2017 prozentual verändern. Bezugsgröße ist einmal der Gesamt-

Personalbedarf im Jahr 2017 und einmal der Bedarf je Antriebsstrang in 2017. Die auf den Gesamt-Personalbedarf bezogenen Werte können wegen der gemeinsamen Bezugsgröße addiert werden. Die Summen finden sich bereits in der voranstehenden Abbildung.

Veränderungen bezogen auf den jeweiligen Bedarf im Jahr 2017:

	2025	2030
BEV	+420 %	+900 %
PHEV	+72 %	+72 %
ICEV	-42 %	-74 %

Veränderungen bezogen auf den Gesamt-Bedarf im Jahr 2017:

	2025	2030
BEV	+10 %	+23 %
PHEV	+7 %	+7 %
ICEV	-37 %	-65 %
<b>Saldo</b>	<b>-20 %</b>	<b>-35 %</b>

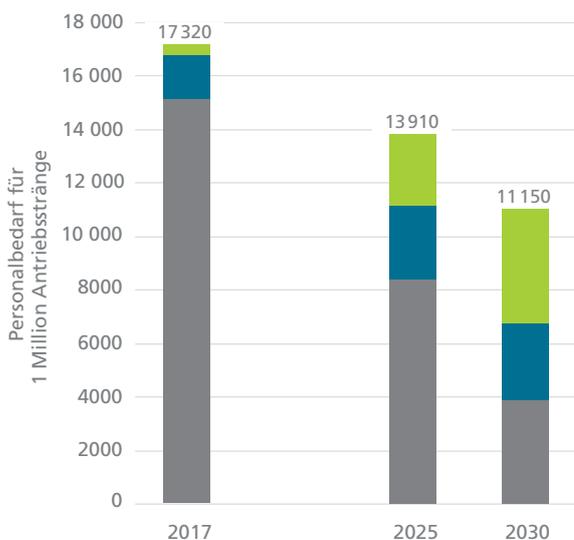


Abb. 46: Verteilung der Personalbedarfe auf die Antriebsstränge und Veränderung gegenüber 2017 in Szenario 3 ohne Produktivitätssteigerungen (■ ICEV Benzin und Diesel einschließlich MHEV, ■ PHEV einschließlich HEV, ■ BEV)

## QUANTITATIVE ANALYSE DER BESCHÄFTIGUNGS- EFFEKTE IM REFERENZMODELL

Die Abbildung 47 zeigt schließlich noch im Detail für alle Antriebsstränge und Komponenten die jeweiligen Personalbedarfe im Jahr 2017 sowie in den Stützjahren 2025 und 2030. Unstimmigkeiten bei Summen sind eine Folge der Rundung auf Vielfache von zehn.

Szenario 3 OHNE Produktivitätssteigerungen	Jahr	Stück	ICE Benzin	ICE-Peripherie Benzin	ICE Diesel	ICE-Peripherie Diesel	Automatikgetriebe	Hybridgetriebe	Elektrische Maschine	Traktionsbatterie	Leistungselektronik	Summe	Einbau	Summe		
			60 %	25 %	60 %	25 %	75 %	75 %	85 %	70 %	55 %					
ICEV Benzin (100 kW ICE, Peripherie, Automatikgetriebe)	2017	485 440	2320	1190			1840					5350	1160	15 220		
	2025	260 400	1330	700			1010					3040	640	8 760		
	2030	17 500	380	220			220					820	260	3 890		
ICEV Benzin MHEV (wie oben + 0,7 kWh Batterie, DC/DC-Wandler)	2017	8390	480	280			370			40	10	1190	zusammen mit ICEV Benzin	Summen über alle ICEV ↑		
	2025	35 540	390	230			290			120	40	1070				
	2030	52 500	380	220			220			140	50	1010				
ICEV Diesel (100 kW ICE, Peripherie, Automatikgetriebe)	2017	462 790			2360	1940	1840					6140			zusammen mit ICEV Benzin	Summen über alle ICEV ↑
	2025	192 630			1070	900	760					2720				
	2030	15 000			290	300	220					810				
ICEV Diesel MHEV (wie oben + 0,7 kWh Batterie, DC/DC-Wandler)	2017	5710			480	470	370			40	10	1390	zusammen mit ICEV Benzin	Summen über alle ICEV ↑		
	2025	11 430			420	410	290			120	40	1280				
	2030	15 000			290	300	220			140	50	990				
PHEV (100 kW ICE, 75 kW El. Maschine, 10 kWh Batt., DC/DC-Wandler)	2017	22 130	480	280				610		40	10	1430			230	1660
	2025	100 000	710	390				1140		120	80	2450			410	2860
	2030	100 000	710	370				1140		140	90	2450			410	2860
BEV (100 kW El. Maschine, 60 kWh Batterie, DC/DC-Wandler)	2017	15 530							270	40	10	330	110	440		
	2025	400 000							1130	540	180	1850	440	2290		
	2030	800 000							2060	1200	370	3630	770	4400		
Summe	2017	1 000 000	3270	1760	2840	2420	4420	610	270	170	60	15 820	1500	17 320		
	2025	1 000 000	2420	1320	1490	1300	2360	1140	1130	910	340	12 420	1490	13 910		
	2030	1 000 000	1480	810	580	590	880	1140	2060	1620	540	9710	1440	11 140		

Abb. 47: Brutto-Personalbedarfe je Antriebsstrang und Komponente für eine Million Antriebsstränge im betrachteten Produktionsmix in den Jahren 2017, 2025 und 2030 in Szenario 3 ohne Produktivitätssteigerungen

## QUANTITATIVE ANALYSE DER BESCHÄFTIGUNGS-EFFEKTE IM REFERENZMODELL

Nachfolgend werden zusätzlich zu den Veränderungen beim Personalbedarf infolge der Elektrifizierung des Antriebsstrangs die Effekte von Produktivitätssteigerungen in Szenario 3 behandelt.

Die Abbildung 48 zeigt den Saldo des Personalbedarfs über alle Antriebsstränge, Komponenten und Mitarbeitergruppen über den Betrachtungszeitraum des Projekts ELAB 2.0. Es wird gegenüber dem Jahr 2017 bis zum Jahr 2025 ein Rückgang um 33 Prozent und bis zum Jahr 2030 ein Rückgang um 53 Prozent deutlich. Zum Vergleich ist auch die Baseline der Produktivitätssteigerungen dargestellt (vgl. Abbildung 32).



Abb. 48: Saldo des Personalbedarfs in Szenario 3 mit Produktivitätssteigerungen

Die Abbildung 49 zeigt für das Jahr 2017 sowie für die Stützjahre 2025 und 2030 zum einen den jeweiligen Gesamt-Personalbedarf. Des Weiteren wird die Aufteilung der Bedarfe auf die untersuchten Antriebsstränge ICEV, PHEV und BEV veranschaulicht. In Ergänzung dazu sind außerdem Angaben enthalten, wie sich die Bedarfe gegenüber dem Jahr 2017

prozentual verändern. Bezugsgröße ist einmal der Gesamt-Personalbedarf im Jahr 2017 und einmal der Bedarf je Antriebsstrang im Jahr 2017. Die auf den Gesamt-Personalbedarf bezogenen Werte können wegen der gemeinsamen Bezugsgröße addiert werden. Die Summen finden sich bereits in der voranstehenden Abbildung.

Veränderungen bezogen auf den jeweiligen Bedarf im Jahr 2017:

	2025	2030
BEV	+328 %	+612 %
PHEV	+45 %	+27 %
ICEV	-52 %	-81 %

Veränderungen bezogen auf den Gesamt-Bedarf im Jahr 2017:

	2025	2030
BEV	+8 %	+15 %
PHEV	+4 %	+3 %
ICEV	-45 %	-71 %
<b>Saldo</b>	<b>-33 %</b>	<b>-53 %</b>

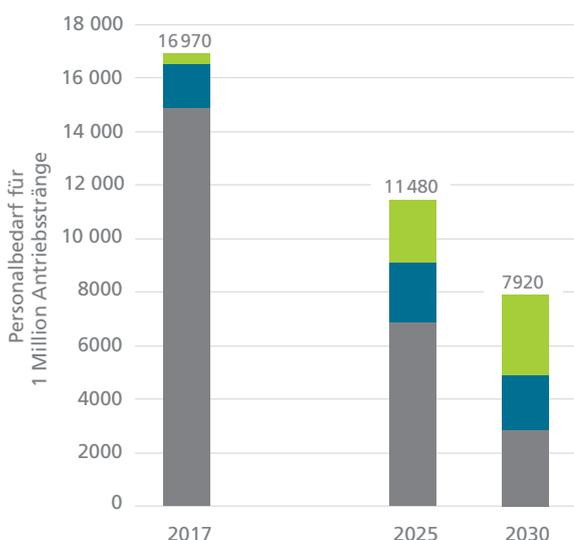


Abb. 49: Verteilung der Personalbedarfe auf die Antriebsstränge und Veränderung gegenüber 2017 in Szenario 3 mit Produktivitätssteigerungen (■ ICEV Benzin und Diesel einschließlich MHEV, ■ PHEV einschließlich HEV, ■ BEV)

## QUANTITATIVE ANALYSE DER BESCHÄFTIGUNGS- EFFEKTE IM REFERENZMODELL

Die Abbildung 50 zeigt schließlich noch im Detail für alle Antriebsstränge und Komponenten die jeweiligen Personalbedarfe im Jahr 2017 sowie in den Stützjahren 2025 und 2030. Unstimmigkeiten bei Summen sind eine Folge der Rundung auf Vielfache von zehn.

Szenario 3 MIT Produktivitätssteigerungen	Jahr	Stück	ICE Benzin	ICE-Peripherie Benzin	ICE Diesel	ICE-Peripherie Diesel	Automatikgetriebe	Hybridgetriebe	Elektrische Maschine	Traktionsbatterie	Leistungselektronik	Summe	Einbau	Summe
			60 %	25 %	60 %	25 %	75 %	75 %	85 %	70 %	55 %			
ICEV Benzin (100 kW ICE, Peripherie, Automatikgetriebe)	2017	485 440	2270	1160			1800					5240	1140	14 920
	2025	260 400	1090	570			830					2490	530	7 180
	2030	17 500	280	160			160					590	190	2 800
ICEV Benzin MHEV (wie oben + 0,7 kWh Batterie, DC/DC-Wandler)	2017	8390	470	280			360			40	10	1170	zusammen mit ICEV Benzin	Summen über alle ICEV →
	2025	35 540	320	190			240			100	30	880		
	2030	52 500	280	160			160			100	30	730		
ICEV Diesel (100 kW ICE, Peripherie, Automatikgetriebe)	2017	462 790			2310	1900	1800					6010	zusammen mit ICEV Benzin	Summen über alle ICEV →
	2025	192 630			880	730	620					2230		
	2030	15 000			210	210	160					580		
ICEV Diesel MHEV (wie oben + 0,7 kWh Batterie, DC/DC-Wandler)	2017	5710			470	460	360			40	10	1360	zusammen mit ICEV Benzin	Summen über alle ICEV →
	2025	11 430			340	330	240			100	30	1050		
	2030	15 000			210	210	160			100	30	710		
PHEV (100 kW ICE, 75 kW El. Maschine, 10 kWh Batt., DC/DC-Wandler)	2017	22 130	470	280				600		40	10	1400	220	1620
	2025	100 000	580	320				940		100	60	2010	340	2350
	2030	100 000	510	270				820		100	60	1760	300	2060
BEV (100 kW El. Maschine, 60 kWh Batterie, DC/DC-Wandler)	2017	15 530							270	40	10	320	110	430
	2025	400 000							930	450	150	1520	320	1840
	2030	800 000							1490	870	260	2620	440	3060
Summe	2017	1 000 000	3210	1720	2780	2370	4330	600	270	170	60	15 500	1470	16 970
	2025	1 000 000	1990	1090	1220	1070	1930	940	930	740	280	10 180	1190	11 370
	2030	1 000 000	1060	580	420	420	640	820	1490	1170	390	6990	930	7920

Abb. 50: Brutto-Personalbedarfe je Antriebsstrang und Komponente für eine Million Antriebsstränge im betrachteten Produktionsmix in den Jahren 2017, 2025 und 2030 in Szenario 3 mit Produktivitätssteigerungen

### 7.3.4 Gegenüberstellung der Ergebnisse aus den Szenarien

In der nachstehenden Abbildung 51 ist für Szenario 1, 2 und 3 der jeweilige Saldo des Personalbedarfs ohne Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen dargestellt. Dadurch wird deutlich, dass der Personalbedarf beim größten BEV-Anteil im Jahr 2030 (Szenario 3, 80 Prozent) am stärksten, beim zweitgrößten BEV-Anteil im Jahr 2030 (Szenario 2, 40 Prozent) am zweitstärksten und beim drittgrößten BEV-Anteil im Jahr 2030 (Szenario 1, 25 Prozent) am drittstärksten zurückgeht. Das Ausmaß, in dem sich der Rückgang des Personalbedarfs in Szenario 2 (-18 Prozent im Jahr 2030) von dem in Szenario 1 (-11 Prozent im Jahr 2030) unterscheidet, liegt stets im einstelligen Prozentpunktbereich. Demgegenüber ist im Vergleich zu Szenario 2 der Rückgang des Personalbedarfs in Szenario 3 bereits im Jahr 2025 um 11 Prozentpunkte und im Jahr 2030 sogar um 17 Prozentpunkte größer (-35 Prozent im Vergleich zu -18 Prozent).

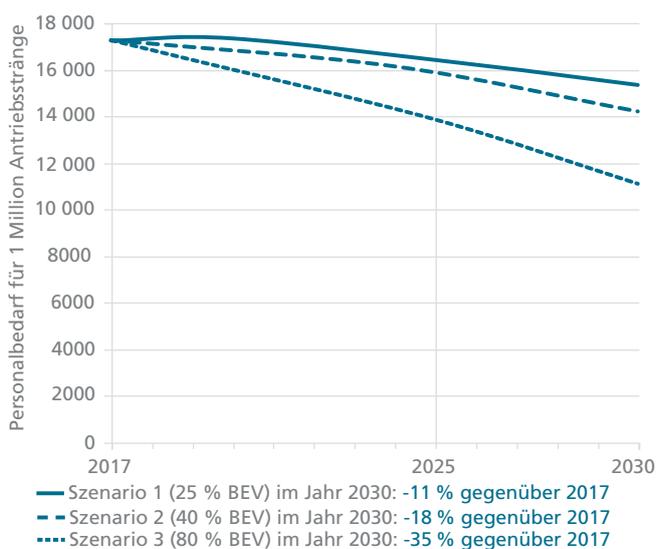


Abb. 51: Personalbedarf-Saldo aus Szenario 1, 2 und 3 ohne Produktivitätssteigerungen

In der nachstehenden Abbildung 52 ist für Szenario 1, 2 und 3 der jeweilige Saldo des Personalbedarfs mit Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen dargestellt. Zum Vergleich ist auch die Baseline der Produktivitätssteigerungen enthalten (vgl. Abbildung 32). Erst im Jahr 2030 unterscheidet sich der Rückgang des Personalbedarfs in Szenario 1 (-37 Prozent) im zweistelligen Prozentpunktbereich von dem durch die Baseline besagten (-27 Prozent). Im Gegensatz dazu ist der Rückgang des Personalbedarfs in Szenario 3 im Jahr 2030 (53 Prozent) gegenüber der Baseline (-27 Prozent) um 26 Prozentpunkte größer und damit fast doppelt so stark.

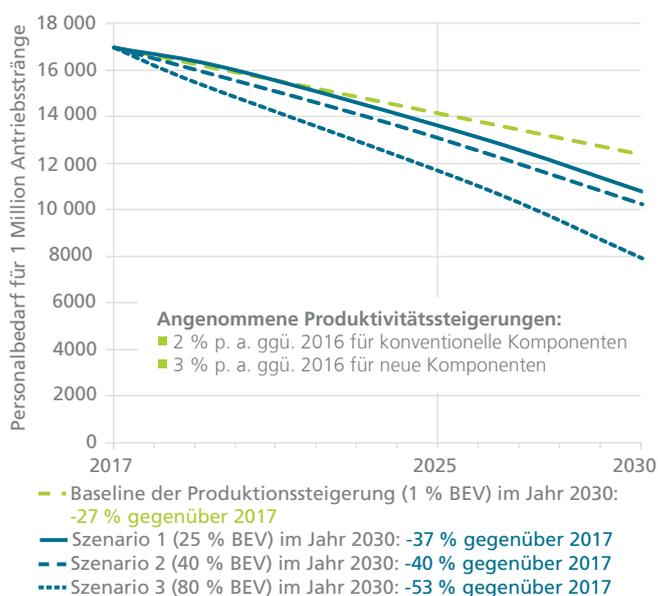


Abb. 52: Personalbedarf-Saldo aus Szenario 1, 2 und 3 mit Produktivitätssteigerungen und Baseline der Produktivitätssteigerungen

## QUANTITATIVE ANALYSE DER BESCHÄFTIGUNGS- EFFEKTE IM REFERENZMODELL

Nachfolgend ist zusammengefasst, wie sich die Veränderungen des Personalbedarfs in den verschiedenen Szenarien in den Stützjahren 2025 und 2030 auf die Antriebsstränge aufteilen. Zunächst dient als Bezugsgröße der jeweilige Bedarf im Jahr 2017 – ohne Produktivitätssteigerungen also 15 220 Beschäftigte bei den ICEV, 1660 bei den PHEV und 440 bei den BEV (vgl. Abbildung 30) bzw. mit Produktivitätssteigerungen 14 920 Beschäftigte bei den ICEV, 1620 bei den PHEV und 430 bei den BEV (vgl. Abbildung 31). Dies zeigt Abbildung

53. Bei der Betrachtung der Effekte durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs ohne Produktivitätssteigerungen wird deutlich, dass sich die Zahl der Beschäftigten für die Produktion von BEV gegenüber dem Jahr 2017 bis zum Jahr 2030 ungefähr verdreifacht (+220 Prozent in Szenario 1), verfünffacht (+432 Prozent in Szenario 2) bzw. sogar verzehnfacht (+900 Prozent in Szenario 3). In absoluten Zahlen entsprechen diese Zuwächse allerdings nicht mehr als ca. 1400, 2300 bzw. 4400 Beschäftigten.

Veränderung des Personalbedarfs bezogen auf den jeweiligen Bedarf		Ohne Produktivitätssteigerungen		Mit Produktivitätssteigerungen	
		2025	2030	2025	2030
Baseline Produktivitätssteigerungen (1 % BEV)	Stützjahr				
	ICEV			-16 %	-27 %
	PHEV			-16 %	-27 %
	BEV			-26 %	-42 %
Szenario 1 (25 % BEV)	ICEV	-19 %	-30 %	-33 %	-49 %
	PHEV	+76 %	+102 %	+48 %	+45 %
	BEV	+118 %	+220 %	+63 %	+86 %
Szenario 2 (40 % BEV)	ICEV	-25 %	-50 %	-37 %	-63 %
	PHEV	+82 %	+160 %	+53 %	+92 %
	BEV	+209 %	+432 %	+153 %	+277 %
Szenario 3 (80 % BEV)	ICEV	-42 %	-74 %	-52 %	-81 %
	PHEV	+72 %	+72 %	+45 %	+27 %
	BEV	+420 %	+900 %	+328 %	+612 %

Abb. 53: Aufteilung der Personalbedarf-Veränderungen auf die Antriebsstränge bezogen auf den jeweiligen Bedarf im Jahr 2017

## QUANTITATIVE ANALYSE DER BESCHÄFTIGUNGS- EFFEKTE IM REFERENZMODELL

Im Folgenden dient als Bezugsgröße der Gesamt-Bedarf im Jahr 2017 – ohne Produktivitätssteigerungen also 17 320 Beschäftigte (vgl. Abbildung 30) bzw. mit Produktivitätssteigerungen 16 970 Beschäftigte (vgl. Abbildung 31). Die entsprechenden Werte zeigt Abbildung 54. Es wird deutlich, dass die oben aufgezählten Personalbedarf-Zuwächse bei den BEV bei geändertem Bezug deutlich geringer ausfallen. Des Weiteren lässt sich erkennen, dass die PHEV bezogen auf den Gesamt-Bedarf in der Regel zu mehr Personalbedarf als die BEV führen. Dies gilt selbst dann, wenn der Anteil der PHEV geringer als der der BEV ist. So zeigt Abbildung 20, dass in Szenario

1 bzw. 2 der Anteil der PHEV im Jahr 2030 15 Prozent bzw. 20 Prozent unter dem der BEV liegt, während Abbildung 54 zeigt, dass an selber Stelle der Personalbedarf für die PHEV um 2 Prozent bis 5 Prozent größer als der für die BEV ausfällt. Dieser Umstand gilt aber nicht, wenn der Anteil der BEV ein Mehrfaches der PHEV ausmacht (vgl. Szenario 3 in Abbildung 20 und in Abbildung 54). Ferner können nicht einmal durch die Summe der Personalbedarf-Zuwächse bei PHEV und BEV die Rückgänge bei den ICEV aufgewogen werden, die sich auch bei der Bezugsgröße von Abbildung 54 in einer ähnlichen Größenordnung wie in Abbildung 53 bewegen.

Veränderung des Personalbedarfs bezogen auf den Gesamt-Bedarf im Jahr 2017		Ohne Produktivitätssteigerungen		Mit Produktivitätssteigerungen	
		2025	2030	2025	2030
Baseline Produktivitätssteigerungen (1 % BEV)	Stützjahr				
	ICEV			-14 %	-23 %
	PHEV			-2 %	-3 %
	BEV			-1 %	-1 %
Saldo				-17 %	-27 %
Szenario 1 (25 % BEV)	ICEV	-17 %	-26 %	-29 %	-43 %
	PHEV	+7 %	+10 %	+4 %	+4 %
	BEV	+3 %	+5 %	+2 %	+2 %
	Saldo	-7 %	-11 %	-23 %	-37 %
Szenario 2 (40 % BEV)	ICEV	-22 %	-44 %	-33 %	-56 %
	PHEV	+8 %	+15 %	+5 %	+9 %
	BEV	+5 %	+11 %	+4 %	+7 %
	Saldo	-9 %	-18 %	-24 %	-40 %
Szenario 3 (80 % BEV)	ICEV	-37 %	-65 %	-45 %	-71 %
	PHEV	+7 %	+7 %	+4 %	+3 %
	BEV	+10 %	+23 %	+8 %	+15 %
	Saldo	-20 %	-35 %	-33 %	-53 %

Abb. 54: Aufteilung der Personalbedarf-Veränderungen auf die Antriebsstränge bezogen auf den Gesamt-Bedarf im Jahr 2017

## 7.4 SENSITIVITÄT DER PERSONALBEDARFE GEGENÜBER PHEV-ANTEILEN

Eine genaue Betrachtung von Abbildung 54 legt den Schluss nahe, dass das Ausmaß der Veränderungen beim Personalbedarf durch das Verhältnis zwischen PHEV und BEV im Szenario besonders beeinflusst ist. Dies wird im Folgenden näher untersucht durch eine Änderung der Anteile der PHEV und der BEV in Szenario 1 im Jahr 2030 und der Auswertung der daraus folgenden Konsequenzen. Wie in Abbildung 20 ersichtlich ist, liegt in Szenario 1 im Jahr 2030 der Anteil der PHEV bei 15 Prozent und der Anteil der BEV bei 25 Prozent, woraus gemäß Abbildung 54 ein Rückgang des Personalbedarfs ohne Produktivitätssteigerungen um 11 Prozent und mit Produktivitätssteigerungen um 37 Prozent folgt.

Zunächst wird nun an der genannten Stelle eine Absenkung des Anteils der PHEV um 5 Prozentpunkte auf 10 Prozent und eine Anhebung des Anteils der BEV in gleicher Höhe auf 30 Prozent vorgenommen. Dies führt – sowohl ohne als auch mit Produktivitätssteigerungen – zu einem ungefähr 2 Prozentpunkte größeren Rückgang des Personalbedarfs. Als nächstes erfolgt an der genannten Stelle eine Absenkung des Anteils der PHEV um 10 Prozentpunkte auf 5 Prozent und eine Anhebung des Anteils der BEV in gleicher Höhe auf 35 Prozent Dies

führt – sowohl ohne als auch mit Produktivitätssteigerungen – zu einem ungefähr neun Prozentpunkte größeren Rückgang des Personalbedarfs. Nachfolgend fasst Abbildung 55 die beschriebenen Änderungen der Annahmen im Szenario 1 und die daraus folgenden, ebenfalls beschriebenen Änderungen beim Rückgang von Personalbedarfen zusammen.

Die oben beschriebenen Erkenntnisse machen zum einen deutlich, dass für einen Erhalt von Arbeitsplätzen – bei gleichbleibendem Anteil der ICEV – ein höherer Anteil der PHEV gegenüber den BEV zu bevorzugen ist. Zum anderen kommt zum Vorschein, dass der mit einer Reduktion des Anteils der PHEV zusammenhängende Effekt auf den Personalbedarf sich überproportional verhält: Wenn im Szenario 1 im Jahr 2030 der Anteil der BEV zu Lasten der PHEV von 25 Prozent um 5 Prozentpunkte auf 30 Prozent angehoben wird, nimmt der Rückgang des Personalbedarfs lediglich um ungefähr 2 Prozentpunkte zu, während eine Anhebung des BEV-Anteils im Szenario 1 im Jahr 2030 um 10 Prozentpunkte auf 35 Prozent einen um ungefähr 9 Prozentpunkte stärkeren Rückgang des Personalbedarfs nach sich zieht.

	Ohne Produktivitätssteigerungen		Mit Produktivitätssteigerungen			
	Veränderung Saldo-Effekt ggü. »unverändertem Szenario 1«	Personalbedarf im Jahr 2030 ggü. 2017	Veränderung Saldo-Effekt ggü. »unverändertem Szenario 1«	Personalbedarf im Jahr 2030 ggü. 2017		
Szenario 1 mit 15 % PHEV, 25 % BEV (»unverändert«)		ICEV	-26 %	ICEV	-43 %	
		PHEV	+10 %	PHEV	+4 %	
		BEV	+5 %	BEV	+2 %	
		<b>Saldo</b>	<b>-11 %</b>	<b>Saldo</b>	<b>-37 %</b>	
Szenario 1 mit 10 % PHEV, 30 % BEV	-1,9 Prozentpunkte	ICEV	-29 %	-2,4 Prozentpunkte	ICEV	-45 %
		PHEV	+8 %		PHEV	+2 %
		BEV	+8 %		BEV	+4 %
		<b>Saldo</b>	<b>-13 %</b>		<b>Saldo</b>	<b>-39 %</b>
Szenario 1 mit 5 % PHEV, 35 % BEV	-8,4 Prozentpunkte	CEV	-30 %	-9,4 Prozentpunkte	CEV	-47 %
		PHEV	±0 %		PHEV	-2 %
		BEV	+11 %		BEV	+3 %
		<b>Saldo</b>	<b>-19 %</b>		<b>Saldo</b>	<b>-46 %</b>

Abb. 55: Änderung von Annahmen und Konsequenzen zur Beurteilung des Verhältnisses zwischen PHEV und BEV in den Szenarien

# IMPLIKATIONEN DER MODELLERGEBNISSE FÜR DEN STANDORT DEUTSCHLAND

## 8.1

### AUSWIRKUNGEN VON TECHNOLOGIE- UND PRODUKTIVITÄTS-EFFEKTEN AM STANDORT

Allen nachfolgend genannten und beschriebenen Ergebnissen liegen die insbesondere in den Kapiteln 3 und 7.1 aufgeführten Prämissen des Projekts ELAB 2.0 zugrunde. Untersuchungsraum ist die Herstellung von Antriebssträngen. Effekte durch die Elektrifizierung der Antriebe oder sonstiges, die in anderen Unternehmensbereichen, Industrieteilen, Branchen oder sonst wo eintreten könnten, sind nicht berücksichtigt.

Die im voranstehenden Kapitel 7 beschriebenen Ergebnisse und Erkenntnisse lassen erahnen, dass bereits die Auswirkungen alleine der Elektrifizierung der Antriebe auf die Beschäftigung erheblich sein werden. Zwar bewegen sich alle absoluten Zahlen lediglich im Bereich weniger zehntausend Beschäftigter. Allerdings liegen den Berechnungen zum einen nicht mehr als eine Million produzierter Antriebsstränge zugrunde (vgl. Kapitel 7.1.1). Zum anderen ließen sich im Rahmen des Projekts ELAB 2.0 auch nicht alle Bereiche sämtlicher Wertschöpfungsketten erfassen (vgl. Abbildung 24). Wird davon ausgegangen, dass auch die Beschäftigten von der Elektrifizierung betroffen sind, die für die Herstellung der Antriebsstränge zuständig sind, die über eine Million hinausgehen und die in einem in Rahmen von ELAB 2.0 nicht berücksichtigten Teil der Wertschöpfungskette arbeiten, dann ist im Hinblick auf die oben ermittelten minus 11 Prozent bis minus 35 Prozent bis zum Jahr 2030 (Abbildung 51) in absoluten Zahlen mit deutlich größeren Veränderungen beim Personalbedarf zu rechnen. In diesem Zusammenhang ist der geringe analysierte Anteil der

Beschäftigung in der betrachteten Wertschöpfungskette bei »ICE-Peripherie« (25 Prozent) von sehr großer Bedeutung. Es kann davon ausgegangen werden, dass mit zunehmender Elektrifizierung der Antriebsstränge hin zu rein elektrischen Antriebskonzepten ein noch wesentlich stärkerer Rückgang der Personalbedarfe bei Herstellern von Produktumfängen für die Peripherie, aber auch für die weiteren Teile des konventionellen Antriebsstrangs eintritt – auch getrieben durch den Wettbewerb mit Ländern mit niedrigen Lohnkosten, der die Anspannung für deutsche Standorte noch weiter erhöht.

Werden zusätzlich zu den Effekten durch die Elektrifizierung auch diejenigen infolge von Produktivitätssteigerungen einbezogen, erhöhen sich unter den Prämissen des Projekts ELAB 2.0 die Veränderungen beim Personalbedarf auf minus 37 Prozent bis minus 53 Prozent bis zum Jahr 2030 (vgl. Abbildung 52). Davon sind alleine auf die Produktivitätssteigerungen in Szenario 1 zwei Drittel zurückzuführen, in Szenario 3 noch etwas weniger als die Hälfte. Produktivitätssteigerungen haben also teilweise eine größere Wirkung auf den Personalbedarf als die Elektrifizierung. Neben der Elektrifizierung wirken sich also auch weitere Faktoren auf die Beschäftigung aus. Ihre Kombination führt schließlich zu besonders gravierenden Veränderungen beim Personalbedarf. Dabei lässt sich kein Faktor sinnvoll eliminieren. So sind etwa Produktivitätssteigerungen unabdingbar für einen Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit.

Generell gilt, dass eine Abnahme des Personalbedarfs infolge des Wechsels zum elektrischen Antriebsstrang bzw. zu neuen Komponenten höchst wahrscheinlich ist. Nicht einmal bei Szenario 1, in dem eine vergleichsweise moderate Diffusion der elektrischen Antriebstechnologien angenommen ist, gelingt eine vollständige Kompensation des zurückgegangenen Personalbedarfs durch die generell beschäftigungsintensiven PHEV.

Hinsichtlich der Tätigkeitsprofile wurden bereits im Projekt »ELAB 1.0« große Veränderungen prognostiziert. Dazu zählte u. a., dass die spanende Metallverarbeitung (Drehen, Fräsen, Bohren, Schleifen) beim Übergang zur Elektromobilität langfristig zugunsten (hochautomatisierbarer) Montageprozesse an Bedeutung verliert, und dass vor allem Kompetenzen wie Einrichten, Bedienen, Überwachen und Warten automatisierter Produktionsanlagen sowie Testen, Prüfen und Qualitätssicherung immer größere Bedeutung erlangen. Eine weitere Aussage war, dass sich durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs der in der Automobilindustrie bereits seit Jahren zu beobachtende strukturelle Wandel weg von M/M-Berufe (Metall und Mechanik) hin zu E/E-Berufen (Elektrik, Elektronik, Mechatronik) weiter fortsetzt (Spath et al., 2012). Diese Befunde scheinen sich insbesondere bei Betrachtung der auf den jeweiligen Bedarf im Jahr 2017 bezogenen Aufteilung der Personalbedarf-Veränderungen auf die Antriebsstränge bis zum Jahr 2030 (vgl. Abbildung 53) zu erhärten.

## 8.2

### EXTRAPOLATION DER MODELLERGEBNISSE AUF DEN STANDORT DEUTSCHLAND

Die nachstehenden Berechnungen erfolgen unter der Annahme, dass sich auf Basis der in Abbildung 24 genannten analysierten Anteile der Beschäftigung in der je Komponente betrachteten Wertschöpfungskette auch die gesamte betrachtete Wertschöpfungskette je Komponente analysieren lässt. Wird demnach je Komponente der analysierte Anteil der Beschäftigung in der betrachteten Wertschöpfungskette ausgehend von der vorliegenden Bandbreite von 25 Prozent bis 85 Prozent hochskaliert auf hypothetische 100 Prozent, folgen in Abwandlung von Abbildung 27 die in Abbildung 56 aufgeführten Netto-Personalbedarfe im Jahr 2016.

Die in Abbildung 56 genannten Netto-Personalbedarfe werden im nächsten Schritt wieder kombiniert mit der fixen Ausbringungsmenge von einer Million Antriebssträngen und deren Anteilen in den Szenarien im Jahr 2017 (2 Prozent PHEV, 1 Prozent BEV gem. Abbildung 20). So ergibt sich für das Jahr 2017 ohne Produktivitätssteigerungen der in Abbildung 57 genannte Brutto-Personalbedarf in Höhe von knapp 36 000 Beschäftigten, aufgeteilt auf 32 180 für ICEV, 3060 für PHEV und 520 für BEV.

Herstellung von Komponente	Hochskalierter Anteil der Beschäftigung in der jeweils betrachteten Wertschöpfungskette	Hochskalierte Beschäftigte (netto) im Jahr 2016 bei	
		250 000 Stück / a (1 Linie im Dreischichtbetrieb)	1 000 000 Stück / a (4 Linien im Dreischichtbetrieb)
ICE Benzin (4 Zylinder, 100 kW)	100 %	~ 1890	~ 6650
ICE Diesel (4 Zylinder, 100 kW)	100 %	~ 1910	~ 6720
ICE-Peripherie Benzin (4 Zylinder, 100 kW)	100 %	~ 2530	~ 8420
ICE-Peripherie Diesel (4 Zylinder, 100 kW)	100 %	~ 4100	~ 13 520
Automatikgetriebe (Doppelkupplung, 6 Gänge)	100 %	~ 1260	~ 4480
Hybridgetriebe (Doppelkupplung, 6-Gänge) einschließlich Elektrische Maschine (synchron, 75 kW)	100 %	~ 1630	~ 5900
Elektrische Maschine (synchron, 100 kW) einschl. Getriebe, ohne Magnete (nicht in betrachteter WSK)	100 %	~ 630	~ 2160
Traktionsbatterie (60 kWh) ohne Zellen (nicht in betrachteter WKS)	100 %	~ 500	~ 1880
Leistungselektronik	100 %	~ 214	~ 753
Einbau des Antriebsstrangs in das Fahrzeug bei	ICEV	~ 270	~ 900
	PHEV	~ 430	~ 1450
	BEV	~ 210	~ 680

Abb. 56: Ausgehend von Abbildung 24 hochskalierte Personalbedarfe für die Komponentenherstellung bei 100 Prozent analysiertem Anteil der Beschäftigung in der jeweils betrachteten Wertschöpfungskette sowie für den Fahrzeugeinbau im Jahr 2016 (netto)

## IMPLIKATIONEN DER MODELLERGEBNISSE FÜR DEN STANDORT DEUTSCHLAND

		Szenario 1, 2 und 3 (im Jahr 2017 je 2% PHEV- und 1% BEV-Anteil)
Brutto-Gesamt-Personalbedarf im Jahr 2017 ausgehend von den hochskalierten Beschäftigten OHNE Produktivitätssteigerungen		35 760 Beschäftigte
Brutto-Personalbedarf im Jahr 2017 ausgehend von den hochskalierten Beschäftigten OHNE Produktivitätssteigerungen	ICEV PHEV BEV	32 180 Beschäftigte 3 060 Beschäftigte 520 Beschäftigte

Abb. 57: Ausgehend von Abbildung 56 hochskalierter Brutto-Personalbedarf im Jahr 2017 in allen Szenarien ohne Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen

Mit Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen ergibt sich für das Jahr 2017 der in Abbildung 58 genannte Brutto-Personalbedarf in Höhe von ca. 35 000 Beschäftigten, aufgeteilt auf 31 530 für ICEV, 3 000 für PHEV und 510 für BEV.

		Szenario 1, 2 und 3 (im Jahr 2017 je 2% PHEV- und 1% BEV-Anteil)
Brutto-Gesamt-Personalbedarf im Jahr 2017 ausgehend von den hochskalierten Beschäftigten MIT Produktivitätssteigerungen		35 040 Beschäftigte
Brutto-Personalbedarf im Jahr 2017 ausgehend von den hochskalierten Beschäftigten MIT Produktivitätssteigerungen	ICEV PHEV BEV	31 530 Beschäftigte 3 000 Beschäftigte 510 Beschäftigte

Abb. 58: Ausgehend von Abbildung 56 hochskalierter Brutto-Personalbedarf im Jahr 2017 in allen Szenarien mit Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen

## IMPLIKATIONEN DER MODELLERGEBNISSE FÜR DEN STANDORT DEUTSCHLAND

Werden auf die Zahlen aus Abbildung 57 die Saldo-Effekte aus Abbildung 54, mittlere Spalte, angewendet, dann folgt bis zum Jahr 2030 ohne Produktivitätssteigerungen ein Rückgang des Personalbedarfs bei Szenario 1 von ca. 4000, bei Szenario 2 von ca. 6000 und bei Szenario 3 von ca. 13 000 Beschäftigten. Mit Produktivitätssteigerungen wäre dementsprechend – wenn man die Zahlen aus Abbildung 58 mit Abbildung 54, rechte Spalte, korreliert – bis zum Jahr 2030 ein Rückgang des Personalbedarfs bei Szenario 1 von ca. 13 000, bei Szenario 2

von ca. 14 000 und bei Szenario 3 von ca. 19 000 Beschäftigten zu erwarten. Abbildung 59 fasst die Angaben zusammen. Dabei sei daran erinnert, dass es sich hierbei um Extrapolationen handelt. Die Saldo-Effekte aus Abbildung 54 wurden unter den Prämissen des Projekts ELAB 2.0 gewonnen. Ihre Aussagekraft ist daher am größten für die analysierten Anteile der Beschäftigung in der je Komponente betrachteten Wertschöpfungskette, wie sie etwa in Abbildung 24 und Abbildung 27 aufgeführt sind.

### Extrapolation der Veränderung des Personalbedarfs

		Ohne Produktivitätssteigerungen		Mit Produktivitätssteigerungen	
Brutto-Gesamt-Personalbedarf im Jahr 2017 ausgehend von hochskalierten Beschäftigten		35 760 Beschäftigte		35 040 Beschäftigte	
Stützjahr		2030		2030	
		Saldo-Effekte (Abbildung 54, mittlere Spalte)	Personalbedarf-Rückgang um	Saldo-Effekte (Abbildung 54, rechte Spalte)	Personalbedarf-Rückgang um
Saldo-Effekte bis zum Jahr 2030 in	Szenario 1 (25 % BEV)	-11 %	4000 Beschäftigte	-37 %	13 000 Beschäftigte
	Szenario 2 (40 % BEV)	-18 %	6000 Beschäftigte	-40 %	14 000 Beschäftigte
	Szenario 3 (80 % BEV)	-35 %	13 000 Beschäftigte	-53 %	19 000 Beschäftigte

Abb. 59: Rückgang des Personalbedarfs bis zum Jahr 2030 basierend auf der Extrapolation auf einen zu 100 Prozent analysierten Anteil der Beschäftigung in der je Komponente betrachteten Wertschöpfungskette und bekannten Saldo-Effekten aus Abbildung 54

Auf Basis der Personalbedarfe aus Abbildung 56 ergeben sich andere Saldo-Effekte als in Abbildung 54. Grund dafür ist der in Kapitel 7.1 beschriebene Rechenweg im Referenzmodell. Ausgehend von stets 100 Prozent analysiertem Anteil der Beschäftigung in der je Komponente betrachteten Wertschöpfungskette ergeben sich Saldo-Effekte bis zum Jahr 2030 ohne Produktivitätssteigerungen im Szenario 1 von -17 Prozent, in Szenario 2 von -25 Prozent und in Szenario 3 von -47 Prozent. Die Übertragung dieser Werte auf die 35 760 Beschäftigten aus Abbildung 57 führt bis zum Jahr 2030 zu einem Rückgang des Personalbedarfs ohne Produktivitätssteigerungen bei Szenario 1 von ca. 6000, bei Szenario 2 von ca. 9000 und bei

Szenario 3 von ca. 17 000 Beschäftigten.

Mit Produktivitätssteigerungen ergeben sich ausgehend von stets 100 Prozent analysiertem Anteil der Beschäftigung in der je Komponente betrachteten Wertschöpfungskette die Saldo-Effekte bis zum Jahr 2030 in Szenario 1 zu -40 Prozent, in Szenario 2 zu -45 Prozent und in Szenario 3 zu -62 Prozent. Die Übertragung dieser Werte auf die 35 040 Beschäftigten aus Abbildung 58 führt bis zum Jahr 2030 zu einem Rückgang des Personalbedarfs mit Produktivitätssteigerungen bei Szenario 1 von ca. 14 000, bei Szenario 2 von ca. 16 000 und bei Szenario 3 von ca. 22 000 Beschäftigten.

## IMPLIKATIONEN DER MODELLERGEBNISSE FÜR DEN STANDORT DEUTSCHLAND

Nachfolgend fasst Abbildung 60 die Brutto-Gesamt-Personalbedarfe aus Abbildung 57 und Abbildung 58 sowie die Saldo-Effekte zusammen, die sich auf Basis der hochskalierten Personalbedarfe aus Abbildung 56 ergeben.

Veränderung des Personalbedarfs bezogen auf den Gesamt-Bedarf im Jahr 2017		Ohne Produktivitäts- steigerungen	Mit Produktivitäts- steigerungen
Brutto-Gesamt-Personalbedarf im Jahr 2017 ausgehend von hochskalierten Beschäftigten		35 760 Beschäftigte	35 040 Beschäftigte
Stützjahr		2030	2030
Saldo-Effekte bis zum Jahr 2030 in	Szenario 1 (25 % BEV) Szenario 2 (40 % BEV) Szenario 3 (80 % BEV)	-17 % (6000 Beschäftigte) -25 % (9000 Beschäftigte) -47 % (17 000 Beschäftigte)	-40 % (14 000 Beschäftigte) -45 % (16 000 Beschäftigte) -62 % (22 000 Beschäftigte)

Abb. 60: Neu ermittelte Saldo-Effekte bis zum Jahr 2030 ausgehend von den auf 100 Prozent analysierten Anteil der Beschäftigung in der je Komponente betrachteten Wertschöpfungskette hochskalierten Beschäftigten

Abschließend erfolgen Berechnungen unter der Annahme, dass mit Hilfe der im Rahmen von ELAB 2.0 erhobenen Daten auch Rückschlüsse auf die Beschäftigung in der gesamten Herstellung von Antriebssträngen in ganz Deutschland möglich sind. Wenn die analysierten Anteile der Beschäftigung in der betrachteten Wertschöpfungskette auf hypothetische 100 Prozent extrapoliert worden sind, werden die angestrebten Rückschlüsse durch Anpassung der fixen Ausbringungsmenge möglich. Dafür wird die Zahl von 5,75 Millionen Antriebssträngen herangezogen, die laut Angabe des VDA vom 29.03.2018 der Anzahl der 2016 in Deutschland hergestellten Fahrzeuge entsprechen. Dabei sei erneut darauf hingewiesen, dass die hier angestellte Extrapolation von den etwa in den Kapiteln 3 und 7.1 beschriebenen Prämissen des Projekts ELAB 2.0 abweicht. Diese bestehen u. a. in einer fixen Ausbringungsmenge von einer Million Antriebssträngen.

Ausgehend von Abbildung 57 ergibt sich bei Extrapolation auf 5,75 Millionen Antriebsstränge für das Jahr 2017 ohne Produktivitätssteigerungen ein Personalbedarf von ca. 206 000 bzw. – gerundet auf Vielfache von 10 000 – von 210 000

Beschäftigten. Werden auf diese Zahlen wiederum die Saldo-Effekte aus Abbildung 54, mittlere Spalte, angewendet, dann folgt bis zum Jahr 2030 ohne Produktivitätssteigerungen ein Rückgang des Personalbedarfs bei Szenario 1 von ca. 23 000, bei Szenario 2 von ca. 37 000 und bei Szenario 3 von ca. 72 000 Beschäftigten. Werden auf die Zahl von 206 000 Beschäftigten die Saldo-Effekte aus Abbildung 54, rechte Spalte, angewendet, dann folgt bis zum Jahr 2030 ein Rückgang des Personalbedarfs mit Produktivitätssteigerungen bei Szenario 1 von ca. 76 000, bei Szenario 2 von ca. 82 000 und bei Szenario 3 von ca. 109 000 Beschäftigten.

Bei der letztgenannten Berechnung werden 206 000 Beschäftigte Brutto-Gesamt-Personalbedarf ohne Produktivitätssteigerungen mit Saldo-Effekten mit Produktivitätssteigerungen (Abbildung 54, rechte Spalte) zueinander in Beziehung gesetzt. Um auch die Resultate auf Basis einer durchgängigen Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen zu erlangen, werden nachfolgend zunächst der Brutto-Gesamt-Personalbedarf mit Produktivitätssteigerungen ermittelt und auf diesen erneut die Saldo-Effekte mit Produktivitätssteigerungen angewendet.

## IMPLIKATIONEN DER MODELLERGEBNISSE FÜR DEN STANDORT DEUTSCHLAND

Ausgehend von Abbildung 58 ergibt sich aus der Extrapolation auf 5,75 Millionen Antriebsstränge für das Jahr 2017 mit Produktivitätssteigerungen ein Personalbedarf von ca. 201 000 bzw. – gerundet auf Vielfache von 10 000 – von 200 000 Beschäftigten. Werden auf diese Zahlen wiederum die Saldo-Effekte aus Abbildung 54, rechte Spalte, angewendet, dann folgt bis zum Jahr 2030 ein Rückgang des Personalbedarfs mit Produktivitätssteigerungen bei Szenario 1 von ca. 74 000, bei Szenario 2 von ca. 80 000 und bei Szenario 3 von ca. 107 000 Beschäftigten.

Nachfolgend fasst Abbildung 61 zusammen:

- die Brutto-Gesamt-Personalbedarfe für auf 100 Prozent analysierten Anteil der Beschäftigung in der je Komponente betrachteten Wertschöpfungskette hochskalierte Beschäftigte und für 5,75 Millionen Antriebsstränge ohne und mit Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen sowie
- das Ausmaß des Personalbedarf-Rückgangs bei den Saldo-Effekten aus Abbildung 54 ohne und mit Produktivitätssteigerungen angewendet auf den Brutto-Gesamt-Personalbedarf ohne Produktivitätssteigerungen

sowie das Ausmaß des Personalbedarf-Rückgangs bei den Saldo-Effekten Abbildung 54 mit Produktivitätssteigerungen angewendet auf den Brutto-Gesamt-Personalbedarf mit Produktivitätssteigerungen (es erfolgt keine Betrachtung der Auswirkungen der Saldo-Effekte ohne Produktivitätssteigerungen auf den Brutto-Gesamt-Personalbedarf mit Produktivitätssteigerungen).

Werden die in Abbildung 60, mittlere Spalte, genannten Saldo-Effekte auf Basis von stets 100 Prozent analysiertem Anteil der Beschäftigung in der je Komponente betrachteten Wertschöpfungskette ohne Produktivitätssteigerungen auf die 206 000 Beschäftigten für 5,75 Millionen Antriebsstränge ohne Produktivitätssteigerungen angewendet, dann folgt bis zum Jahr 2030 ohne Produktivitätssteigerungen ein Rückgang des Personalbedarfs bei Szenario 1 von ca. 35 000 Beschäftigten, bei Szenario 2 von ca. 52 000 Beschäftigten und bei Szenario 3 von ca. 97 000 Beschäftigten. Werden die in Abbildung 60, rechte Spalte, genannten Saldo-Effekte auf Basis von stets 100 Prozent analysiertem Anteil der Beschäftigung in der je Komponente betrachteten Wertschöpfungskette mit Produk-

Brutto-Gesamt-Personalbedarf im Jahr 2017 ausgehend von den hochskalierten Beschäftigten für 5,75 Millionen Antriebsstränge		206 000 Beschäftigte (gerundet: 210 000 Beschäftigte) OHNE Produktivitätssteigerungen	201 000 Beschäftigte (gerundet: 200 000 Beschäftigte) MIT Produktivitätssteigerungen
Stützjahr		2030	2030
Ausmaß des Personalbedarf-Rückgangs mit Saldo-Effekten aus Abbildung 54, OHNE Produktivitätssteigerungen, bei	Szenario 1 (25 % BEV) Szenario 2 (40 % BEV) Szenario 3 (80 % BEV)	23 000 Beschäftigte 37 000 Beschäftigte 72 000 Beschäftigte	nicht betrachtet
Ausmaß des Personalbedarf-Rückgangs mit Saldo-Effekten aus Abbildung 54, MIT Produktivitätssteigerungen, bei	Szenario 1 (25 % BEV) Szenario 2 (40 % BEV) Szenario 3 (80 % BEV)	76 000 Beschäftigte 82 000 Beschäftigte 109 000 Beschäftigte	74 000 Beschäftigte 80 000 Beschäftigte 107 000 Beschäftigte

Abb. 61: Brutto-Gesamt-Personalbedarf auf Basis der hochskalierten Beschäftigten für 5,75 Millionen Antriebsstränge und Personalbedarf-Rückgänge mit Saldo-Effekten aus Abbildung 54

## IMPLIKATIONEN DER MODELLERGEBNISSE FÜR DEN STANDORT DEUTSCHLAND

tivitätssteigerungen auf die 206 000 Beschäftigten für 5,75 Millionen Antriebsstränge ohne Produktivitätssteigerungen angewendet, folgt bis zum Jahr 2030 ein Rückgang des Personalbedarfs mit Produktivitätssteigerungen bei Szenario 1 von ca. 82 000 Beschäftigten, bei Szenario 2 von ca. 93 000 Beschäftigten und bei Szenario 3 von ca. 128 000 Beschäftigten.

Bei der letztgenannten Berechnung werden 206 000 Beschäftigte Brutto-Gesamt-Personalbedarf ohne Produktivitätssteigerungen mit Saldo-Effekten mit Produktivitätssteigerungen (Abbildung 60, rechte Spalte) zueinander in Beziehung gesetzt. Nachfolgend werden noch die Resultate auf Basis einer durchgängigen Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen ermittelt. Werden die in Abbildung 60, rechte Spalte, genannten Saldo-Effekte auf Basis von stets 100 Prozent analysiertem Anteil der Beschäftigung in der je Komponente betrachteten Wertschöpfungskette mit Produktivitätssteigerungen den 201 000 Beschäftigten für 5,75 Millionen Antriebsstränge mit Produktivitätssteigerungen zugrunde gelegt, folgt bis zum Jahr 2030 ein Rückgang des Personalbedarfs mit Produktivitätssteigerungen bei Szenario 1 von ca. 80 000 Beschäftigten, bei

Szenario 2 von ca. 90 000 Beschäftigten und bei Szenario 3 von ca. 125 000 Beschäftigten.

Nachfolgend fasst Abbildung 62 zusammen:

- die Brutto-Gesamt-Personalbedarfe für auf 100 Prozent analysierten Anteil der Beschäftigung in der je Komponente betrachteten Wertschöpfungskette hochskalierte Beschäftigte und für 5,75 Millionen Antriebsstränge ohne und mit Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen sowie
- das Ausmaß des Personalbedarf-Rückgangs bei den Saldo-Effekten aus Abbildung 60 ohne und mit Produktivitätssteigerungen angewendet auf den Brutto-Gesamt-Personalbedarf ohne Produktivitätssteigerungen sowie das Ausmaß des Personalbedarf-Rückgangs bei den Saldo-Effekten aus Abbildung 60 mit Produktivitätssteigerungen angewendet auf den Brutto-Gesamt-Personalbedarf mit Produktivitätssteigerungen (es erfolgt keine Betrachtung der Auswirkungen der Saldo-Effekte ohne Produktivitätssteigerungen auf den Brutto-Gesamt-Personalbedarf mit Produktivitätssteigerungen).

Brutto-Gesamt-Personalbedarf im Jahr 2017 ausgehend von den hochskalierten Beschäftigten für 5,75 Millionen Antriebsstränge		206 000 Beschäftigte (gerundet: 210 000 Beschäftigte) OHNE Produktivitätssteigerungen	201 000 Beschäftigte (gerundet: 200 000 Beschäftigte) MIT Produktivitätssteigerungen
Stützjahr		2030	2030
Ausmaß des Personalbedarf-Rückgangs mit Saldo-Effekten aus Abbildung 60, OHNE Produktivitätssteigerungen, bei	Szenario 1 (25 % BEV) Szenario 2 (40 % BEV) Szenario 3 (80 % BEV)	35 000 Beschäftigte 52 000 Beschäftigte 97 000 Beschäftigte	nicht betrachtet
Ausmaß des Personalbedarf-Rückgangs mit Saldo-Effekten aus Abbildung 60, MIT Produktivitätssteigerungen, bei	Szenario 1 (25 % BEV) Szenario 2 (40 % BEV) Szenario 3 (80 % BEV)	82 000 Beschäftigte 93 000 Beschäftigte 128 000 Beschäftigte	80 000 Beschäftigte 90 000 Beschäftigte 125 000 Beschäftigte

Abb. 62: Brutto-Gesamt-Personalbedarf auf Basis der hochskalierten Beschäftigten für 5,75 Millionen Antriebsstränge und Personalbedarf-Rückgänge mit Saldo-Effekten aus Abbildung 60

# 9

## HANDLUNGSFELDER UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

### 9.1

#### ERKENNTNISSE AUS DEN UNTERSUCHUNGEN

Die Ergebnisse, die in den voranstehenden Kapiteln beschrieben sind, lassen für den Bereich der Herstellung von Antriebssträngen deutliche bis gravierende Veränderungen des Personalbedarfs sichtbar werden. Dabei ist bei Betrachtung und Evaluation der Saldo-Effekte stets zu berücksichtigen, dass diese auf der Annahme einer vollständigen Hebung der mit PHEV- und BEV-Komponenten verbundenen Personalbedarf-Potenziale in Deutschland beruhen. Findet ein Teil der PHEV- und BEV-Wertschöpfung im Ausland statt, verringern sich die Personalbedarf-Potenziale in Deutschland entsprechend. Zwar kann davon ausgegangen werden, dass die globale Entwicklung der Absatzzahlen und damit der Produktionsvolumina dem Rückgang des Personalbedarfs entgegenwirkt. Diese Annahme wird an dieser Stelle allerdings nicht weiterverfolgt, da bei ELAB 2.0 eine normierte Ermittlung erfolgt ohne Vermischung mit globalen Effekten (erhobene Daten und Auswertungen beziehen sich auf eine Million Antriebsstränge als fixe Ausbringungsmenge etc.).

Eine Abnahme des Personalbedarfs infolge des Wechsels zum elektrischen Antriebsstrang bzw. zu neuen Komponenten ist höchst wahrscheinlich. Generell wird aber bei Betrachtung von Kapitel 7.3 deutlich, dass bei Szenario 1 und 2 teilweise beträchtliche positive Effekte durch PHEV generiert werden, die den Personalbedarf-Rückgang dämpfen. Die hier getroffenen Annahmen werden allerdings ggf. wesentlich beeinflusst durch eine geänderte Gesetzgebung.<sup>1</sup> Die genannten positiven Effekte hängen demnach maßgeblich von der konkreten Berücksichtigung der PHEV bei der Ausgestaltung der Regulierung der EU-Kommission ab. Ähnliches gilt für eine Anrechnung alternativer Kraftstoffe (Autogas, Erdgas, Biokraftstoffe, synthetische Kraftstoffe) oder einer weiteren Optimierung des Verbrennungsmotors.

Zusätzlich zu den in Kapitel 8.2 errechneten 210 000 Beschäftigten in der gesamten Herstellung von Antriebssträngen in ganz Deutschland sind von den Technologieeffekten auch viele derjenigen betroffen, die an anderen Teilen des Gesamtfahrzeugs arbeiten, etwa am Fahrwerk oder an der Karosserie. Die Auswirkungen erreichen zudem über die Herstellung hinaus u. a. Personal, das entlang des gesamten Produktlebenszyklus<sup>1</sup> von Automobilen tätig ist (einschließlich Entwicklung, Homologation, Vertrieb und Verwaltung sowie Service, Wartung und Instandhaltung sowie Händler und Werkstätten). Ferner hängen zahlreiche Stellen indirekt von der Automobilindustrie ab, sodass der tatsächliche Umfang der hier geschilderten Effekte in der gesamten Volkswirtschaft um ein Mehrfaches größer sein könnte.

Bezogen auf die gesamte deutsche Volkswirtschaft mit über 44 Millionen Beschäftigten (Statistisches Bundesamt, Stand 01.06.2018) erscheinen die in ELAB 2.0 ermittelten absoluten Zahlen zwar durchaus handhabbar. Mit Fokus auf die Automobilindustrie (840 000 Beschäftigte; Statistisches Bundesamt, Stand 01.06.2018) deuten sich aber bereits deutliche Herausforderungen an. Dies gilt umso mehr, wenn auch die mindestens ebenso zahlreichen Beschäftigten, die durch die Automobilindustrie zusätzlich induziert sind, ebenfalls zu den Betroffenen gezählt werden. Auf Standortebene und in monostrukturellen Industrieregionen können die Herausforderungen schließlich gravierend sein – etwa, wenn ein Rückgang von Stückzahlen und Umsatz zur Schließung von dedizierten Betriebsteilen, Standorten oder ganzen Betrieben führt oder einen Technologiebruch nach sich zieht. Dies gilt unverändert auch dann, wenn statt größerer Unternehmen kleinere, spezialisierte Fachbetriebe betroffen sind. Ferner sind die Auswirkungen ungleich verteilt zwischen Standorten und ggf. auch

<sup>1</sup> Gemäß der Sensitivitätsanalysen in Kapitel 7.4 nimmt der Rückgang des Personalbedarfs, wenn im Szenario 1 im Jahr 2030 der Anteil der BEV zu Lasten der PHEV von 25 % um 5 % auf 30 % angehoben wird, um nicht einmal weitere 2 % zu, während eine Anhebung des BEV-Anteils im Szenario 1 im Jahr 2030 um 10 % auf 35 % einen um über 8 % stärkeren Rückgang des Personalbedarfs nach sich zieht.

zwischen Branchen und Regionen. So wird beispielsweise am Standort eines Werks für ICE-Komponenten ein vollständiger Erhalt der Beschäftigung beim Wechsel zu BEV-Komponenten nicht realisierbar sein. Verdeutlicht werden kann dies u. a. am Beispiel der Produktion von Teilen für die Versorgung von Verbrennungsmotoren mit Kraftstoff oder für die Abgasabführung. Diese Teile sind für BEV nicht erforderlich. Von ihrem Produktionswegfall betroffen sind nicht nur diejenigen, die direkt an solchen oder vergleichbaren Teilen arbeiten. Es ergeben sich auch volkswirtschaftliche Auswirkungen, wie ein Verlust von Kaufkraft in der Region.

Während des allmählichen Markthochlaufs von Elektrofahrzeugen wird es eine beachtliche Zeit lang erforderlich sein, Autos mit Verbrennungskraft- und mit Elektrischer Maschine gleichzeitig anzubieten und somit zwei Technologien parallel zu beherrschen. Dies betrifft auch Entwicklungsarbeiten sowie die Verfügbarkeit von Lager- und Arbeitsflächen. Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs wird die Beschäftigung außerdem nicht nur in quantitativer Hinsicht beeinflussen, sondern für die Herstellung gewisser Komponenten auch die Kompetenzanforderungen verändern. Selbst für »gängige« Tätigkeiten bzw. für »gängige« Komponenten können veränderte Kompetenzprofile entstehen. Überdies bedürfen die »neuen« Komponenten der rechtzeitigen Planung einer Strategie zum Ausbau der erforderlichen Kompetenzen.

## 9.2 UNTERNEHMENS- UND STANDORTPOLITISCHE MASSNAHMEN

Durch eine Erschließung neuer, vor allem auch digitaler Technologien als zukünftige Kernkompetenz der Automobilindustrie in Deutschland kann unter Umständen ein Beitrag zum Erhalt von Wertschöpfung und Beschäftigung vor Ort gelingen. Beispiele in diesem Zusammenhang sind die Zellherstellung, das autonome Fahren und Mobilitätsdienstleistungen. Für die Erschließung solcher Technologien bedarf es der Innovationsförderung sowie ausreichend verfügbarem Venture Capital.

Im Fall sehr stark betroffener Regionen wird besonders großer Handlungsbedarf gegeben sein, etwa in Form von regionalen Industriekonzepten oder (industrie-)politischen Initiativen. Diese sind frühzeitig zu initiieren. Insbesondere in Kombination mit Produktivitätssteigerungen werden die Technologieeffekte aber auch an großen, robusten Standorten oder sogar auf Gesamtebene erheblich ausfallen und weitere umfangreiche Maßnahmen erforderlich machen. Denn nach derzeitigem

Erkenntnisstand bieten Aufgaben in anderen Sektoren – wie etwa der Ladeinfrastrukturausbau oder Energiedienstleistungen – zwar neue Arbeitsplätze, jedoch keinen vollständigen Ersatz für überflüssig gewordene Beschäftigung (NPE, 2016). Daher bedarf es eines Dialogs mit Politik und Anspruchsgruppen, um Handlungsfelder konkret auszuarbeiten.

Der Ausbau der notwendigen Kompetenzen zur Herstellung der »neuen« Komponenten erfordert eine Vorbereitung der Belegschaft auf die neuen Qualifikationsanforderungen. Darauf sind die Aus- und Weiterbildungsportfolios ebenso wie Rekrutierung von Nachwuchs und neuen Arbeitskräften auszurichten. Für die bestehende Belegschaft sind Weiterbildungskonzepte bedarfsgerecht anzupassen und zu entwickeln. Das setzt die Definition von Tätigkeitsprofilen und die Evaluation von Kompetenzbedarfen voraus. Maßnahmen zur Weiter- und Neuqualifizierung der Belegschaft sollten sowohl im Unterneh-

men als auch bei externen Institutionen erfolgen. Zum Ausbau der für die Elektromobilität erforderlichen Kompetenzen können Roadmaps auf unternehmensinterner Ebene nützlich sein. Mit deren Hilfe wird eine kritische Bewertung des IST-Qualifikationsstands, eine Priorisierung der Qualifizierungsinhalte und das Treffen von Entscheidungen darüber möglich, ob die Weiter-/Neuqualifizierung »on the job«, im Unternehmen (aber nicht »on the job«), oder extern stattfinden muss. Allerdings werden bestimmte Kompetenzen nur durch die Einstellung neuer Beschäftigter akquirierbar sein. Mitarbeiter, deren Tätigkeiten vom Wandel maßgeblich betroffen sind, sollten über die damit verbundenen Folgen für ihre berufliche Entwicklung sowie die verfügbaren Optionen zur Neuqualifizierung informiert und sensibilisiert werden. Die neuen Karrierepfade für bestehende Mitarbeiter sollten zur Genüge und verbindlich aufgezeigt, diskutiert und festgelegt werden.

Erkenntnisse und Methoden der strategischen Personalplanung leisten einen wichtigen Beitrag, damit die Ausrichtung personalpolitischer und -strategischer Maßnahmen auf bevorstehende Veränderungen frühzeitig gelingen kann. Die An-

wendung von Flexibilitätsoptionen beim Einsatz von Arbeitskräften stellt ebenfalls ein Hilfsmittel dar, um Veränderungen bei Aufgaben und benötigten Qualifikationen zu bewältigen. Unter Umständen sind in diesem Zusammenhang auch eine Erweiterung der Flexibilitätsoptionen um temporäre Beschäftigungsbedarfe sowie den gegebenen Erfordernissen entsprechende Versetzungen von Beschäftigten in Betracht zu ziehen. In jedem Fall sollte der Betriebsrat in anstehende Veränderungsprozesse frühzeitig und intensiv eingebunden werden.

Zusätzlich ist zu beachten, dass diverse Qualifizierungen für »neue« Komponenten bereits benötigt werden, während konventionelle Komponenten weiterhin herzustellen sind. Die Herausforderungen, die mit der Durchführung einer solchen »Misch-Produktion« und mit dem Wandel auf dem Produktionsband im Allgemeinen einhergehen, sind bei der Erarbeitung von Lösungen im hier behandelten Kontext stets zu berücksichtigen. Hierzu kann auch die Sicherstellung einer angemessenen Flexibilität in den Bereichen der Herstellung zählen, wenn etwa die Montage von konventionellen und Elektrofahrzeugen auf einer Produktionslinie gelingen soll.

### 9.3

## INDUSTRIE- UND WIRTSCHAFTSPOLITISCHE MASSNAHMEN

Der Erhalt der Beschäftigung in der Automobilindustrie wird den Belegschaften die Bereitschaft zur Veränderung abverlangen. Diese kann die oben genannten Maßnahmen zur Umqualifizierung umfassen. Hierauf sollte frühzeitig hingewiesen werden. Dabei sind zudem demografische Aspekte zu berücksichtigen, um einen arbeitspolitisch gerechten Wandel sicherzustellen. Die Chancen des demografischen Wandels in Deutschland können ferner gezielt genutzt werden, um beschäftigungssichernde Maßnahmen in den Unternehmen zu fördern. Außerdem können neue, flexiblere Arbeitszeitmodelle

die Einhaltung von bestehenden Vereinbarungen zur Beschäftigungssicherung unterstützen. Auch diesbezüglich gilt, dass der Betriebsrat in anstehende Veränderungsprozesse frühzeitig und intensiv eingebunden werden sollte.

Für erfolgreiche, etablierte Unternehmen ist es generell empfehlenswert, auch im Bereich der Elektromobilität eine Führungsrolle anzustreben, um im internationalen Wettbewerb hohe Marktanteile zu erringen, die helfen, die Beschäftigung zu sichern. Um dieses Ziel erreichen zu können und es nicht

aufgrund des Drucks durch den Wettbewerb mit Ländern mit niedrigen Lohnkosten aufgeben zu müssen, bedarf es allerdings einer Verbesserung der Rahmenbedingungen für deutsche Standorte.

Unabhängig davon wird zur Bewältigung der bevorstehenden Umwälzungen neben der Umsetzung unternehmensinterner Programme des »Transformations-Managements«, die vor allem in Großunternehmen bereits begonnen haben, politische Unterstützung erforderlich sein. Bei einer Vielzahl von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) bestehen aufgrund ihrer Größe und Entfernung zum OEM in der Wertschöpfungskette erhebliche Wissenslücken hinsichtlich der zu

erwartenden Entwicklungen in der Elektromobilität. Werden diese Lücken rechtzeitig adressiert, erhöhen sich die Chancen für die Unternehmen in vorgelagerten Stufen der Lieferkette, neue Geschäftspotenziale auszuschöpfen und ihre Position am Markt zu sichern. Beispiele für erfolgreiche politische Unterstützungsmaßnahmen sind die Programme zur Förderung und Höherqualifizierung von KMU. Die Schwerpunkte liegen dabei auf Maßnahmen zur optimierten Informationsversorgung der KMU sowie zur Vernetzung mit anderen KMU und wissenschaftlichen Institutionen, auf einem Zugang zu Produktionslaboren und -einrichtungen sowie auf Programmen zur Schulung von Mitarbeitern auf Mittelmanagement- und operativer Ebene. Diese Ansätze sollten ausgebaut werden.

## 9.4 BILDUNGS- UND WISSENSPOLITISCHE MASSNAHMEN

Zu den Voraussetzungen für einen Erhalt von Wertschöpfung und damit auch von Beschäftigung am Standort Deutschland beim Übergang von konventionellen zu Elektrofahrzeugen zählt, dass vor Ort angemessen qualifiziertes Personal vorhanden sein muss. Dies macht im Bereich der Entwicklung und Herstellung von elektrischen Antriebssträngen auf Seiten der Ausbildungsberufe u. a. die Verschiebung des Portfolios angebotener Berufsbilder in Richtung Elektro- und IT-Berufe erforderlich. Im Speziellen müssen in relevante Berufsausbildungen Qualifizierungsmodule zur Hochvolttechnologie integriert werden. Im Bereich des Service und der Instandhaltung sind Maßnahmen zur Qualifizierung der Service- und Werkstattmitarbeiter in den Niederlassungen mit Fokus auf Elektroantriebe und Hochvolttechnik notwendig. An den Standorten müssen zur bedarfsorientierten Schulung von Beschäftigten ebenfalls entsprechende Qualifizierungsangebote in das jeweilige Portfolio aufgenommen werden.

Auf Seiten der Studienberufe sind – analog zu den Ausbildungsberufen – Studieninhalten und Studienrichtungen mit Relevanz für die Elektromobilität größere Bedeutung beizumessen. Entsprechende Studienfächer sollten verstärkt an Schulen und bei Anlässen für die Berufsorientierung beworben, entsprechenden Inhalten im Studium mehr Aufmerksamkeit und Zeit eingeräumt werden (zu Lasten von Inhalten mit Bezug zur Verbrennungskraftmaschine). Studienabsolventen, die an einer Karriere in der Wissenschaft interessiert sind, können in der momentanen Phase der Verbreitung von Elektrofahrzeugen die wichtigsten Beiträge zur Förderung der Elektromobilität in der angewandten Forschung leisten. Dem entsprechend empfiehlt es sich, diesen Bereich der Forschung bekannt zu machen und zu stärken.

## 9.5 MASSNAHMEN HINSICHTLICH REGULIERUNGEN

Zu Beginn von Kapitel 9.1 wurde festgestellt, dass in der Herstellung von Antriebssträngen teilweise beträchtliche positive Effekte durch PHEV generiert werden. Ohne diese würden die im Kapitel 7.3 ausgewiesenen Rückgänge des Personalbedarfs noch stärker ausfallen. Ebenfalls bereits festgestellt wurde, dass die hier getroffenen Annahmen ggf. wesentlich beeinflusst werden durch eine geänderte Gesetzgebung und dass die genannten positiven Effekte u. a. von der konkreten Berücksichtigung der PHEV bei der Ausgestaltung der Regulierung der EU-Kommission abhängen. Deshalb bedarf es einer regulatorischen Unterstützung der Hybridisierung, inkl. PHEV, um eine graduelle, sozialgerechte Transformation zu erreichen.

In diesem Zusammenhang erscheint auch eine technologie-neutrale Regulierung notwendig, wonach sämtliche Pfade beschritten werden dürfen, die zu einem klimafreundlichen Straßenverkehr führen – neben Elektrofahrzeugen auch ICEV auf Basis regenerativer Kraftstoffe. Deren Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Minderung müsste auf die Flottenziele angerechnet werden dürfen. Gleiches gilt für eine weitere Optimierung der Verbrennungskraftmaschine als Teil eines breiteren Maßnahmenpakets. Auf »Verbotssignale« aller Art sollte dagegen verzichtet werden. Sie würden unvermeidlich einen Investitionsstopp nach sich ziehen.

## 9.6 ZENTRALE AUSSAGEN UND KERNBOTSCHAFTEN

Werden die genannten Vorschläge und Empfehlungen aufgegriffen, kann der bevorstehende Wandel in der Automobilindustrie gelingen. Für den notwendigen Transformationsprozess sind aber im Betrachtungszeitraum der Studie auf deutscher und europäischer Ebene die notwendigen Rahmenbedingungen zu schaffen. Dies betrifft auch die Berücksichtigung der PHEV bei der Ausgestaltung der Regulierung durch die EU-Kommission. Ferner müssen ausreichende zeitliche, materielle und intellektuelle Ressourcen zur Verfügung stehen, um den Wandel zu bewältigen. Nur dann können die bevorstehenden strukturellen Veränderungen in der Automobilindustrie erfolgreich verlaufen. Weiterführende Details, Erkenntnisse und Empfehlungen sind diesem Abschlussbericht zu entnehmen. Vertiefende Betrachtungen bedürfen weiterer Studien.

Aus den Ergebnissen des Projekts ELAB 2.0 lassen sich die folgenden zentralen Botschaften ableiten:

1. Durch die Umsetzung einer vorausschauenden Strategie kann – unter den richtigen politischen Rahmenbedingungen – die Elektrifizierung des Antriebsstrangs zum Beispiel eines erfolgreichen Strukturwandels werden, sozial, ökologisch und ökonomisch.
2. Die Auswirkungen der Elektrifizierung der Antriebe auf die Beschäftigung werden erheblich sein. Insbesondere ist dabei auch eine mögliche Verlagerung mancher Prozesse der Wertschöpfungskette aus Deutschland heraus zu bedenken.
3. Bei der Einordnung der ermittelten Auswirkungen eines herausfordernden Strukturwandels der Branche sind im Zeitverlauf auch wichtige Größen wie beispielsweise Produktivitätssteigerungen zu berücksichtigen.
4. Da die Auswirkungen des Strukturwandels sehr unterschiedliche Zielgruppen betreffen, wie beispielsweise OEM, spezialisierte Zulieferer, breiter aufgestellte Zulieferer, einzelne Betriebe, ganze Standorte und vielleicht auch regionale Cluster, ist die Politik auf allen Ebenen gefordert, frühzeitig Gegenstrategien zu entwickeln und Innovationsblockaden zu vermeiden.

## AUSBLICK UND WEITERER FORSCHUNGSBEDARF

Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs stellt eine große Herausforderung für die Wertschöpfungsstrukturen der Automobilindustrie am Standort Deutschland dar. Mit ihr verändern sich die Produkte und damit verbunden auch die Prozesse der Leistungserstellung, was letztlich zu gänzlich neuen Wertschöpfungsumfängen in den Unternehmen führt. Zusätzlich führt die Digitalisierung insbesondere im Produktionsumfeld zu Produktivitätssteigerungen und damit zu einer Reduktion von manuellen Arbeitsschritten.

Im Rahmen des Forschungsprojektes ELAB 2.0 konnten, aufbauend auf dem Vorgänger-Projekt »ELAB 1.0«, tiefgehende Erkenntnisse über die Auswirkungen der Fahrzeugelektrifizierung auf die Beschäftigung im Produktionsumfeld bei OEM, TIER1- und TIER2 Zulieferern erlangt werden. Dabei standen direkte, produktionsnahe indirekte sowie auch indirekte Mitarbeiter im Fokus der Betrachtung. Eine Berücksichtigung des Trends der Digitalisierung innerhalb der Produktion bzw. der betrachteten Wertschöpfungsketten konnte ebenfalls erfolgen.

Prozesse und Phasen des Produktlebenszyklus, die der Produktion der Antriebsstrangkomponenten vor- oder nachgelagert sind, konnten aus Gründen des Umfangs, der Komplexität des Forschungskomplexes sowie des Forschungsdesigns nicht näher untersucht werden. Es besteht also noch Forschungsbedarf hinsichtlich der Auswirkungen von Elektrifizierung und Digitalisierung auf weitere Beschäftigungsgruppen innerhalb der Unternehmen der Automobilindustrie, wie beispielsweise Entwickler oder Fachpersonal im Bereich Konstruktion, Erprobung, Homologation. Darüber hinaus führen die Trends der Dekarbonisierung und Digitalisierung auch bei weiteren Akteuren des Wertschöpfungssystems (kleine und mittlere

Zulieferunternehmen, Maschinen- und Anlagenbauer, Händler und Werkstätten, Energieversorger, Infrastrukturbetreiber etc.) zu erheblichen Veränderungen. Um ein besseres Verständnis darüber zu erlangen, inwieweit und in welcher Form sich diese Veränderungen positiv oder negativ auf die Beschäftigung am Standort auswirken werden, sollten weitere Forschungsaktivitäten in diesem Kontext folgen. Dabei könnte ein Schwerpunkt auf der Ableitung konsistenter Produktions(netz)szenarien liegen, um zukünftige Wertschöpfungskonstellationen hinsichtlich deren Effekte auf Wertschöpfung und Beschäftigung besser bewerten zu können.

Des Weiteren wird die fortschreitende Einführung von Leichtbaukonzepten und neuen Produktionstechnologien zu Verschiebungen in der Automobilwertschöpfung führen. Auf dem Weg zur Emissionsminderung wird es für Hersteller nahezu unabdingbar, eine Gewichtsreduzierung der Fahrzeuge mit dem Einsatz von »Smart Materials« oder Multi-Material-Design-Bauweisen anzustreben. Dies erfordert zum einen die Aneignung neuer Kompetenzen für die Konstruktions- und Entwicklungsaufgaben, zum anderen auch bedeutende Investitionen in Produktionsressourcen. Der Einsatz von Leichtmetallen und Kunststoffen sowie integrierten Konzepten wird in der Gestaltung von konventionellen sowie elektrifizierten Antrieben berücksichtigt. Beispielsweise bieten die Traktionsbatterie und das integrierte Antriebs-Fahrwerk-Konzept hierbei wichtige Potenziale zur Gewichtsoptimierung. Ferner werden generative und additive Fertigungsverfahren, z. B. 3D-Druck und Laserschmelzen, sich weiterentwickeln, die zwar schon zum Zweck des »Rapid Prototyping« und »Rapid Tooling« angewendet werden, in der Großserienproduktion aber noch keine Anwendung finden, teilweise aufgrund sehr hoher Materialkosten.

Darüber hinaus ermöglichen technische Entwicklungen im Bereich des automatisierten und vernetzten Fahrens sowie möglicherweise im Bereich des Carsharings eine Veränderung bzw. ein Umdenken im Bereich zukünftiger Produkte und Mobilitätslösungen (beispielsweise autonome Shuttles, Robo-Cab etc.). Neue Mobilitätsangebote auf Basis automatisierter Fahrfunktionen könnten neue oder veränderte Fahrwerke, Fahrzeugaufbauten, Komponenten und Antriebsstränge erfordern und somit zu weiteren Veränderungen der Wertschöpfung und Beschäftigung der Unternehmen führen. Durch den Trend des Sharings könnten zudem weitere Effekte durch eine gesteigerte Nutzung verbunden mit einem erhöhten Bedarf an Wartung und Austausch von Komponenten einhergehen.

Durch neue, digitalgestützte Angebote (Mobility-on-Demand, Mobilitäts- und Buchungsplattformen etc.) findet eine Erweiterung bestehender Wertschöpfungsprozesse um Prozesse statt, welche die Kundenbedürfnisse während der Nutzungsphase verstärkt in den Mittelpunkt stellen. Hieraus resultieren neue Aufgabenfelder und Tätigkeitsprofile, welche von den Unternehmen abgedeckt werden müssen. Insbesondere in Kombination mit den in den vorgelagerten Prozessen entstehenden Effekten hinsichtlich Wertschöpfung und Beschäftigung gilt es hierbei genau zu analysieren, welche Inhalte zukünftig von ansässigen Unternehmen übernommen werden können, um ein ausgewogenes und tragfähiges Produkt- und Serviceportfolio zu generieren.

# LITERATURVERZEICHNIS

## **Armengaud et al., 2017**

Armengaud, E., Sams, C., von Falck, G., Kreiner, C. Riel, A. (2017) »Industry 4.0 as Digitalization over the Entire Product Lifecycle: Opportunities in the Automotive Domain« in »Systems, Software and Services Process Improvement«, 24<sup>th</sup> European Conference, EuroSPI 2017, Ostrava, Czech Republic, September 6–8, 2017, Proceedings.

## **Automationspraxis 2017**

Digiale Helfer in der Automobilfabrik 2020, Detecon International GmbH in Automationspraxis, 2017, <https://automationspraxis.industrie.de/industrie-4-0/digitale-helfer-in-der-automobilfabrik-2020/>

## **BCG, 2017**

Schöne neue Arbeitswelt 4.0? Was wir tun müssen, damit uns die Arbeit nicht ausgeht, The Boston Consulting Group, November 2017

## **Binder, 2008**

Binder, A. (2008) »Hochausgenutzte Permanentmagnetsynchronmaschinen«, April 2008, [https://www.ieam.tuwien.ac.at/fileadmin/ieam/download\\_bereich/tagungen/2008/love2008\\_binder.pdf](https://www.ieam.tuwien.ac.at/fileadmin/ieam/download_bereich/tagungen/2008/love2008_binder.pdf)

## **Bloomberg, 2017**

Electric Vehicle Outlook – Bloomberg New Energy Finance’s annual long-term forecast of the world’s electric vehicle market, Bloomberg, Juli 2017, [https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/07/BNEF\\_EVO\\_2017\\_ExecutiveSummary.pdf](https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/07/BNEF_EVO_2017_ExecutiveSummary.pdf)

## **BW Stiftung, 2017**

Mobiles Baden-Württemberg – Wege der Transformation zu einer nachhaltigen Mobilität, Baden-Württemberg Stiftung, Stuttgart, Oktober 2017

## **Dept. Transport, 2017**

Clean Air Zone Framework – Principles for setting up Clean Air Zones in England. Department for Environment, Food & Rural Affairs. Department for Transport, London, 2017. [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/612592/clean-air-zone-framework.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/612592/clean-air-zone-framework.pdf)

## **Der Westen, 2018**

Fahrverbote in Europa – In diesen Städten gibt es sie schon, Der Westen, März 2018, <https://www.derwesten.de/politik/fahrverbote-in-europa-in-diesen-staedten-gibt-es-sie-schon-id213686747.html>

## **Dickel / Thiem, 2018**

Dickel, S., Thiem, C. (2018) »Zur Organisation von Arbeit 4.0: Crowdsourcing als Sozialtechnologie« in »Interdisziplinäre Perspektiven zur Zukunft«, T. Redlich et al. (Hrsg.), Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2018, [https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-658-20265-1\\_19.pdf](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-658-20265-1_19.pdf)

## **Diez, 2017**

Diez, W. (2017) »Der Einfluss der Digitalisierung und Elektrifizierung auf die Beschäftigungsentwicklung in der deutschen Automobilindustrie«, Arbeitspapier des Instituts für Automobilwirtschaft an der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt (HfWU) Nürtingen-Geislingen, September 2017

## **Eur-lex.europa.eu, 2016**

A European Strategy for Low-Emission Mobility, Europäische Kommission, Juli 2016, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A52016DC0501>

## **ec.europa.eu, 2017**

Proposal for post-2020 CO<sub>2</sub> targets for cars and vans, Europäische Kommission, November 2017, [https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/proposal\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/proposal_en)

## **Fraunhofer ISI, 2017**

Perspektiven des Wirtschaftsstandorts Deutschland in Zeiten zunehmender Elektromobilität, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Working Paper Sustainability and Innovation, No. S 09/2017, Karlsruhe, 2017

## **Frey / Osborne, 2013**

Frey, C. B. und Osborne, M. (2013) »The future of employment: how susceptible are jobs to computerization?«, Oxford University, September 2013, S. 1-72, [https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The\\_Future\\_of\\_Employment.pdf](https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf)

**Guardian, 2017**

Chrisafis, A. and Vaughan, A. (2017) »France to ban sales of petrol and diesel cars by 2040«, Juli 2017, <https://www.theguardian.com/business/2017/jul/06/france-ban-petrol-diesel-cars-2040-emmanuel-macron-volvo>

**Harrison / Thiel, 2016**

Harrison, G. und Thiel, C. (2016) »An exploratory policy analysis of electric vehicle sales competition and sensitivity to infrastructure in Europe«, *Technological Forecasting and Social Change*, 114, August 2016, S. 165–178, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.007>.

**Hackl et al., 2017**

Hackl, B., Wagner, M., Attmer, L., Baumann, D. (2017) »New Work: Auf dem Weg zur neuen Arbeitswelt – Management-Impulse, Praxisbeispiele, Studien«, Springer Gabler, Wiesbaden, 2017

**IEA, 2017**

CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion, International Energy Agency, Oktober 2017, [www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsfromFuelCombustionHighlights2017.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsfromFuelCombustionHighlights2017.pdf)

**IEA, 2018**

Global EV Outlook 2018 – Towards cross-modal electrification, International Energy Agency, S. 28, <https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/globalevoutlook2018.pdf>

**ifo, 2017**

Auswirkungen eines Zulassungsverbots für Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge mit Verbrennungsmotor, ifo-Institut, München, Juni 2017

**Independent, 2017**

Beale, C. (2017) »European cities announce bans on petrol and diesel cars as green initiative spreads across continent«, Oktober 2017, <https://www.independent.co.uk/news/world/paris-copenhagen-oxford-ban-petrol-diesel-cars-emissions-pollution-nitrogen-dioxide-a8000596.html>

**KBA, 2016**

Kraftfahrt-Bundesamt (2016) »SUVs und Geländewagen erneut mit steigenden Zulassungszahlen«, Flensburg, 2016, [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Segmente/2016/2016\\_segmente\\_kurzbericht\\_pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=8](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Segmente/2016/2016_segmente_kurzbericht_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=8)

**KBA, 2017**

Kraftfahrt-Bundesamt (2017) »Jahresbilanz der Neuzulassungen 2017«, Flensburg, 2017, [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Neuzulassungen\\_node.html;jsessionid=BFE46F4041D09A82E1D78D994E3344B5.live21301](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Neuzulassungen_node.html;jsessionid=BFE46F4041D09A82E1D78D994E3344B5.live21301)

**Krieger et al., 2018**

Krieger, W., Kenning, P., Krämer, H. »Distribution«, Gabler Wirtschaftslexikon, <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/distribution-28886>

**MHP, 2017**

Digitale Transformation – Der Einfluss der Digitalisierung auf die Workforce in der Automobilindustrie, MHP Management- und IT-Beratung / Herman Hollerith Zentrum, Reutlingen University, Juli 2017

**Mintken, 2010**

Mintken, K. (2010) »Forschung und Entwicklung nach der Frascati-Definition der OECD«, Verband Deutscher Ingenieure, [www.prof-dr-mintken.de/pdf/MAT/Frascati.pdf](http://www.prof-dr-mintken.de/pdf/MAT/Frascati.pdf)

**NPE, 2016**

Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) - AG 6 - Rahmenbedingungen (2016) »Arbeitsplatzeffekte einer umfassenden Förderung der Elektromobilität in Deutschland«, Berlin, Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung (GGEMO), 2016

**Oliver Wyman, 2018**

Bus, J. (2018) »Embracing An Electric Future – Automakers need a global timetable for phasing out internal-combustion engines«, Oliver Wyman, Detroit, März 2018

### **Proff / Fojcik, 2016**

Proff, H. und Fojcik, T. M. (2016) *Nationale und internationale Trends in der Mobilität – Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte*, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016

### **Schaeffler, 2017**

Schaeffler prepares the way for digitalization, Schaeffler Group USA Inc., Januar 2017, <https://www.schaeffler.com/content.schaeffler.us/press/press-releases/press-details.jsp?id=76343473>

### **Schuh et al., 2016**

Schuh, G., Jordan, F., Maasem, C., Zeller, V. (2016) »Industrie 4.0: Implikationen für produzierende Unternehmen« in »Digitale Transformation im Unternehmen gestalten: Geschäftsmodelle – Erfolgsfaktoren – Fallstudien«, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2016, <https://www.hanser-elibrary.com/doiabs/10.3139/9783446451148.004>

### **Siemens, 2018**

Digital Manufacturing for Automotive Powertrain, Siemens Product Lifecycle Management Software Inc., 2018, <https://www.plm.automation.siemens.com/en/automotive-transportation/powertrain-production/index.cfm>

### **Spath et al., 2012**

Spath, D. et al. (2012) »Elektromobilität und Beschäftigung – Wirkungen der Elektrifizierung des Antriebsstrangs auf Beschäftigung und Standortumgebung (ELAB)«, Abschlussbericht, Fraunhofer Verlag, Stuttgart, 2012

### **Süddeutsche Zeitung, 2018**

So machen es Italien und Frankreich, Süddeutsche Zeitung, März 2018, <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/dieselfahrverbote-wie-andere-laender-die-schlechte-luft-bekaempfen-1.3888002-2>

### **Thüringen, 2018**

Chinesischer Batteriehersteller CATL errichtet Werk in Thüringen – Medieninformation, Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft, Juli 2018, <https://www.thueringen.de/th6/tmwwdg/service/pressemitteilungen/105749/index.aspx>

### **UBA, 2018**

Finale Daten zur NO<sub>2</sub>-Belastung 2017 verfügbar – 65 Städte über dem NO<sub>2</sub>-Grenzwert, Pressemitteilung Umweltbundesamt, Mai 2018, <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/finale-daten-zur-no2-belastung-2017-verfuegbar>

### **VDMA, 2017**

Paul, H. (2017) »Digitaler Wandel bringt den Arbeitsmarkt voran«, VDMA, <https://www.vdma.org/v2viewer/v2article/render/15823419>

### **VDMA, 2018**

Antrieb im Wandel – Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs von Fahrzeugen und ihre Auswirkung auf den Maschinen- und Anlagenbau und die Zulieferindustrie, VDMA – Forum Elektromobilität, Frankfurt, März 2018

### **Voigt et al., 2018**

Voigt, K., Müller-Stewens, G., Möhrle, M., Specht, D. »Forschung und Entwicklung«, Gabler Wirtschaftslexikon, <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/forschung-und-entwicklung-fe-36421>

### **Weinert et al., 2007**

Weinert, J., Ma, C., Cherry, C. (2007) »The Transition to Electric Bikes in China: History and Key Reasons for Rapid Growth«, In: *Transportation: Planning – Policy – Research – Practice*, 34 (2007) 3, S. 301–318, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11116-007-9118-8>

### **Westkämper, 2006**

Westkämper, E. (2006) »Einführung in die Organisation der Produktion«, Springer Berlin Heidelberg

**Winkelhake, 2017**

Winkelhake, U. (2017) »Die digitale Transformation der Automobilindustrie – Treiber, Roadmap, Praxis«, Springer Vieweg, Hannover, 2017

**WIWO, 2018**

Fischer, K. und Seiwert, M. (2018) »Welche Städte von Fahrverboten betroffen wären«, Die Wirtschaftswoche, Februar 2018, <https://www.wiwo.de/politik/deutschland/luftverschmutzung-durch-diesel-welche-staedte-von-fahrverboten-betroffen-waeren/20985210.html>

# ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Referenzszenario im Projekt »ELAB 1.0« (DLR; Spath et al., 2012) .....	15	Abbildung 11: Exemplarische Darstellung eines Einspritzsystems am Beispiel eines Diesel Common-Rail-Systems (Quelle: Bosch).....	39
Abbildung 2: Änderungen von »ELAB 1.0« zu ELAB 2.0.....	16	Abbildung 12: Exemplarische Darstellung eines Automatikgetriebes (Quelle: ZF) .....	40
Abbildung 3: Die 15 Städte mit den höchsten NO <sub>2</sub> -Grenz- überschreitungen 2017 (UBA, 2018).....	21	Abbildung 13: Exemplarische Darstellung eines Hybridgetriebes (einschließlich Elektrischer Maschine; Quelle: ZF) .....	41
Abbildung 4: Zuordnung der betrachteten repräsentativen Komponenten zu den Antriebssträngen.....	27	Abbildung 14: Exemplarische Darstellung eines im Projekt betrachteten Batteriesystems (Quelle: BMW, Torqeedo).....	42
Abbildung 5 Produktlebenszyklus und Untersuchungsraum des Projekts ELAB 2.0 (Quellen: BMW, Bosch, Daimler, Peugeot, Volkswagen, ZF) .....	29	Abbildung 15: Exemplarische Darstellung einer im Projekt betrachteten Elektrischen Maschine (links; Quelle: BMW) und dessen Integration in eine Elektrische Achse (rechts; Quelle: ZF).....	42
Abbildung 6: Im Projekt ELAB 2.0 behandelte Antriebsstränge ICEV, PHEV, BEV (von links; Quellen: Peugeot, Volkswagen, Daimler) .....	30	Abbildung 16: Exemplarische Darstellung einer im Projekt betrachteten Leistungselektronik (Quelle: Bosch) .....	43
Abbildung 7: Im Projekt ELAB 2.0 zugrunde gelegtes Szenario 1 .....	35	Abbildung 17: Veranschaulichung der betrachteten Wertschöpfungsketten anhand von zwei exemplarischen Komponenten (Quellen: BMW, ZF, (Binder, 2008)).....	45
Abbildung 8: Im Projekt ELAB 2.0 zugrunde gelegtes Szenario 2 .....	36	Abbildung 18: Matrix der im Projekt ELAB 2.0 behandelten Komponenten und exemplarische Herstellungsschritte .....	47
Abbildung 9: Im Projekt ELAB 2.0 zugrunde gelegtes Szenario 3 .....	37	Abbildung 19: Aufbau des Datenmodells des Projekts ELAB 2.0 .....	48
Abbildung 10: Exemplarische Darstellung einer im Projekt betrachteten Verbrennungskraftmaschine (Quelle: Volkswagen) .....	38		

Abbildung 20: Im Projekt ELAB 2.0 zugrunde gelegte Szenarien.....	49	Abbildung 29: Im Projekt ELAB 2.0 angenommene Produktivitäts- steigerungen und ihre Wirkung auf die Beschäftigung .....	57
Abbildung 21: Zuordnung der betrachteten Komponenten zu den Antriebssträngen .....	50	Abbildung 30: Brutto- Personalbedarf im Jahr 2017 in allen Szenarien ohne Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen .....	58
Abbildung 22: Komponenten-Produktionszahlen als Ergebnis des ersten Haupt-Pfads des Datenmodells (vgl. Kapitel 7.1) .....	51	Abbildung 31: Brutto-Personalbedarf im Jahr 2017 in allen Szenarien mit Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen .....	58
Abbildung 23: Herkunft der zu den verschiedenen Komponenten erhobenen Daten.....	52	Abbildung 32: Baseline der Produktivitätssteigerungen unter den Prämissen des Projekts ELAB 2.0 .....	59
Abbildung 24: Analysierter Anteil der Beschäftigung in der je Komponente betrachteten Wertschöpfungskette .....	52	Abbildung 33: Saldo des Personalbedarfs in Szenario 1 ohne Produktivitätssteigerungen .....	60
Abbildung 25: Personalbedarf an einer Produktionslinie bei Drei-, Zwei- und Einschichtbetrieb im Datenmodell des Projekts ELAB 2.0.....	53	Abbildung 34: Verteilung der Personalbedarfe auf die Antriebsstränge und Veränderung gegenüber 2017 in Szenario 1 ohne Produktivitätssteigerungen .....	60
Abbildung 26: Entwicklung des Personalbedarfs über mehrere Produktionslinien im Datenmodell des Projekts ELAB 2.0 (fiktives Beispiel).....	54	Abbildung 35: Brutto-Personalbedarfe je Antriebsstrang und Komponente für eine Million Antriebsstränge im betrachteten Produktions- mix in den Jahren 2017, 2025 und 2030 in Szenario 1 ohne Produktivitätssteigerungen .....	61
Abbildung 27: Personalbedarfe für die Komponentenherstellung bei analysiertem Anteil der Beschäftigung in der jeweils betrachteten Wertschöpfungskette sowie für den Fahrzeugeinbau im Jahr 2016 (netto).....	55	Abbildung 36:.....	
Abbildung 28: Netto-/Brutto-Faktor je Mitarbeitergruppe im Projekt ELAB 2.0 .....	56	Saldo des Personalbedarfs in Szenario 1 mit Produktivitäts- steigerungen.....	62
		Abbildung 37: Verteilung der Personalbedarfe auf die Antriebsstränge und Veränderung gegenüber 2017 in Szenario 1 mit Produktivitätssteigerungen .....	62

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 38: Brutto-Personalbedarfe je Antriebsstrang und Komponente für eine Million Antriebsstränge im betrachteten Produktionsmix in den Jahren 2017, 2025 und 2030 in Szenario 1 mit Produktivitätssteigerungen.....	63	Abbildung 45: Saldo des Personalbedarfs in Szenario 3 ohne Produktivitätssteigerungen.....	68
Abbildung 39: Saldo des Personalbedarfs in Szenario 2 ohne Produktivitätssteigerungen.....	64	Abbildung 46: Verteilung der Personalbedarfe auf die Antriebsstränge und Veränderung gegenüber 2017 in Szenario 3 ohne Produktivitätssteigerungen.....	68
Abbildung 40: Verteilung der Personalbedarfe auf die Antriebsstränge und Veränderung gegenüber 2017 in Szenario 2 ohne Produktivitätssteigerungen.....	64	Abbildung 47: Brutto-Personalbedarfe je Antriebsstrang und Komponente für eine Million Antriebsstränge im betrachteten Produktionsmix in den Jahren 2017, 2025 und 2030 in Szenario 3 ohne Produktivitätssteigerungen.....	69
Abbildung 41: Brutto-Personalbedarfe je Antriebsstrang und Komponente für eine Million Antriebsstränge im betrachteten Produktionsmix in den Jahren 2017, 2025 und 2030 in Szenario 2 ohne Produktivitätssteigerungen.....	65	Abbildung 48: Saldo des Personalbedarfs in Szenario 3 mit Produktivitätssteigerungen.....	70
Abbildung 42: Saldo des Personalbedarfs in Szenario 2 mit Produktivitätssteigerungen.....	66	Abbildung 49: Verteilung der Personalbedarfe auf die Antriebsstränge und Veränderung gegenüber 2017 in Szenario 3 mit Produktivitätssteigerungen.....	70
Abbildung 43: Verteilung der Personalbedarfe auf die Antriebsstränge und Veränderung gegenüber 2017 in Szenario 2 mit Produktivitätssteigerungen.....	66	Abbildung 50: Brutto-Personalbedarfe je Antriebsstrang und Komponente für eine Million Antriebsstränge im betrachteten Produktionsmix in den Jahren 2017, 2025 und 2030 in Szenario 3 mit Produktivitätssteigerungen.....	71
Abbildung 44: Brutto-Personalbedarfe je Antriebsstrang und Komponente für eine Million Antriebsstränge im betrachteten Produktionsmix in den Jahren 2017, 2025 und 2030 in Szenario 2 mit Produktivitätssteigerungen.....	67	Abbildung 51: Personalbedarf-Saldo aus Szenario 1, 2 und 3 ohne Produktivitätssteigerungen.....	72
		Abbildung 52: Personalbedarf-Saldo aus Szenario 1, 2 und 3 mit Produktivitätssteigerungen und Baseline der Produktivitätssteigerungen.....	72

Abbildung 53: Aufteilung der Personalbedarf-Veränderungen auf die Antriebsstränge bezogen auf den jeweiligen Bedarf im Jahr 2017.....	73	Abbildung 60: Neu ermittelte Saldo-Effekte bis zum Jahr 2030 ausgehend von den auf 100% analysierten Anteil der Beschäftigung in der je Komponente betrachteten Wertschöpfungskette hochskalierten Beschäftigten.....	81
Abbildung 54: Aufteilung der Personalbedarf-Veränderungen auf die Antriebsstränge bezogen auf den Gesamt-Bedarf im Jahr 2017 .....	74	Abbildung 61: Brutto-Gesamt-Personalbedarf auf Basis der hochskalierten Beschäftigten für 5,75 Millionen Antriebsstränge und Personalbedarf-Rückgänge mit Saldo-Effekten aus Abbildung 54 .....	82
Abbildung 55: Änderung von Annahmen und Konsequenzen zur Beurteilung des Verhältnisses zwischen PHEV und BEV in den Szenarien .....	75	Abbildung 62: Brutto-Gesamt-Personalbedarf auf Basis der hochskalierten Beschäftigten für 5,75 Millionen Antriebsstränge und Personalbedarf-Rückgänge mit Saldo-Effekten aus Abbildung 60.....	83
Abbildung 56: Ausgehend von Abbildung 24 hochskalierte Personalbedarfe für die Komponentenherstellung bei 100 Prozent analysiertem Anteil der Beschäftigung in der jeweils betrachteten Wertschöpfungskette sowie für den Fahrzeugeinbau im Jahr 2016 (netto).....	78		
Abbildung 57: Ausgehend von Abbildung 56 hochskalierter Brutto-Personalbedarf im Jahr 2017 in allen Szenarien ohne Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen .....	79		
Abbildung 58: Ausgehend von Abbildung 56 hochskalierter Brutto-Personalbedarf im Jahr 2017 in allen Szenarien mit Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen .....	79		
Abbildung 59:.....			
Rückgang des Personalbedarfs bis zum Jahr 2030 basierend auf der Extrapolation auf einen zu 100 Prozent analysierten Anteil der Beschäftigung in der je Komponente betrachteten Wertschöpfungskette und bekannten Saldo-Effekten aus Abbildung 54.....	80		

# ANHANG

## Erhobene Personalbedarfe für das Jahr 2016 nach Komponenten und Beschäftigungsgruppen zu Durchschnittswerten verdichtet

Herstellung von Komponente	Analysierter Anteil der Beschäftigung in der jeweils betrachteten Wertschöpfungskette		Beschäftigte (netto*) im Jahr 2016 bei	
			250 000 Stück / a (1 Linie im Dreischichtbetrieb)	1 000 000 Stück / a (4 Linien im Dreischichtbetrieb)
ICE Benzin (4 Zylinder, 100 kW)	60 %	Dir. Prod. ind. Ind.	718 281 136	2873 769 351
ICE Diesel (4 Zylinder, 100 kW)	60 %	Dir. Prod. ind. Ind.	315 151 167	1259 412 430
ICE-Peripherie Benzin (4 Zylinder, 100 kW)	25 %	Dir. Prod. ind. Ind.	728 281 136	2912 769 351
ICE-Peripherie Diesel (4 Zylinder, 100 kW)	25 %	Dir. Prod. ind. Ind.	491 244 290	1963 668 750
Automatikgetriebe (Doppelkupplung, 6 Gänge)	75 %	Dir. Prod. ind. Ind.	627 208 109	2509 570 281
Hybridgetriebe (Doppelkupplung, 6 Gänge) einschließlich Elektrischer Maschine (synchron, 75 kW)	75 %	Dir. Prod. ind. Ind.	861 248 116	3445 678 300
Elektrische Maschine (synchron, 100 kW) einschl. Getriebe, ohne Magnete (nicht in betrachteter WSK)	85 %	Dir. Prod. ind. Ind.	304 166 64	1216 454 166
Traktionsbatterie (60 kWh) ohne Zellen (nicht in betrachteter WSK)	70 %	Dir. Prod. ind. Ind.	285 38 28	1140 104 72
Leistungselektronik	55 %	Dir. Prod. ind. Ind.	74 32 12	296 88 31
Fahrzeugeinbau bei ICEV		Dir. Prod. ind. Ind.	131 91 48	525 250 125
Fahrzeugeinbau bei PHEV		Dir. Prod. ind. Ind.	216 150 68	865 410 175
Fahrzeugeinbau bei BEV		Dir. Prod. ind. Ind.	89 80 41	355 220 105

\* Zeit für Urlaub, Krankheit und sonstige Tätigkeiten ist nicht berücksichtigt Unstimmigkeiten bei Summen entspringen der Rundung auf Vielfache von zehn

Dir. = Direkte Mitarbeiter

Prod. ind. = Produktionsnahe indirekte Mitarbeiter

Ind. = Indirekte Mitarbeiter

*Impressum*

*Kontaktadresse:*

*Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und  
Organisation IAO, Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart  
[www.iao.fraunhofer.de](http://www.iao.fraunhofer.de)*

*Telefon +49 711 970-2124  
[presse@iao.fraunhofer.de](mailto:presse@iao.fraunhofer.de)*

*urn:nbn:de:0011-n-5313834  
<http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-531383.html>*

*Titelbild: © Daimler AG*

*Druck und Weiterverarbeitung:  
IRB Mediendienstleistungen  
Fraunhofer-Informationszentrum  
Raum und Bau IRB, Stuttgart*

*Für den Druck des Buchs wurde chlor- und  
säurefreies Papier verwendet.*

*© Fraunhofer IAO, 2019*

*Alle Rechte vorbehalten*

*Dieses Werk ist einschließlich all seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung unzulässig und strafbar. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften. Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann das Institut keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.*

