

AG 4 - ZWISCHENBERICHT

Quantifizierung von Beschäftigungseffekten durch Leistungselektronik und Brennstoffzellenfahrzeuge





AG 1

Klimaschutz im Verkehr



AG 2

Alternative Antriebe und Kraftstoffe für nachhaltige Mobilität



AG 3

Digitalisierung für den Mobilitätssektor



AG 4

Sicherung des Mobilitäts- und Produktionsstandortes, Batteriezellproduktion, Rohstoffe und Recycling, Bildung und Qualifizierung



AG 5

Verknüpfung der Verkehrs- und Energienetze, Sektorkopplung



AG 6

Standardisierung, Normung, Zertifizierung und Typgenehmigung

INHALT

KURZFASSUNG	4
EXECUTIVE SUMMARY	5
1 HINTERGRUND UND VORGEHENSWEISE	6
2 QUANTIFIZIERUNG VON BESCHÄFTIGUNGSEFFEKTEN DURCH LEISTUNGSELEKTRONIK UND BRENNSTOFFZELLENFAHRZEUGE (FCEV)	7
2.1. Übersicht über die betrachteten Technologien	7
2.2. Betrachtete Wertschöpfungsumfänge	10
2.3. Erhobene Personalbedarfe	12
2.4. Darstellung der Szenarien	14
2.5. Ermittelte Beschäftigungseffekte	15
3 FAZIT UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN	24
ANHANG	27
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	27
QUELLENVERZEICHNIS	28
AUSFÜHRLICHE TABELLEN UND GRAFIKEN	29
IMPRESSUM	31

KURZFASSUNG

Im Zuge der Transformation des Mobilitätssystems wird sich der Anteil batterieelektrischer Fahrzeuge in Deutschland stark erhöhen. Der Neuzulassungsanteil von Pkw mit batterieelektrischem Antrieb liegt in Deutschland im Jahr 2021 bereits bei über 20 %. Vor dem Hintergrund der **verschärften CO₂-Reduktionsziele auf 55 % bis zum Jahr 2030** (gegenüber 1990) ist davon auszugehen, dass sich dieser Trend in den kommenden Jahren noch beschleunigen wird. Aktuelle Prognosen der Automobilwirtschaft gehen davon aus, dass Elektrofahrzeuge (batterieelektrische Fahrzeuge BEV und Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge PHEV) im Jahr 2030 bereits einen Anteil von **76 % der produzierten Fahrzeuge** ausmachen werden. Für den Mobilitäts- und Produktionsstandort Deutschland ist dies von enormer Bedeutung. Zurückliegende Studien zu Auswirkungen der Fahrzeugelektrifizierung auf die Beschäftigung am Standort Deutschland konnten zeigen, dass die Komponenten für den batterieelektrischen im Gegensatz zu denen für den konventionellen und den (Plug-in-)Hybrid-Antriebsstrang in der Herstellung einen geringeren Personalbedarf aufweisen.¹

Vor diesem Hintergrund untersucht der vorliegende Bericht den Einfluss der Herstellung von Leistungselektronik und Brennstoffzellensystemen auf den Personalbedarf in der Produktion von Antriebssträngen. Im Fall der Leistungselektronik zeigt sich, dass der Wertschöpfungsumfang im Produktentstehungsprozess in den vergangenen Jahren deutlich gesteigert werden konnte, was sich in einem erhöhten Personalbedarf widerspiegelt. Auf Basis der Daten aus der Studie ELAB 2.0 aus dem Jahr 2018 wurde ein Rückgang des Gesamt-Personalbedarfs bis zum Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 2017 um circa 47,5 % von circa 16.300

auf circa 8.500 Beschäftigte prognostiziert (mit Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen). Auf Basis der aktuell erhobenen Daten für Leistungselektronik verringert sich der Personalbedarf um **circa 46 % von circa 16.300 auf circa 8.800 Beschäftigte** (jeweils auf Basis einer Million hergestellter Antriebsstränge).

Für die Herstellung von Pkw mit brennstoffzellenelektrischem Antrieb kann ebenfalls ein nennenswerter Personalbedarf festgestellt werden, wobei ein signifikanter Marktanteil mit entsprechender Beschäftigungswirkung erst nach 2030 prognostiziert wird. Im Szenario mit einem **Anteil von 3 % an Brennstoffzellenfahrzeugen** bis 2030 kann eine Dämpfung des Personalrückgangs um **2,5 Prozentpunkte** prognostiziert werden, was – auf Basis der Referenzgröße einer Million hergestellter Antriebsstränge – **circa 450 Beschäftigten** entspricht (mit Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen). In den Berechnungen konnte aber lediglich ein Anteil von 45 % des Wertschöpfungsumfangs (ohne Wasserstoffspeicher) des Brennstoffzellensystems betrachtet werden. Perspektivisch kann von einer Ausweitung des Wertschöpfungsumfangs ausgegangen werden.

Grundsätzlich zeigt sich auf Basis der hier betrachteten Szenarien und jeweils bezogen auf den Referenzrahmen einer Million hergestellter Antriebsstränge, dass neue Komponenten in der Herstellung von Leistungselektronik und bei Brennstoffzellensystemen die negativen Beschäftigungseffekte durch den Wegfall des Verbrennungsmotors lediglich abmildern, nicht aber zu einem gleichbleibenden oder gar steigenden Gesamt-Personalbedarf führen können. Um den gesamten Rückgang des

¹ Vgl. Bauer et al. 2019.

Personalbedarfs auszugleichen, ist eine Vielzahl weiterer Maßnahmen notwendig, die aber nicht Bestandteil dieses Berichts sind.

Insgesamt lässt sich dennoch feststellen, dass in der Herstellung von Leistungselektronik und Brennstoffzellensystemen wichtige Stellhebel liegen, um einer negativen Beschäftigungswirkung in der deutschen Automobilwirtschaft entgegenzuwirken. Dem Aufbau wettbewerbsfähiger Wertschöpfungsketten in den Bereichen Leistungselektronik und Brennstoffzelle sollte daher eine hohe Priorität eingeräumt werden. Zusätzlich sollten zeitnah

Vorbereitungen für geeignete Entwicklungs- und Herstellungsstrukturen in den entsprechenden Bereichen (Anlagen, Lieferketten, Kraftstoff, Infrastruktur, Personal, Qualifizierung etc.) getroffen werden. Weitere Forschungs- und Entwicklungsinitiativen sowie Investitionsentscheidungen sind ebenfalls wichtige Maßnahmen zur Sicherung von Beschäftigung und Wertschöpfung und zur Vermeidung von Wettbewerbsnachteilen und Abhängigkeiten in der Automobilwirtschaft.

EXECUTIVE SUMMARY

As part of the transformation of the mobility system, the share of battery-electric vehicles in Germany will rise substantially. The share of newly registered cars with battery-electric drives has already exceeded 20 % in 2021. In light of the **more stringent emission reduction targets of 55 % by 2030** (as opposed to 1990), this trend is set to accelerate in the coming years. Current forecasts from within the automotive sector expect the share of electric vehicles (battery-electric vehicles (BEV) and plug-in hybrids (PHEV)) to make up **76 % of newly manufactured cars** in 2030. This is of utmost importance for Germany as a location for mobility and production. Past studies on the impact of the electrification of vehicles on employment in Germany have shown that the production of components for battery-electric drive trains requires less manpower than the production of those for conventional and (plug-in) hybrid drive trains.²

With that in mind, this report is taking a closer look at the impact of the production of power electronics and fuel cell systems on staff needs in the production of drive trains. The case of power electronics shows that the added value in the production process has increased significantly in the past few years, which is reflected in a higher personnel need. Based on data from the ELAB 2.0 study from 2018, a decrease in the overall staff need by approx. 47.5 % from approx. 16,300 to approx. 8,500 employees by 2030 compared with 2017 was forecast (with productivity gains already taken into account). Based on current data regarding power electronics, personnel needs will drop by **approx. 46 % from approx. 16,300 to approx. 8,000 employees** (based on one million drive trains manufactured).

There is also a significant personnel need for the production of cars with fuel cell-electric drive systems, however, substantial market shares with the relevant impact on employment are not expected until 2030. Taking the scenario in which **fuel cell vehicles make up 3 % of overall vehicle numbers** by 2030, the reduction in personnel needs is expected to be mitigated by 2,5 % which – based on the reference figure of one million drive trains produced – is equivalent to approx. 450 employees (with productivity gains already taken into account). The calculations only refer to 45 % of the value added in fuel cell systems (not including hydrogen storage). Going forward, the added value is expected to increase in volume.

Generally, based on the scenarios considered and the reference figure of one million drive trains produced, it becomes clear that new components in the production of power electronics and of fuel cell systems can only slightly mitigate negative employment effects due to the demise of the combustion engine; they cannot help maintain or increase overall personnel needs. A number of measures are necessary to compensate for the total reduction of staff required, which goes beyond the remit of this report.

All in all, it is noted that the production of power electronics and fuel cell systems will play an important role in countering negative employment trends in German car manufacturing. This is why the development of competitive value chains in the fields of power electronics and fuel cells should be given high priority. Additionally, timely preparations should get underway for appropriate development and production structures in the relevant areas

² Cf. Bauer et al. 2019.

(facilities, supply chains, fuel, infrastructure, staff, qualification etc.). Further research and development initiatives as well as investment decisions are also important

measures to secure employment and value creation and to avoid competitive disadvantages and dependencies in car manufacturing.

1 HINTERGRUND UND VORGEHENSWEISE

Der Anteil von Pkw mit batterieelektrischem Antriebsstrang, gemessen an der Menge der in Verkehr gebrachten Fahrzeuge und damit auch an der Menge der insgesamt produzierten Fahrzeuge der Automobilhersteller, nimmt stetig zu. Im ersten Halbjahr 2021 wurden in Deutschland insgesamt 1.390.889 Neuwagen zugelassen. Darunter befanden sich 148.716 reine Elektro-Pkw, die somit einen Anteil von 10,7 % ausmachen. Zusätzlich wurden 163.571 Plug-in-Hybride neu zugelassen, was einem Anteil von 11,8 % entspricht.³ In diesem Zusammenhang wurde im Rahmen zurückliegender Veröffentlichungen – insbesondere der vom Fraunhofer IAO durchgeführten Studie [ELAB 2.0 – Wirkungen der Fahrzeugelektrifizierung auf die Beschäftigung am Standort Deutschland](#) – gezeigt, dass die Komponenten für den batterieelektrischen im Gegensatz zu denen für den konventionellen und den (Plug-in-)Hybrid-Antriebsstrang in der Herstellung einen geringeren Personalbedarf aufweisen.⁴ Entsprechend ist die Verbreitung des batterieelektrischen Antriebsstrangs mit negativen Beschäftigungseffekten im Bereich der Herstellung von Antriebssträngen verbunden. Im Zuge der jüngsten weiteren Verschärfung der Grenzwerte für den CO₂-Ausstoß auf EU-Ebene⁵ und auch vor dem Hintergrund des sich wandelnden Kundenverhaltens ist davon auszugehen, dass es zu einer noch stärkeren Verbreitung des batterieelektrischen Antriebsstrangs kommen wird.

Grundsätzlich konnten sich die Unternehmen der Automobilindustrie in den zurückliegenden Jahren bereits auf die bevorstehende Elektrifizierung des Antriebsstrangs vorbereiten. So ist es gelungen, den Produktentstehungsprozess von Leistungselektronik, einer bislang in der Branche eher unbekannt, zukünftig aber sehr bedeutsamen und in der Herstellung mit nennenswerten Personalbedarfen verbundenen Komponente, von der Entwicklung bis zur Herstellung zu erschließen. Darüber hinaus verliefen die Vorbereitungen für den Markteintritt des aus einem Brennstoffzellensystem gespeisten Antriebsstrangs so erfolg-

reich, dass perspektivisch auch von dessen Verbreitung ausgegangen werden kann. Einen signifikanten Marktanteil mit entsprechender Beschäftigungswirkung wird der brennstoffzellenelektrische Antriebsstrang aber vermutlich erst nach 2030 erreichen. Wichtig dabei ist, dass der brennstoffzellenelektrische Antriebsstrang ebenso wie der batterieelektrische Antrieb mindestens lokal emissionsfrei ist und somit einen Beitrag zur Einhaltung auch verschärfter Grenzwerte für den CO₂-Ausstoß leistet. Ein nennenswerter Personalbedarf kann ebenfalls für die Herstellung von Pkw mit brennstoffzellenelektrischem Antriebsstrang festgestellt werden.

Zur Beurteilung des zukünftigen Personalbedarfs am Mobilitäts- und Produktionsstandort Deutschland ist es daher wichtig, zu wissen, ob und in welchem Ausmaß die (potenziell) durch die Herstellung von Leistungselektronik und Brennstoffzellensystemen erschließbaren Personalbedarfe den oben beschriebenen bevorstehenden negativen Beschäftigungseffekten in der Herstellung von Antriebssträngen entgegenwirken können. Hierfür werden im Rahmen dieses Berichts die Personalbedarfe in der jeweiligen Herstellung sowie ihre Ermittlung beschrieben und Untersuchungen ihrer Auswirkungen auf die Beschäftigtenzahlen unter unterschiedlichen Annahmen in Form von Szenarien durchgeführt. Alle weiteren in den Szenarien verwendeten Daten sowie die Methode zur Analyse der Beschäftigungseffekte wurden im Rahmen des Projekts zur Studie ELAB 2.0 ermittelt und entwickelt. Es wurden im Wesentlichen Erstausrüster (Original Equipment Manufacturers, OEM) sowie die Tier-1⁶-Wertschöpfungsstufe und auch Teile der Tier-2-Wertschöpfungsstufe betrachtet. Darunterliegende Wertschöpfungsstufen wurden nicht mitbetrachtet.

³ Vgl. <https://www.electrive.net/2021/07/05/emobility-dashboard-juni-33-420-reine-elektro-pkw/>.

⁴ Vgl. Bauer et al. 2019.

⁵ Am 21. April 2021 einigten sich das Europäische Parlament und die EU-Staaten auf ein neues Klimaziel. Die CO₂-Emissionen sollen bis 2030 nicht wie bisher um 40 %, sondern um 55 %, verglichen mit 1990, sinken.

⁶ Als Tier-1 werden jene Zulieferer bezeichnet, die OEMs direkt beliefern. Dahinter folgen nachgeordnet in der Lieferkette Tier-2 und Tier-3.

2 QUANTIFIZIERUNG VON BESCHÄFTIGUNGSEFFEKTEN DURCH LEISTUNGSELEKTRONIK UND BRENNSTOFFZELLENFAHRZEUGE (FCEV)

2.1 ÜBERSICHT ÜBER DIE BETRACHTETEN TECHNOLOGIEN

SYSTEMÜBERSICHT

- Ein rein elektrischer Fahrzeug-Antriebsstrang besteht im Wesentlichen aus einer Energiequelle, die einen hohen Gleichstrom beziehungsweise eine hohe Gleichspannung zur Verfügung stellt, einer Leistungselektronik, die die hohe Gleichspannung sowohl in eine niedrige Gleichspannung als auch in eine hohe Wechselspannung umwandelt,⁷ und einer elektrischen Maschine, die für den Vortrieb des Fahrzeugs sorgt und mit der hohen Wechselspannung betrieben wird.
- Bei der Energiequelle handelt es sich im Fall eines batterieelektrischen Fahrzeugs (Battery Electric Vehicle, BEV) um eine Traktions- oder Hochvoltbatterie und im Fall eines brennstoffzellenelektrischen Fahrzeugs (Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV) um ein Brennstoffzellensystem sowie einen Wasserstofftank.
- Der Bereich der Leistungselektronik, in dem die Umwandlung der hohen in eine niedrige Gleichspannung erfolgt, wird auch als DC/DC-Wandler bezeichnet und der Bereich, in dem die Umrichtung der hohen Gleich- in eine hohe Wechselspannung für den Antrieb erfolgt, wird auch Haupt- oder Antriebs-Umrichter oder -Inverter genannt.
- Zum Antriebsstrang können auch die Nebenaggregate gezählt werden, die entweder über einen weiteren DC/DC-Wandler mit der Energiequelle im Hochvolt-Bordnetz oder mit dem DC/DC-Wandler der Leistungselektronik in einem Niedervolt-Bordnetz verbunden sind.
- Im Rahmen dieser Veröffentlichung werden ausschließlich die Leistungselektronik und ein Brennstoffzellensystem (exklusive des Wasserstofftanks) im Detail betrachtet.

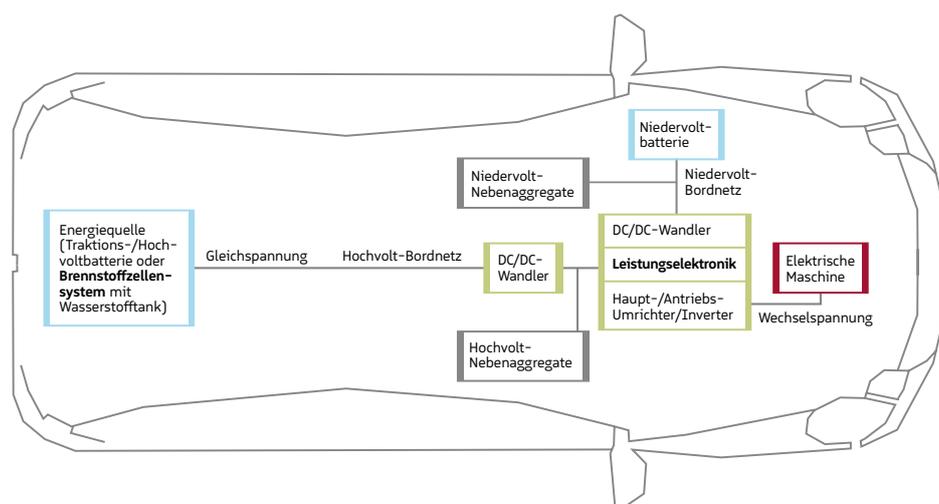


Abbildung 1: Antriebsstrangkomponenten batterie- und brennstoffzellenelektrischer Fahrzeuge
Quelle: eigene Darstellung

⁷ Vgl. <https://www.mein-autolexikon.de/e-mobilitaet/leistungselektronik.html>.

LEISTUNGSELEKTRONIK

- Wesentliche Bestandteile einer Leistungselektronik sind Gehäuse, Kühlsystem und Steuerungseinheit für Inverter und DC/DC-Wandler sowie ein Zwischenkreiskonkondensator und eventuell weitere Kondensatoren.
- Zusätzlich zählen zu den wesentlichen Bestandteilen im Fall des Inverters ein Leistungsteil, in dem heute und auch perspektivisch zur Umrichtung einer Gleich- in eine Wechselspannung eine (B6-)Brückenschaltung aus mehreren Leistungshalbleitern zum Einsatz kommt, und im Fall des DC/DC-Wandlers Leistungshalbleiter zum Herabsetzen einer Hochvolt- in eine Niedervolt-Gleichspannung (und eventuell auch umgekehrt).
- Die Leistungshalbleiter waren und sind bislang mehrheit-

lich aus Silizium (Si) gefertigt und als IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistors) ausgebildet, wodurch bei der derzeit in Pkw mit elektrischem Antriebsstrang verbreiteten 400-Volt-Spannungslage das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis erreicht wird. Sie werden aber im Zuge der bevorstehenden stärkeren Verbreitung von Pkw mit 800-Volt-Spannungslage durch Leistungshalbleiter aus Siliziumkarbid (SiC) in Form von MOSFETs (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistors) ersetzt werden.

- Im weiteren Verlauf werden für die Leistungselektronik SiC-Leistungshalbleiter angenommen. Diese verfügen bei gleicher Baugröße über eine deutlich höhere Schaltleistung als die klassischen Si-Leistungshalbleiter⁸ und eignen sich somit nicht nur besser für Merkmale und Anforderungen der 800-Volt-Spannungsebene, sondern helfen auch, Energie zu sparen und dadurch die Reichweite von Elektroautos stark zu erhöhen.⁹

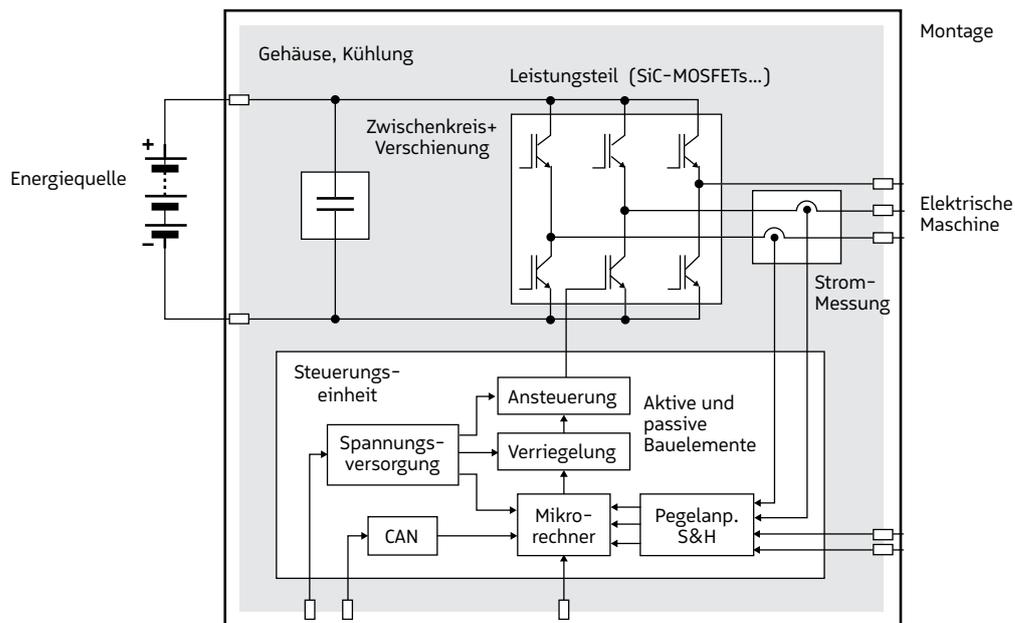


Abbildung 2: Exemplarische Darstellung des Inverters einer Leistungselektronik für elektrische Antriebe
Quelle: Hofmann 2014, S. 205

BRENNSTOFFZELLENSYSTEM

- Von der Brennstoffzelle, dem Kern eines Brennstoffzellensystems, existieren unterschiedliche Varianten,

von denen für einen Einsatz als Gleichstrom-Energiequelle in Kraftfahrzeugen ausschließlich die Polymerelektrolytbrennstoffzelle (PEFC, Polymere Electrolyte Fuel Cell, umgangssprachlich PEM, Polymer Electrolyte Membrane / Proton Exchange Membrane)

⁸ Vgl. <https://www.all-electronics.de/elektronik-entwicklung/siliziumkarbid-halbleiter-auf-der-ueberholspur.html>.

⁹ Vgl. <https://www.springerprofessional.de/halbleiter/elektromobilitaet/welche-rolle-spielt-siliziumkarbid-fuer-die-elektromobilitaet-/17354930>.

- aufgrund ihrer im Vergleich zu den anderen Brennstoffzellenvarianten in Kombination geringeren Anforderungen an Betriebsbedingungen, Materialeigenschaften und Oxidationsmittel (Luft) für das Brenngas (Wasserstoff) infrage kommt.
- Die Brennstoffzelle setzt sich wiederum aus einem Stapel beziehungsweise Stack mehrerer einzelner Zellen aus Bipolarplatten (BPP), Gasdiffusionslagen (GDL) sowie elektrochemisch aktiven Katalysatorschichten zusammen, die beidseitig auf einer für die Brennstoffzellenvariante namensgebenden Polymerelektrolytmembran aufgebracht sind und mit dieser eine Membran-Elektroden-Anordnung (MEA, Catalyst Coated Membrane, CCM) bilden.
- Zusätzlich zur Brennstoffzelle besteht das Brennstoffzellensystem aus der Balance of Plant (BoP), die Pumpen, Sensoren und weitere für die Funktion des Systems wichtige Komponenten umfasst und in Anodenmodul (Wasserstoffzuführung inklusive des Wasserstofftanks), Kathodenmodul (Luftzuführung) und Kühlmittelzuführung unterteilt werden kann.
- Verbesserungen beim Brennstoffzellensystem mit PEFC/PEM-Brennstoffzelle lassen sich vor allem über die Systemkosten erreichen, die sich etwa durch eine Erhöhung der Betriebstemperatur und eine Verringerung der Katalysatorbelastung senken lassen, sowie über die Lebensdauer der im Stapel beziehungsweise Stack eingesetzten Komponenten, die auf 25.000 Stunden erhöht werden muss.
- Zur gasförmigen Speicherung des Brenngases Wasserstoff für das Brennstoffzellensystem mit PEFC/PEM-Brennstoffzelle kommen derzeit Systeme mit einem Druck in Höhe von 350 bar und 700 bar zum Einsatz, wobei letztere wesentlich größere Reichweiten auf Kosten eines höheren technischen Aufwands bieten und auch in den derzeit auf dem Markt verfügbaren Pkw mit Brennstoffzellenelektrischem Antrieb eingesetzt werden.
- Im weiteren Verlauf wird ein Brennstoffzellensystem mit einer PEFC/PEM-Brennstoffzelle als Energiequelle eines Brennstoffzellenelektrischen Fahrzeugs (FCEV) angenommen, wobei der Wasserstofftank im Rahmen dieser Veröffentlichung nicht berücksichtigt werden kann.

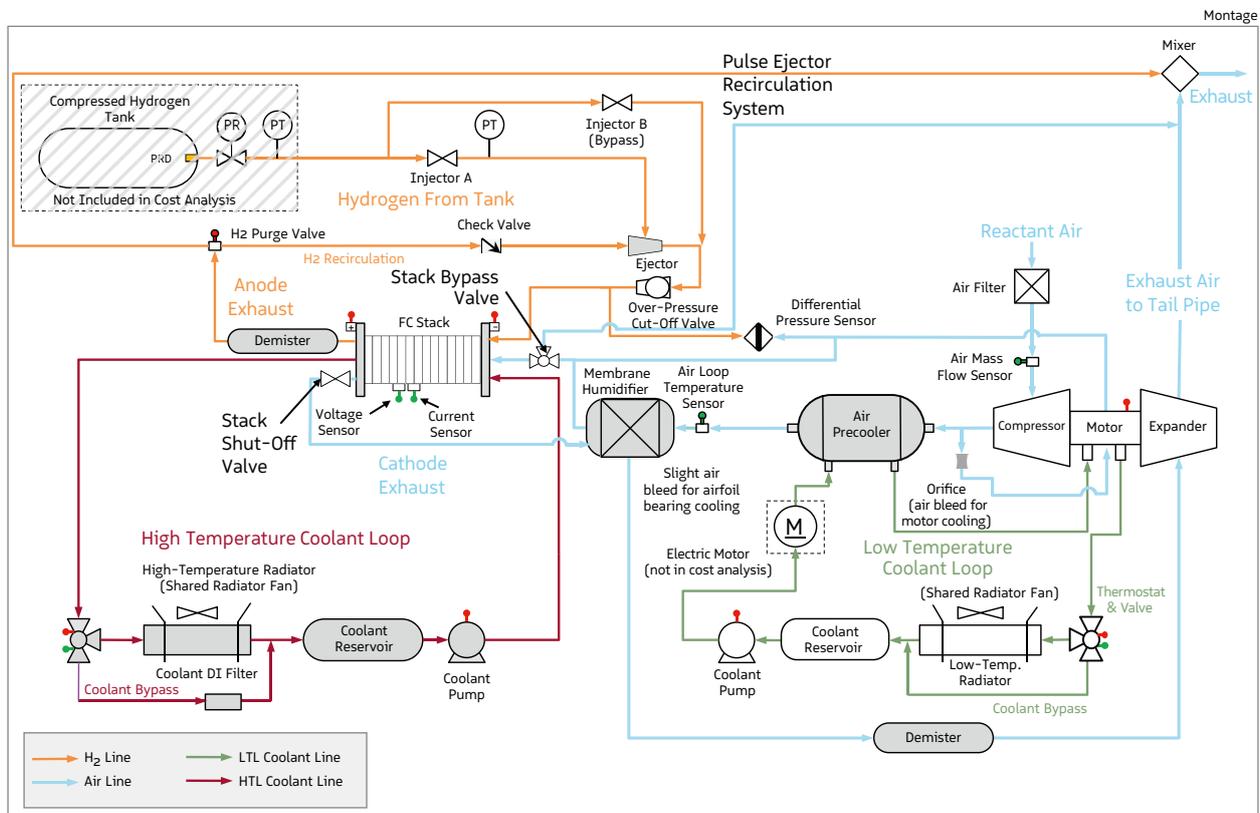


Abbildung 3: Exemplarische Darstellung eines Brennstoffzellensystems für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge mit PEFC/PEM-Brennstoffzelle
Quelle: James et al. 2018, S. 9

2.2 BETRACHTETE WERTSCHÖPFUNGSUMFÄNGE

- Gemäß der Methodik aus dem Projekt zur ELAB-2.0-Studie zur Ermittlung von Beschäftigungseffekten werden vor der Bestimmung von Personalbedarfen zur Herstellung einer Komponente zunächst technische Spezifikationen sowie zu betrachtende Wertschöpfungsumfänge festgelegt, um auch bei von unterschiedlichen Quellen erhobenen Daten eine gemeinsame Bezugsbasis zu haben.
- Für Leistungselektronik werden 100 kW als technische Spezifikation aus der ELAB-2.0-Studie beibehalten. Die Wertschöpfungsumfänge für Leistungselektronik werden gegenüber der ELAB-2.0-Studie aufgrund des oben genannten bevorstehenden Wechsels von Si- zu SiC-Leistungshalbleitern neu festgelegt. Dies bietet Unternehmen neue Möglichkeiten zur Generierung von Wertschöpfung und Beschäftigung. Auf diese Weise steigt auch die Anzahl der für Leistungselektronik berücksichtigten Wertschöpfungsumfänge gegenüber der ELAB-2.0-Studie deutlich von sechs auf neun an.
- Dies ist unter anderem darin begründet, dass die Herstellung der SiC-Leistungshalbleiter selbst (der Front-End-Prozess) im Gegensatz zu den Si-Leistungshalbleitern bei den Wertschöpfungsumfängen berücksichtigt werden kann. Allerdings sind die Wertschöpfungsumfänge von Leistungselektronik auch zu großen Teilen sehr gut automatisierbar und daher nicht mit einem proportional zur Anzahl ansteigenden Personalbedarf verbunden.
- Beim Brennstoffzellensystem werden als technische Spezifikation zusätzlich zum Typ (PEFC/PEM) ebenfalls 100 kW festgelegt, damit der im weiteren Verlauf analysierte FCEV-Antriebsstrang mit den anderen Antriebssträngen (ICEV, PHEV, BEV) vergleichbar ist.
- Bei der Analyse und Festlegung der zugehörigen Wertschöpfungsumfänge wird deutlich, dass das Brennstoffzellensystem insbesondere gegenüber der Traktionsbatterie als alternative Energiequelle für rein elektrische Antriebsstränge mit erheblichen Wertschöpfungs- und entsprechend auch Beschäftigungspotenzialen verbunden ist. Auch eine Automatisierbarkeit ist nicht im gleichen Maße wie etwa bei Leistungselektronik gegeben. Trotzdem lässt sich mit dem Brennstoffzellensystem bei Weitem nicht die Anzahl der Wertschöpfungsumfänge erreichen, die mit einem Verbrennungsmotor verbunden ist.
- Abbildung 4 zeigt einen **Vergleich der Anzahl der Wertschöpfungsumfänge** eines Verbrennungsmotors (Internal Combustion Engine, ICE) mit der von Leistungselektronik und eines Brennstoffzellensystems. Dabei entfallen 15 Wertschöpfungsumfänge auf die ICE und jeweils neun auf die Leistungselektronik und das Brennstoffzellensystem. Eine ausführliche Darstellung der Wertschöpfungsumfänge mit weiteren Komponenten des Antriebsstrangs befindet sich im Anhang.

KOMPONENTEN					
ICE Benzin/Diesel, 4-Zylinder, 100 kW		Leistungselektronik - alt DC/DC-, AC/DC-Wandler...	LEISTUNGSELEKTRONIK DC/DC-, AC/DC-Wandler...	BRENNSTOFFZELLENSYSTEM PEM, 100 kW	
Prozessschritte / „Wertschöpfungskettenglieder“	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			
	10	Kolben gießen, fräsen, polieren			
	9	Ölwanne tiefziehen, lackieren	Leistungshalbleiter herstellen (Frontend)	Wasserstofftank herstellen	
	8	Laufbuchse hohnen, pressen, polieren	Leistungshalbleiter-Module herstellen (Backend)	Komponenten für das Anodenmodul (Wasserstoffkreislauf) der Balance of Plant (BoP) herstellen	
	7	Zylinderkopf herstellen	Leistungsteil mit B6-Brücke herstellen	Komponenten für das Kathodenmodul (Luftkreislauf) der Balance of Plant (BoP) herstellen	
	6	Zylinderkopfdichtung stanzen, kleben	Teile Leistungsmodul herstellen: IGBTs, DCB, Bodenplatte, Gehäuse	Komponenten für den Kühlmittelkreislauf der Balance of Plant (BoP) herstellen	
	5	Zylinderkopfabdeckung herstellen	Leistungsmodul montieren	Pulswechselrichtermodul herstellen	Gasdiffusionslagen (GDL) herstellen
	4	Nockenwelle gießen, härten, zusammenbauen, fräsen	Kondensator herstellen	DC/DC-Wandler fertigstellen und prüfen	Bipolarplatten (BPP) herstellen
	3	Ventiltrieb herstellen: Ventile (Ein- u. Ausl.), Führung, Tassenstößel, Federn	Steuerungselektronik herstellen	Steuerungselektronik herstellen	Membran-Elektroden-Anordnung (MEA)/Catalyst Coated Membrane (CCM) herstellen
	2	Steuerriemen stanzen und montieren	Gehäuse Steuerungselektronik gießen	Gehäuse gießen	Stack montieren, prüfen und in Betrieb nehmen
	1	ICE montieren	Montage Leistungselektronik: L-Modul fixieren, Kondensatoren und Steuerungselektronik montieren, Gehäuse schließen	Endmontage und Endprüfung Leistungselektronik	System montieren und testen
0	Fahrzeugeinbau durch OEM				

- Wertschöpfungsumfang steht im Fokus und ist in den ausgewiesenen Personalbedarfen berücksichtigt
- Wertschöpfungsumfang steht im Fokus, konnte aber in den ausgewiesenen Personalbedarfen nicht berücksichtigt werden
- Wertschöpfungsumfang steht nicht im Fokus und ist hier nur der Vollständigkeit halber aufgeführt

Abbildung 4: Wertschöpfungsumfänge bei Verbrennungsmotor, Leistungselektronik und Brennstoffzellensystem (von links nach rechts)
Quelle: eigene Darstellung, in Anlehnung an Bauer et al. 2019, S. 47

- Für das Brennstoffzellensystem werden die betrachteten Wertschöpfungsumfänge heute nur in kleinen Stückzahlen umgesetzt. Eine Großserienproduktion ist erst in einigen Jahren vorgesehen.
- Der brennstoffzellenelektrische Antriebsstrang umfasst zusätzlich zum Brennstoffzellensystem eine elektrische

Maschine und eine kleine Batterie – jeweils mit dem Personalbedarf aus der ELAB-2.0-Studie – sowie eine Leistungselektronik (je nach Untersuchung entweder ebenfalls mit den alten Personalbedarfen aus der ELAB-2.0-Studie oder mit den aktuell erhobenen Personalbedarfen).

2.3 ERHOBENE PERSONALBEDARFE

- Auf Basis der oben genannten technischen Spezifikationen und Wertschöpfungsumfänge je Komponente konnten Personalbedarfe für die Herstellung von Leistungselektronik und des Brennstoffzellensystems bei **Unternehmen aus der Automobil- und Zulieferindustrie** erhoben werden.
- Die Detailliertheit der Darstellung der nachfolgenden Daten wurde bewusst so gewählt, dass sie eine Untersuchung der Beschäftigungseffekte ermöglicht, jedoch keine Rückschlüsse auf konkrete Beschäftigtenzahlen bei einzelnen Unternehmen gezogen werden können.

LEISTUNGSELEKTRONIK

- Während in den beiden vorangegangenen ELAB-Studien für die Leistungselektronik für elektrische Antriebe lediglich ein Beschäftigungsanteil der Wertschöpfungs-

kette von 55 % betrachtet wurde, konnte bei den aktuell erhobenen Daten **ein Anteil von 90 %** in den Blick genommen werden. Daraus ergeben sich im Jahr 2021 (netto) ungefähr doppelt so viele Beschäftigte, wie im Jahr 2016 (durch ELAB und ELAB 2.0) ermittelt wurden.

Alte Daten aus der ELAB- und der ELAB-2.0-Studie, siehe Spath et al. 2012 und Bauer et al. 2019, S. 100:

ANALYSIERTER ANTEIL DER BESCHÄFTIGUNG IN DER BETRACHTETEN WERTSCHÖPFUNGSKETTE	BESCHÄFTIGTE (NETTO ¹⁰) IM JAHR 2016 BEI		
	250.000 STÜCK/A	1.000.000 STÜCK/A	
55 %	Dir.	74	296
	Prodn. ind.	32	88
	Ind.	12	31
Summe:	118	415	

Aktuell erhobene Daten:

ANALYSIERTER ANTEIL DER BESCHÄFTIGUNG IN DER BETRACHTETEN WERTSCHÖPFUNGSKETTE	BESCHÄFTIGTE (NETTO ¹⁰) IM JAHR 2021 BEI		
	200.000 STÜCK/A	1.000.000 STÜCK/A	
90 %	Dir.	Gegenüber der ELAB- und der ELAB-2.0-Studie circa doppelt so viele ¹¹	
	Prodn. ind.		
	Ind.		
Summe:			

Tabelle 1: Personalbedarfe zur Herstellung von Leistungselektronik gemäß der ELAB- und der ELAB-2.0-Studie (links) sowie gemäß aktuell erhobenen Daten (rechts), Quelle: eigene Darstellung

¹⁰ Zeit für Urlaub, Krankheit und sonstige Tätigkeiten ist nicht berücksichtigt.

¹¹ Damit Rückschlüsse auf einzelne Unternehmen nicht möglich sind, werden zu den aktuell erhobenen Daten keine konkreten Zahlen genannt.

BRENNSTOFFZELLENSYSTEM

- Im Vergleich dazu konnte für das Brennstoffzellen-system für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge lediglich **ein Anteil von 45 %** der Beschäftigten in der Wertschöpfungskette betrachtet werden, während der Anteil 2016 noch bei damals angenommenen 50 % (ohne Wasserstoffspeicher) gelegen hat.
- Aus den aktuell erhobenen Daten konnte ermittelt werden,

dass die Personalbedarfe für FCEV im Jahr 2021 bei 448 Beschäftigten (bei einer jährlichen Produktion von 40.000 Stück) liegen. Bei einer Produktion von einer Million Stück im Jahr erhöht sich der Personalbedarf auf 2.040 Beschäftigte (siehe Tabelle 2).

- Die genannten Daten stellen einen deutlichen Anstieg zu der Erhebung aus der ELAB-Studie aus dem Jahr 2012 dar und zeigen, dass FCEV sogar bei einer Betrachtung von nur 45 % der Wertschöpfungskette ein **hohes Beschäftigungspotenzial** aufweisen.

Alte Daten aus der ELAB-Studie, siehe Spath et al. 2012, S. 126:

Aktuell erhobene Daten:

ANALYSIERTER ANTEIL DER BESCHÄFTIGUNG IN DER BETRACHTETEN WERTSCHÖPFUNGSKETTE		BESCHÄFTIGTE (NETTO ¹⁰) IM JAHR 2016 BEI		ANALYSIERTER ANTEIL DER BESCHÄFTIGUNG IN DER BETRACHTETEN WERTSCHÖPFUNGSKETTE		BESCHÄFTIGTE (NETTO ¹⁰) IM JAHR 2021 BEI	
		15.000 STÜCK/A	100.000 STÜCK/A			40.000 STÜCK/A	1.000.000 STÜCK/A
50 % (ohne Wasserstoffspeicher)	Dir.	38	158	45 %	Dir.	189	1.160
	Prodn. ind.	14	49		Prodn. ind.	114	528
	Ind.	5	17		Ind.	145	352
Summe:		57	224	Summe:		448	2.040

Tabelle 2: Personalbedarfe zur Herstellung von Brennstoffzellensystemen gemäß der ELAB-Studie (links) sowie gemäß aktuell erhobenen Daten (rechts)
Quelle: eigene Darstellung

2.4 DARSTELLUNG DER SZENARIEN

- Als Grundlage für die Berechnung der ermittelten Personalbedarfe wurden **zwei Szenarien** entwickelt, die auf aktuellen Prognosen des Verbands der Automobilindustrie e. V. (VDA) zum Anteil der Elektrofahrzeuge an der Fahrzeugproduktion in Deutschland¹² sowie auf weiteren Fachpublikationen basieren.¹³
- Beide Szenarien liefern eine auf aktuellen Einschätzungen basierende Prognose für die Verteilung produzierter

Antriebsstränge für den deutschen Absatzmarkt bis zum Jahr 2030.

- Der Anteil von Fahrzeugen mit brennstoffzellenelektrischem Antrieb (FCEV) wurde auf Basis von verschiedenen Experteninterviews mit Interviewpartnern aus der Automobil- und Zulieferindustrie sowie durch geeignete Veröffentlichungen ermittelt.¹⁴

SZENARIO OHNE BRENNSTOFFZELLELEKTRISCHE ANTRIEBSSTRÄNGE – „NPM-55“

- Im **Szenario „NPM-55“** steigt der Anteil der Pkw mit batterieelektrischem Antrieb auf insgesamt 76 % im Jahr 2030. Für BEV wird ein Anteil von 26 % im Jahr 2025 angenommen, der bis 2030 auf 53 % steigt. Für PHEV liegt der Anteil im Jahr 2025 bei 13 % und erhöht sich auf 23 % im Jahr 2030.

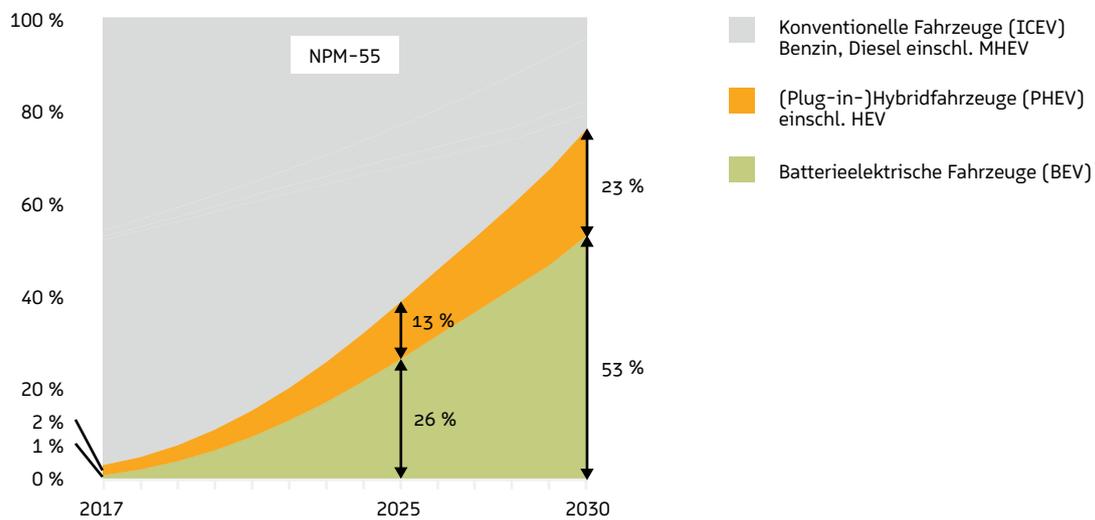


Abbildung 5: Szenario ohne brennstoffzellenelektrische Antriebsstränge – „NPM-55“
Quelle: eigene Darstellung

¹² Vgl. NPM 2021.

¹³ Vgl. Meessen et al. 2020.

¹⁴ Vgl. FEV Whitepaper 2021, Roland Berger 2020.

SZENARIO MIT BRENNSTOFFZELLENELEKTRISCHEN ANTRIEBSSTRÄNGEN – „NPM-55 MIT FCEV“

- Im Szenario „NPM-55 mit FCEV“ steigt der Anteil von Pkw mit batterieelektrischem Antrieb ebenfalls auf 76 % im Jahr 2030. Zusätzlich wird ein Anteil von FCEV von 3 % im Jahr 2030 zulasten konventioneller Fahrzeuge angenommen. Ein messbarer Anteil von FCEV von über 0,1 % wird erst ab dem Jahr 2023 angenommen.

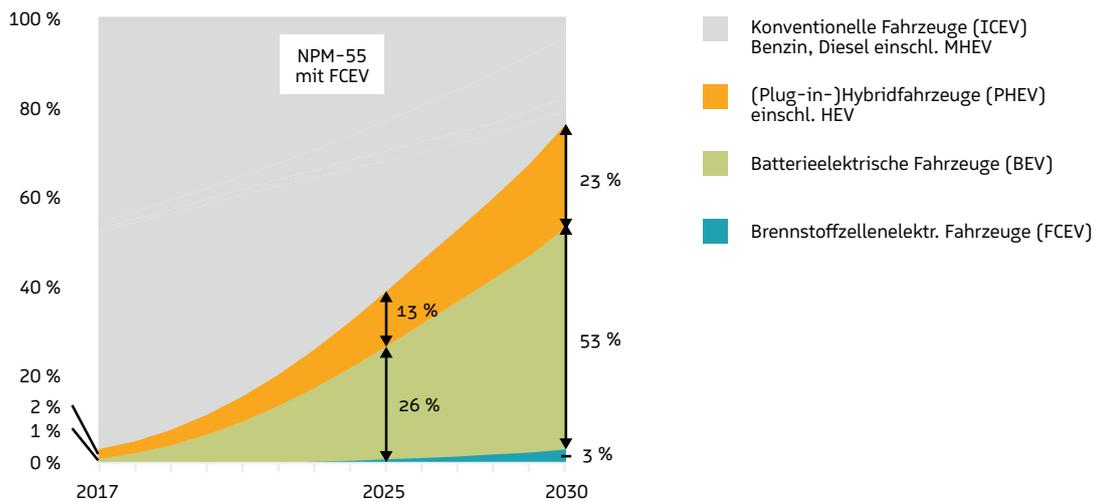


Abbildung 6: Szenario mit brennstoffzellelektrischen Antriebssträngen – „NPM-55 mit FCEV“
Quelle: eigene Darstellung

2.5 ERMITTELTE BESCHÄFTIGUNGSEFFEKTE

- Im Rahmen dieses Kapitels werden die Effekte auf die Beschäftigung untersucht, die sich aus den in Kapitel 2.4 dargestellten Szenarien ergeben. Dies geschieht auf Basis der in der Studie ELAB 2.0 dargelegten Methodik.
- Als Personalbedarfe zur Herstellung der betrachteten Komponenten werden einerseits die schon in der

ELAB-2.0-Studie verwendeten (alten) Daten herangezogen und andererseits die für die Leistungselektronik und das Brennstoffzellensystem aktuell erhobenen, in Kapitel 2.3 ausgewiesenen Daten eingesetzt. In Anlehnung an das Vorgehen in der ELAB-2.0-Studie erfolgen zunächst Analysen ohne und anschließend mit Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen.

BESCHÄFTIGUNGSEFFEKTE OHNE BERÜCKSICHTIGUNG VON PRODUKTIVITÄTSSTEIGERUNGEN

- Grundsätzlich zeigt sich ein Rückgang des Personalbedarfs bis zum Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 2017 um circa 20 %. Selbst wenn Komponenten mit einem grö-

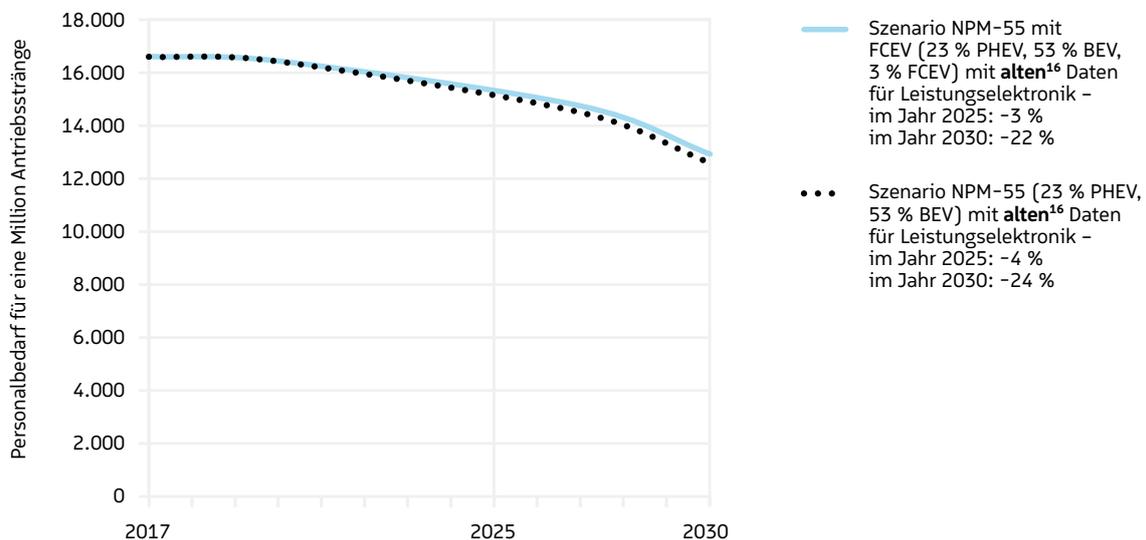
ßeren Personalbedarf anstatt solcher mit einem geringeren Personalbedarf betrachtet (Leistungselektronik mit aktuell erhobenen statt mit alten Daten) oder bei der Untersuchung der Beschäftigungseffekte zusätzlich herangezogen werden (Brennstoffzellensystem im Szenario NPM-55 mit FCEV), kommt es auf Basis der hier betrachteten Szenarien höchstens zu einer Dämpfung des Rückgangs des Gesamt-Personalbedarfs um wenige

Prozentpunkte, nicht aber zu einem gleichbleibenden oder gar ansteigenden Gesamt-Personalbedarf.

- Trotzdem ist es erforderlich, jeden Faktor auszunutzen, der vor dem Hintergrund der Dekarbonisierung des Straßenverkehrs einen Beitrag zum Erhalt von Beschäftigung leistet.
- Im Fall des Brennstoffzellensystems besteht der Beitrag darin, dass der Gesamt-Personalbedarf bis zum Jahr 2030 statt um 24 % wie im Szenario NPM-55 lediglich um 22 % im Szenario NPM-55 mit FCEV und damit um zwei Prozentpunkte weniger zurückgeht.

- Dies entspricht – auf Basis der Referenzgröße einer Million hergestellter Antriebsstränge – **circa 300 Beschäftigten**.

- Im Fall der alten Daten für Leistungselektronik geht die Zahl der Beschäftigten – auf Basis einer Million hergestellter Antriebsstränge – von circa 16.600 im Jahr 2017 auf circa 12.600 beziehungsweise 12.900 im Jahr 2030 zurück, was auch eine Abnahme des Personalbedarfs für ICE (Benzin und Diesel) in Höhe von circa 4.600 Beschäftigten umfasst.



Prozentuale Veränderungen beziehen sich auf das Jahr 2017
 Abbildung 7: Ermittelte Effekte auf die Saldo-Beschäftigung (brutto¹⁵) im Szenario NPM-55 ohne und mit FCEV mit alten¹⁶ Daten für Leistungselektronik ohne Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen
 Quelle: eigene Darstellung

- Im Fall der Leistungselektronik ist der Beitrag zum Erhalt von Beschäftigung vergleichbar mit dem des Brennstoffzellensystems und besteht ebenfalls darin, dass der Gesamt-Personalbedarf auf Basis der aktuell erhobenen Daten gegenüber dem Gesamt-Personalbedarf auf Basis der alten Daten **um 2,5 Prozentpunkte weniger** zurückgeht.
- Dies entspricht – auf Basis der Referenzgröße einer

Million hergestellter Antriebsstränge – **circa 450 Beschäftigten**.

- Exemplarisch sei unter Vernachlässigung des brennstoffzellenelektrischen Antriebs für das Szenario NPM-55 genannt, dass der Gesamt-Personalbedarf bis zum Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 2017 auf Basis der alten Daten für Leistungselektronik um circa 24 % von circa 16.600 auf circa 12.600 Beschäftigte und auf Basis der aktuell erhobenen Daten für Leistungselektronik um

¹⁵ Tatsächlicher Personalbedarf zur Herstellung vorgesehener, auf kurz-, mittel- und langfristigen Produktions- und Absatzplanungen basierender Stückzahlen (berücksichtigt etwa Fehlzeiten aufgrund von urlaubs- und krankheitsbedingter Abwesenheit oder Ähnlichem).

¹⁶ Daten aus der ELAB- und der ELAB-2.0-Studie, siehe Spath et al. 2012 und Bauer et al. 2019.

circa 21,5 % von circa 16.600 auf circa 13.000 Beschäftigte (jeweils auf Basis einer Million hergestellter Antriebsstränge) sinkt.

- Gegenüber dem Szenario NPM-55 mit alten Daten für Leistungselektronik wird der Rückgang des Gesamt-

Personalbedarfs durch eine zusätzliche Betrachtung des Brennstoffzellensystems im Szenario NPM-55 mit FCEV und auf Basis der aktuell erhobenen Daten für Leistungselektronik **um 4,5 Prozentpunkte** gedämpft. Dies entspricht – auf Basis der Referenzgröße einer Million hergestellter Antriebsstränge – **circa 800 Beschäftigten**.

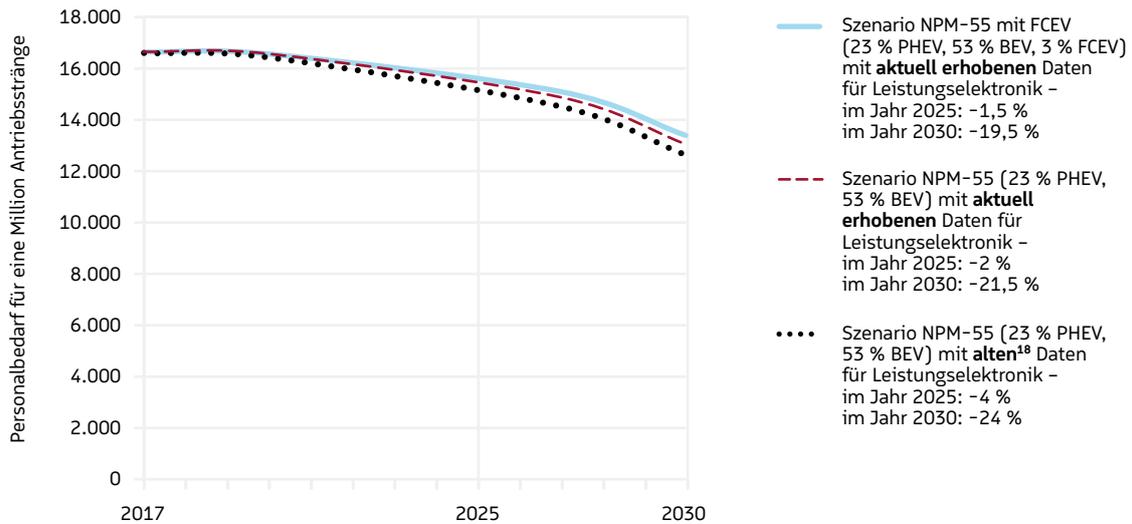


Abbildung 8: Ermittelte Effekte auf die Saldo-Beschäftigung (brutto¹⁷) im Szenario NPM-55 ohne und mit FCEV mit aktuell erhobenen und alten¹⁸ Daten für Leistungselektronik ohne Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen
Quelle: eigene Darstellung

- Aufgrund des relativ großen Anteils der Leistungselektronik an den aufgezeigten Auswirkungen auf Personalbedarfe werden die damit zusammenhängenden Beschäftigungseffekte auf Basis der Szenarien NPM-55 ohne und mit FCEV nachfolgend noch einmal separat beleuchtet.
- Mit der Verbreitung hybrider und insbesondere rein elektrischer Antriebsstränge und ihrer wesentlichen Komponenten steigen auch die hergestellten Stückzahlen von Leistungselektronik. Dies führt zu einer erheblichen Zunahme der zugehörigen Personalbedarfe.
- So wachsen die Personalbedarfe, die auf aktuell für die Leistungselektronik erhobenen Daten basieren (pro einer Million hergestellter Antriebsstränge), in beiden Szenarien ausgehend von circa 120 auf knapp 1.000

Beschäftigte. Dies entspricht einer Zunahme um circa 700 % oder circa 900 Personen. Diese Zunahme des Personalbedarfs in Höhe von 900 Beschäftigten entspricht **20 % des Personalbedarf-Rückgangs bei ICE** (Benzin und Diesel).

- Ein nennenswerter Unterschied zwischen den Szenarien ist dabei aufgrund des noch geringen Anteils von FCEV nicht festzustellen. Die genannten 1.000 Beschäftigten (pro einer Million hergestellter Antriebsstränge) entsprechen circa **8 % aller Beschäftigten im Jahr 2030**. Bei den Personalbedarfen, die auf alten Daten für Leistungselektronik basieren, tritt sogar ein Wachstum von über 800 % ein. Dies entspricht aufgrund des geringen Personalbedarfs beim Ausgangspunkt im Jahr 2017 lediglich einer **Zunahme von circa 60 auf circa 550 Beschäftigte**.

¹⁷ Tatsächlicher Personalbedarf zur Herstellung vorgesehener, auf kurz-, mittel- und langfristigen Produktions- und Absatzplanungen basierender Stückzahlen (berücksichtigt etwa Fehlzeiten aufgrund von urlaubs- und krankheitsbedingter Abwesenheit oder Ähnlichem).

¹⁸ Daten aus der ELAB- und der ELAB-2.0-Studie, siehe Spath et al. 2012 und Bauer et al. 2019.

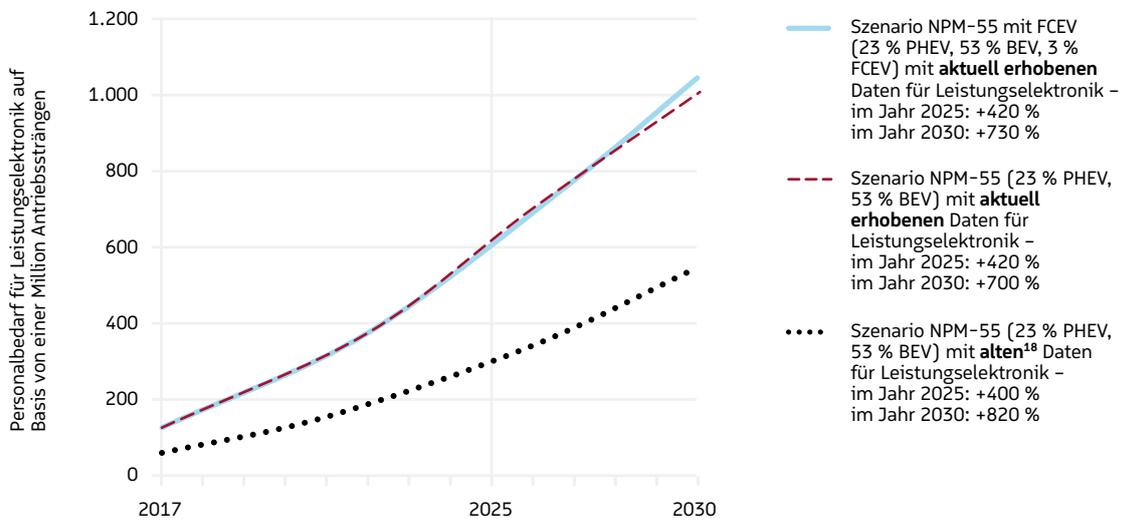


Abbildung 9: Ermittelte Effekte auf die Beschäftigung bei Leistungselektronik im Szenario NPM-55 ohne und mit FCEV ohne Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen
 Prozentuale Veränderungen beziehen sich auf das Jahr 2017
 Quelle: eigene Darstellung

BESCHÄFTIGUNGSEFFEKTE MIT BERÜCKSICHTIGUNG VON PRODUKTIVITÄTSSTEIGERUNGEN

- Grundsätzlich zeigt sich ein Rückgang des Personalbedarfs bis zum Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 2017 um mehr als 40 %. Auch bei der Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen lässt sich höchstens ein Beitrag zur Dämpfung des Rückgangs des Gesamt-Personalbedarfs um wenige Prozentpunkte leisten.
- Im Fall des Brennstoffzellensystems besteht der Beitrag darin, dass der Gesamt-Personalbedarf bis zum Jahr 2030 statt um 47,5 % wie im Szenario NPM-55 um 46,5 % im Szenario NPM-55 mit FCEV und damit um **einen Prozentpunkt weniger** zurückgeht.
- Dies entspricht – auf Basis der Referenzgröße einer Million hergestellter Antriebsstränge – etwas weniger als 200 Beschäftigten und ergibt sich, sofern in den beiden Szenarien jeweils entweder die alten oder die aktuell erhobenen Daten für Leistungselektronik zugrunde gelegt sind.
- Im Fall der alten Daten für Leistungselektronik geht die Zahl der Beschäftigten (pro einer Million hergestellter Antriebsstränge) von circa 16.300 im Jahr 2017 zurück auf etwas mehr als 8.500 beziehungsweise auf circa 8.700 im Jahr 2030, was auch eine Abnahme des Personalbedarfs für ICE (Benzin und Diesel) in Höhe von circa 5.800 Beschäftigten umfasst.

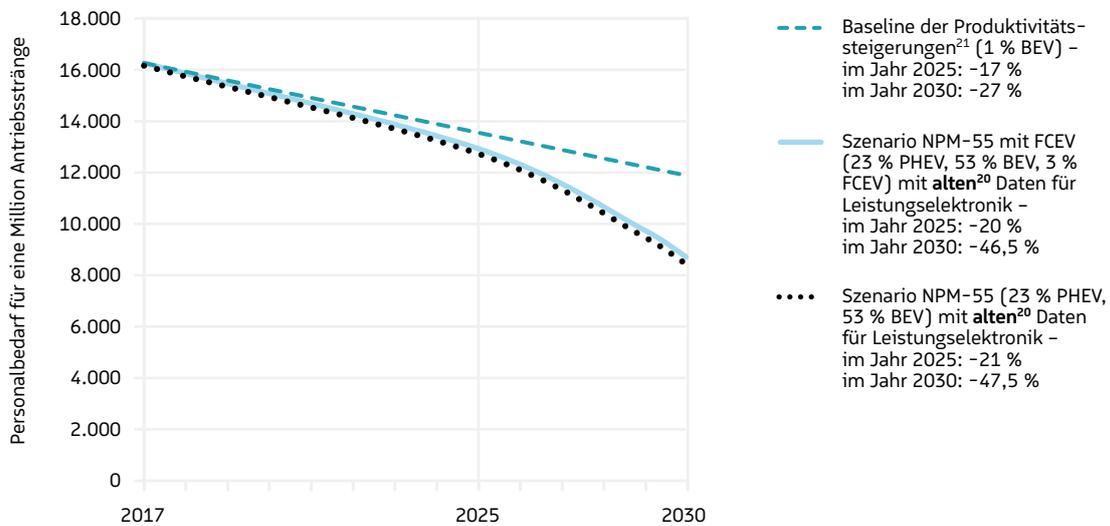


Abbildung 10: Ermittelte Effekte auf die Saldo-Beschäftigung (brutto¹⁹) im Szenario NPM-55 ohne und mit FCEV mit alten²⁰ Daten für Leistungselektronik mit Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen²¹
 Prozentuale Veränderungen beziehen sich auf das Jahr 2017
 Quelle: eigene Darstellung

- Im Fall der Leistungselektronik ist der Beitrag zum Erhalt von Beschäftigung vergleichbar mit dem des Brennstoffzellensystems. So reduziert sich der Rückgang des Gesamt-Personalbedarfs auf Basis der aktuell erhobenen Daten gegenüber dem Gesamt-Personalbedarf auf Basis der alten Daten um **circa 1,5 Prozentpunkte**. Dies entspricht – auf Basis der Referenzgröße einer Million hergestellter Antriebsstränge – **circa 300 Beschäftigten**.
- Exemplarisch sei unter Vernachlässigung des brennstoffzellenelektrischen Antriebs für das Szenario NPM-55 genannt, dass der Gesamt-Personalbedarf bis zum Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 2017 auf Basis der alten Daten für Leistungselektronik **um circa 47,5 % von circa**

16.300 auf circa 8.500 Beschäftigte und auf Basis der aktuell erhobenen Daten für Leistungselektronik **um circa 46 % von circa 16.300 auf circa 8.800 Beschäftigte** (jeweils pro einer Million hergestellter Antriebsstränge) sinkt.

- Gegenüber dem Szenario NPM-55 mit alten Daten für Leistungselektronik wird der Rückgang des Gesamt-Personalbedarfs durch eine zusätzliche Betrachtung des Brennstoffzellensystems im Szenario NPM-55 mit FCEV und auf Basis der aktuell erhobenen Daten für Leistungselektronik **um circa 2,5 Prozentpunkte** gedämpft. Dies entspricht – auf Basis der Referenzgröße einer Million hergestellter Antriebsstränge – **circa 450 Beschäftigten**.

¹⁹ Tatsächlicher Personalbedarf zur Herstellung vorgesehener, auf kurz-, mittel- und langfristigen Produktions- und Absatzplanungen basierender Stückzahlen (berücksichtigt etwa Fehlzeiten aufgrund von urlaubs- und krankheitsbedingter Abwesenheit oder Ähnlichem).

²⁰ Daten aus der ELAB- und der ELAB-2.0-Studie, siehe Spath et al. 2012 und Bauer et al. 2019.

²¹ Angenommene Produktivitätssteigerungen:

- Bei konventionellen Komponenten 2 % p. a. gegenüber dem Jahr 2016
- Bei neuen Komponenten 3 % p. a. gegenüber dem Jahr 2016.

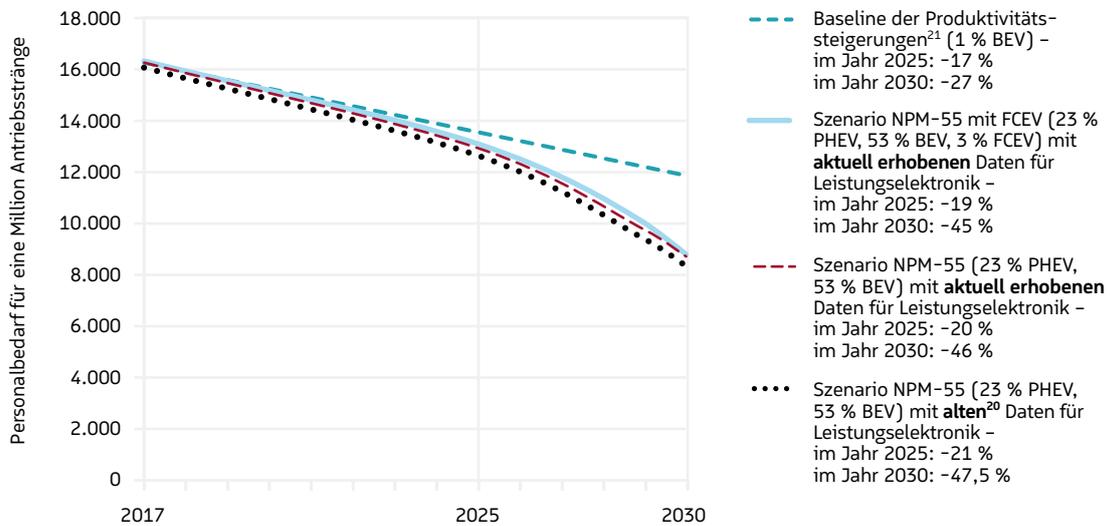


Abbildung 11: Ermittelte Effekte auf die Saldo-Beschäftigung (brutto¹⁹) im Szenario NPM-55 ohne und mit FCEV mit aktuell erhobenen und alten²⁰ Daten für Leistungselektronik mit Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen²¹
 Prozentuale Veränderungen beziehen sich auf das Jahr 2017
 Quelle: eigene Darstellung

- Bei der Leistungselektronik wachsen die Personalbedarfe, die auf aktuell dafür erhobenen Daten basieren, ausgehend von circa 120 auf knapp 600 Beschäftigte (pro einer Million hergestellter Antriebsstränge), was eine Zunahme um circa 400 % oder circa 500 Personen darstellt. Diese Zunahme des Personalbedarfs in Höhe von 500 Beschäftigten entspricht **9 % des Personalbedarf-Rückgangs bei ICE** (Benzin und Diesel).
- Ein nennenswerter Unterschied zwischen den Szenarien ist auch bei Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen aufgrund des noch geringen Anteils von FCEV nicht festzustellen. Die genannten 600 Beschäftigten entsprechen **circa 7 % des Gesamt-Personalbedarfs** im Jahr 2030.
- Bei den Personalbedarfen, die auf alten Daten für Leistungselektronik basieren, tritt ein Wachstum von über 400 % ein. Dies entspricht aufgrund des geringen Personalbedarfs im Ausgangsjahr 2017 lediglich einer Zunahme von circa 60 auf etwas über 300 Beschäftigte (pro einer Million hergestellter Antriebsstränge).

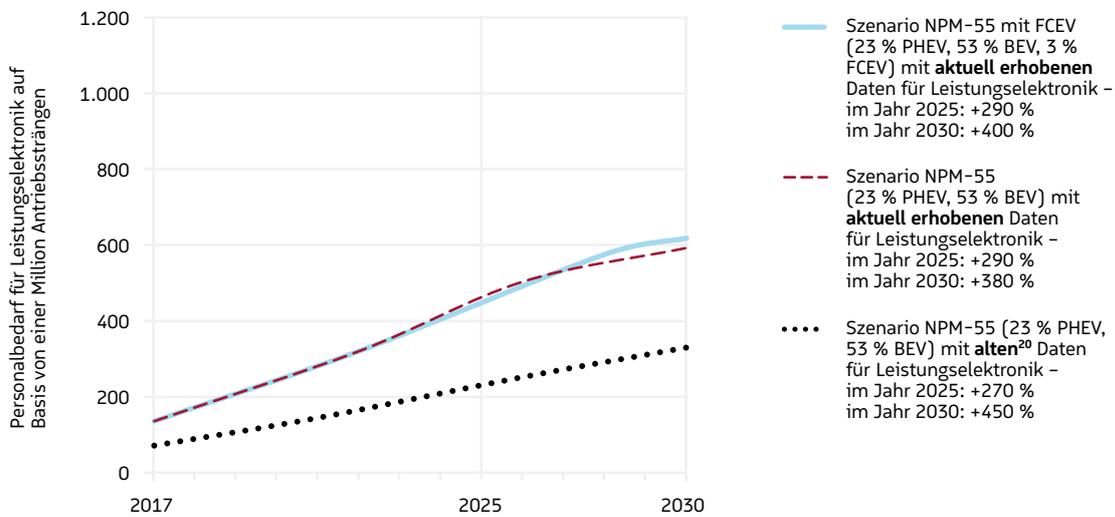


Abbildung 12: Ermittelte Effekte auf die Beschäftigung bei Leistungselektronik im Szenario NPM-55 ohne und mit FCEV mit Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen²¹
 Prozentuale Veränderungen beziehen sich auf das Jahr 2017
 Quelle: eigene Darstellung

- Es wird die Annahme getroffen, dass mithilfe der hier und im Rahmen der ELAB-2.0-Studie erhobenen Daten auch Rückschlüsse auf die Beschäftigung in der Herstellung von Antriebssträngen sowohl in ganz Deutschland als auch in ganz Europa möglich sind.
- Dies soll durch eine Anpassung der Referenzgröße einer Million hergestellter Antriebsstränge gelingen. Dafür werden circa fünf Millionen beziehungsweise circa 16 Millionen Antriebsstränge herangezogen, was laut Angabe des VDA vom 19. April 2021²² der Anzahl der im Jahr 2019 (vor der Coronakrise) in Deutschland beziehungsweise Europa hergestellten Pkw entspricht.
- Ausgehend von Abbildung 7 und Abbildung 8 ergibt sich bei einer Extrapolation auf fünf beziehungsweise 16 Millionen Antriebsstränge für das Jahr 2017 ohne Produktivitätssteigerungen ein **Personalbedarf von 83.000 beziehungsweise 266.000 Beschäftigten**. Werden auf diese Zahlen die Saldo-Effekte aus dem Szenario NPM-55 mit alten Daten für Leistungselektronik (-24 %) sowie aus dem Szenario NPM-55 mit FCEV mit aktuell erhobenen Daten (-19,5 %) angewendet, dann folgt bis 2030 ohne Produktivitätssteigerungen ein Rückgang des Personalbedarfs von **19.900 sowie von 16.200 Beschäftigten** für Deutschland beziehungsweise von **64.000 sowie von 52.000 Beschäftigten** für Europa.
- Die Dämpfung des Rückgangs des Gesamt-Personalbedarfs durch die aktuell erhobenen Daten für Leistungselektronik und FCEV um **4,5 Prozentpunkte** hat hier also eine Größenordnung von 3.700 Beschäftigten für Deutschland beziehungsweise 12.000 Beschäftigten für Europa.
- Ausgehend von Abbildung 10 und Abbildung 11 ergibt sich bei einer Extrapolation auf fünf beziehungsweise 16 Millionen Antriebsstränge für das Jahr 2017 mit Produktivitätssteigerungen ein Personalbedarf von **82.000 beziehungsweise 261.000 Beschäftigten**. Werden auf diese Zahlen die Saldo-Effekte aus dem Szenario NPM-55 mit alten Daten für Leistungselektronik (-47,5 %) sowie aus dem Szenario NPM-55 mit FCEV mit aktuell erhobenen Daten (-45 %) angewendet, dann folgt bis 2030 mit Produktivitätssteigerungen ein Rückgang des Personalbedarfs von 39.000 sowie von 37.000 Beschäftigten für Deutschland beziehungsweise von **124.000 sowie von 117.000 Beschäftigten** für Europa.
- Die Dämpfung des Rückgangs des Gesamt-Personalbedarfs durch die aktuell erhobenen Daten für Leistungselektronik und FCEV um **2,5 Prozentpunkte** hat hier also eine Größenordnung von 2.000 Beschäftigten für Deutschland beziehungsweise 7.000 Beschäftigten für Europa.

²² Vgl. <https://www.vda.de/de/services/zahlen-und-daten/jahreszahlen/automobilproduktion.html>.

PERSPEKTIVISCHE BESCHÄFTIGUNGSEFFEKTE NACH DEM JAHR 2030

- Im Rahmen dieses Kapitels erfolgt eine eingehendere Untersuchung der Auswirkungen einer Erhöhung des Anteils von FCEV zulasten des Anteils von BEV auf die Beschäftigung. So sollen die mit diesen beiden Antriebssträngen verbundenen Beschäftigungspotenziale verdeutlicht werden. Als Bezugspunkt dient das Jahr 2030 des Szenarios NPM-55 mit FCEV.

- Es zeigt sich, dass ein linearer Anstieg des Anteils von FCEV auch zu einem linearen Anstieg des Personalbedarfs der beiden (lokal) emissionsfreien Antriebsstränge in Summe führt. Dabei steigt der mit zunehmendem FCEV-Anteil ebenfalls zunehmende Personalbedarf stets stärker an, als der wegen des zurückgehenden BEV-Anteils sinkende Personalbedarf schrumpft.
- Auf Basis der hier getroffenen Annahmen führt ein vollständiger Ersatz aller BEV durch FCEV zu einem **um den Faktor 1,5 größeren Personalbedarf**.

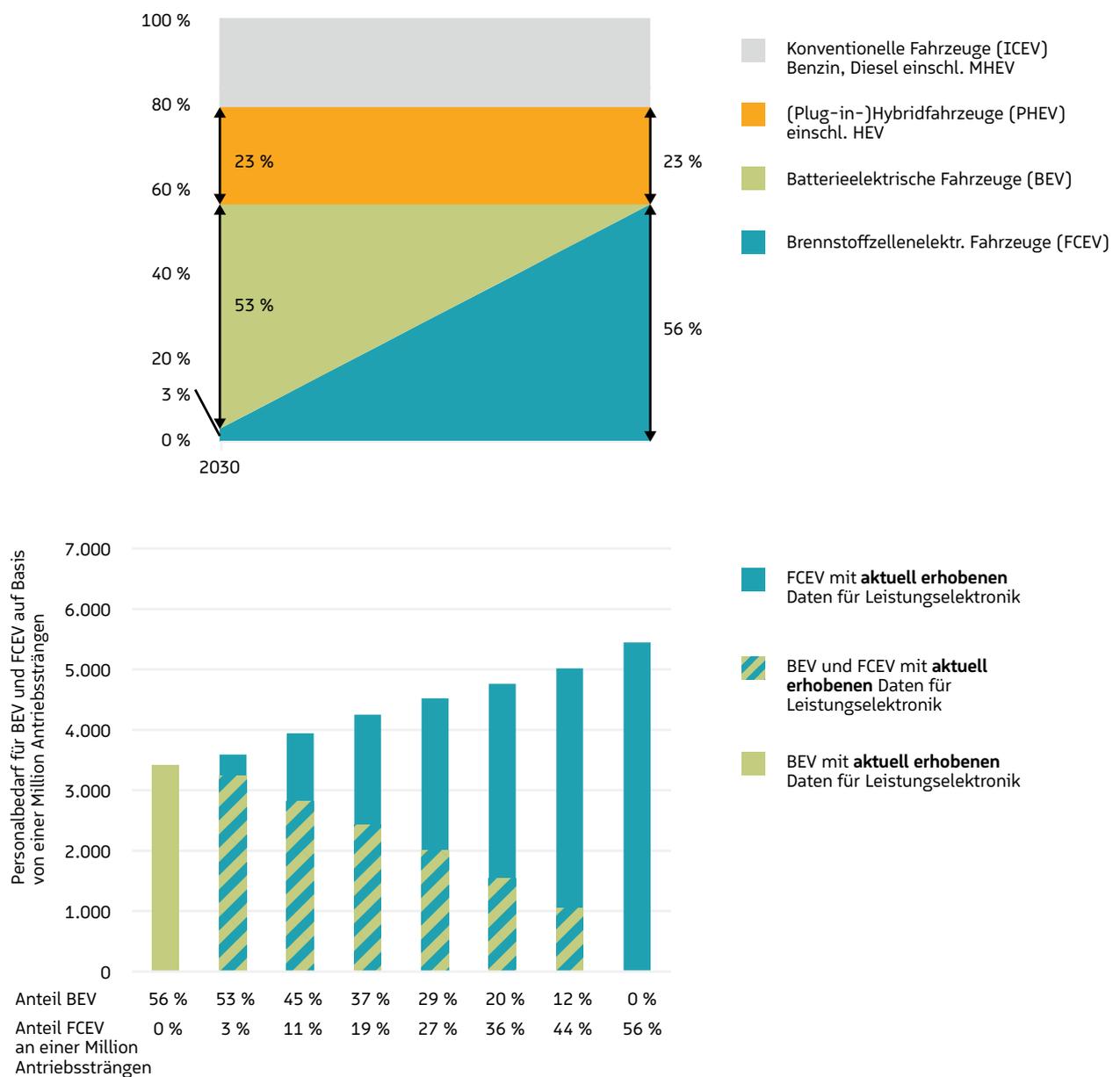


Abbildung 13: Exemplarische Darstellung potenzieller Effekte auf die Beschäftigung bei einer Verbreitung von FCEV anstelle von BEV
Quelle: eigene Darstellung

- Ausgehend von den oben gewonnenen Erkenntnissen wird abschließend eine Analyse der Beschäftigungseffekte bei einer weiteren Dekarbonisierung und damit Elektrifizierung des Straßenverkehrs durchgeführt.
- Es zeigt sich, dass durch eine Dekarbonisierung des Straßenverkehrs, ausschließlich auf Basis von BEV, durchaus positive Auswirkungen auf die Beschäftigung erzielt werden können. Werden aber zur Dekarbonisierung zusätzlich zu den BEV auch FCEV herangezogen, führt dies zu erheblich größeren positiven Beschäftigungseffekten. Bei jeweils gleich großen Anteilen von BEV und FCEV an allen hergestellten Fahrzeugen erge-

ben sich für die (lokal) emissionsfreien Antriebsstränge Personalbedarfe, die **um 40 % höher sind als bei einem vollständigen Verzicht auf FCEV.**

- In der Praxis zeigt sich, dass es für die Brennstoffzellentechnologie, insbesondere im Bereich der Schwerlastanwendungen, vielversprechende Entwicklungen gibt. Bis 2030 stellen Brennstoffzellenfahrzeuge vor allem für den Schwerlast- und Fernverkehr eine mögliche Antriebsenergie dar. Eine Durchdringung des Markts mit Wasserstofffahrzeugen wird aber voraussichtlich erst nach 2030 erfolgen.

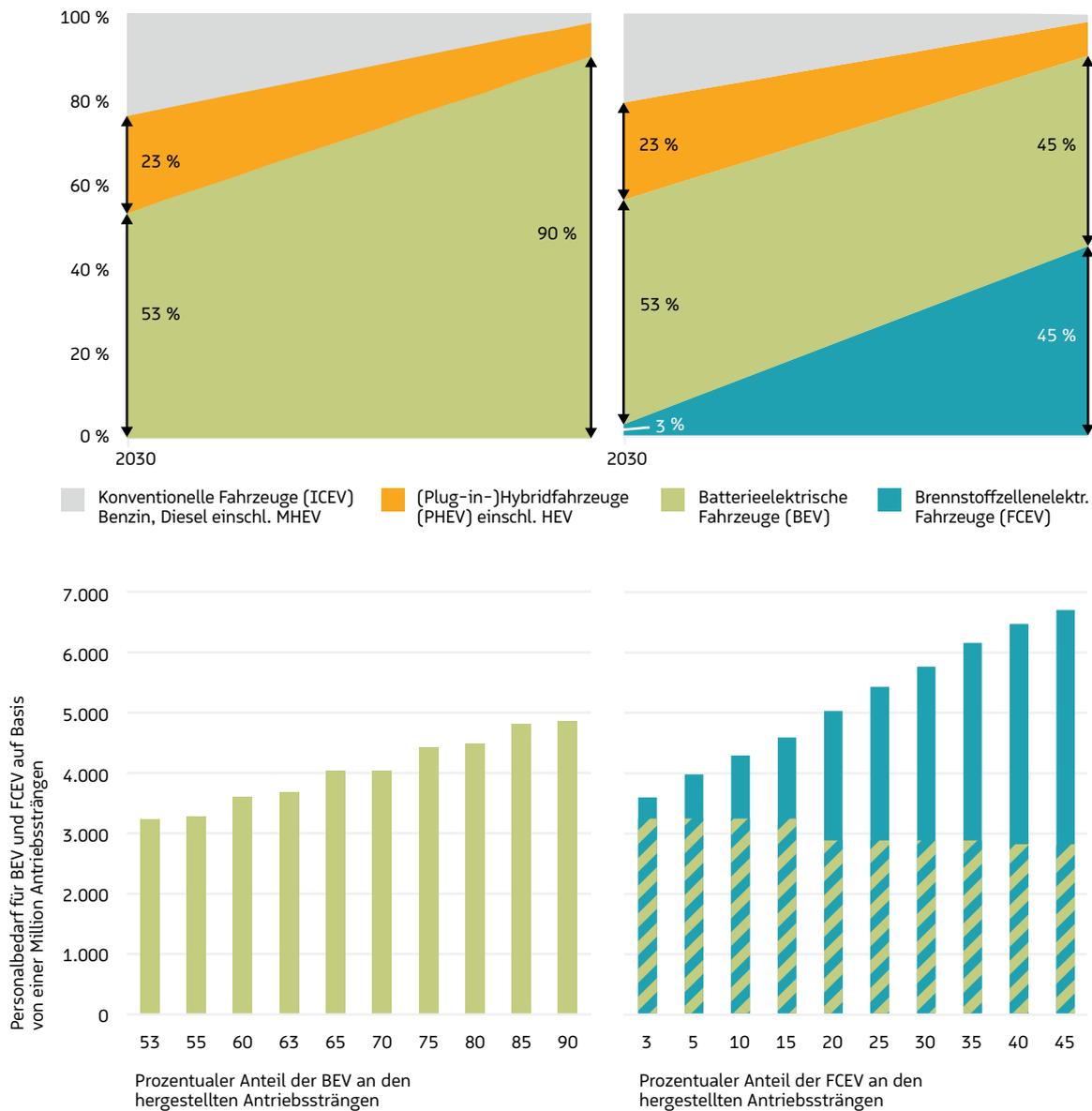


Abbildung 14: Exemplarische Darstellung potenzieller Effekte auf die Beschäftigung bei einer weiteren Dekarbonisierung des Straßenverkehrs nach 2030 nur mit BEV (links) sowie mit BEV und mit FCEV (rechts)
Quelle: eigene Darstellung

3 FAZIT UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

- Durch die angestrebte weitere **Senkung der CO₂-Emissionen der EU** muss der Anteil von Pkw mit elektrischem Antrieb erhöht werden. Mit der Zahl des beschäftigungsintensiven ICEV **sinkt auch der Personalbedarf in der Antriebsstrangproduktion**.
- Beiträge zum Erhalt des Personalbedarfs können durch eine **Erhöhung der Zahl der Wertschöpfungsumfänge bei Leistungselektronik** sowie durch eine **Verbreitung von FCEV geleistet** werden. Darüber hinaus können **Produktivitätssteigerungen** in Leistungselektronik und FCEV zu **positiven Beschäftigungseffekten** beitragen. Perspektivisch sind jedoch zusätzliche Maßnahmen zum Ausgleich des mit ICEV wegfallenden Personalbedarfs notwendig.
- Vor dem Hintergrund der in den nächsten Jahren und auch nach dem Jahr 2030 weiter steigenden Anzahl an Fahrzeugen mit elektrifiziertem Antriebsstrang sollte die Herstellung von Leistungselektronik **zur Sicherung von Beschäftigung und Wertschöpfung** und zur **Vermeidung von Wettbewerbsnachteilen und Abhängigkeiten** verstärkt erschlossen werden.
- Bei Leistungselektronik wachsen die Personalbedarfe, die auf aktuell dafür erhobenen Daten basieren, ausgehend von circa 120 auf knapp 600 Beschäftigte (pro einer Million hergestellter Antriebsstränge), was einer Zunahme von etwa 400 % entspricht. Die genannten 600 Beschäftigten entsprechen **circa 7 % des Gesamt-Personalbedarfs** im Jahr 2030.
- Im Fall des Brennstoffzellensystems zeigt sich, dass der Personalrückgang bis 2030 um **einen Prozentpunkt gemildert** werden kann. Dies entspricht – auf Basis der Referenzgröße einer Million hergestellter Antriebsstränge – etwas weniger als 200 Beschäftigten.
- Ein weiterer Teil der wegfallenden Beschäftigung beim ICE kann – voraussichtlich erst **nach 2030 – durch FCEV ersetzt** werden. Ab 2030 wird jedoch eine verstärkte Verbreitung von FCEV prognostiziert.
- Der Aufbau **wettbewerbsfähiger Wertschöpfungsketten** in den Bereichen Leistungselektronik und Brennstoffzelle kann daher einen entscheidenden Beitrag für die **Beschäftigung am Industriestandort Deutschland** leisten.
- Weitere **Forschung und Entwicklung** sowie **zeitnahe Investitionen** werden dringend empfohlen:
 - › Im Bereich des **Brennstoffzellensystems** mit PEFC/PEM-Brennstoffzelle können durch eine Erhöhung der Betriebstemperatur und eine Verringerung der Katalysatorbelastung die Gesamt-Systemkosten gesenkt werden. Darüber hinaus sollte die Lebensdauer der im Brennstoffzellenstack eingesetzten Komponenten auf mindestens 25.000 Stunden erhöht werden.
 - › Bei der **Leistungselektronik** sollte die Herstellung von Leistungshalbleitern in der näheren Umgebung etabliert werden. Dadurch können Abhängigkeiten reduziert und die eigene Produktion kann langfristig sichergestellt werden.
- Es sollten daher **frühzeitig Vorbereitungen** zu geeigneten **Entwicklungs- und Herstellungsstrukturen** für die entsprechenden Bereiche (Anlagen, Lieferketten, Kraftstoff, Infrastruktur, Personal, Qualifizierung etc.) getroffen werden.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1	Antriebsstrangkomponenten batterie- und brennstoffzellenelektrischer Fahrzeuge	7
Abbildung 2	Exemplarische Darstellung des Inverters einer Leistungselektronik für elektrische Antriebe	8
Abbildung 3	Exemplarische Darstellung eines Brennstoffzellensystems für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge mit PEFC/PEM-Brennstoffzelle	9
Abbildung 4	Wertschöpfungsumfänge bei Verbrennungsmotor, Leistungselektronik und Brennstoffzellensystem	11
Abbildung 5	Szenario ohne brennstoffzellenelektrische Antriebsstränge – „NPM-55“	14
Abbildung 6	Szenario mit brennstoffzellenelektrischen Antriebssträngen – „NPM-55 mit FCEV“	15
Abbildung 7	Ermittelte Effekte auf die Saldo-Beschäftigung (brutto) im Szenario NPM-55 ohne und mit FCEV mit alten Daten für Leistungselektronik ohne Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen	16
Abbildung 8	Ermittelte Effekte auf die Saldo-Beschäftigung (brutto) im Szenario NPM-55 ohne und mit FCEV mit aktuell erhobenen und alten Daten für Leistungselektronik ohne Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen	17
Abbildung 9	Ermittelte Effekte auf die Beschäftigung bei Leistungselektronik im Szenario NPM-55 ohne und mit FCEV ohne Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen	18
Abbildung 10	Ermittelte Effekte auf die Saldo-Beschäftigung (brutto) im Szenario NPM-55 ohne und mit FCEV mit alten Daten für Leistungselektronik mit Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen	19
Abbildung 11	Ermittelte Effekte auf die Saldo-Beschäftigung (brutto) im Szenario NPM-55 ohne und mit FCEV mit aktuell erhobenen und alten Daten für Leistungselektronik mit Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen	20
Abbildung 12	Ermittelte Effekte auf die Beschäftigung bei Leistungselektronik im Szenario NPM-55 ohne und mit FCEV mit Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen	21
Abbildung 13	Exemplarische Darstellung potenzieller Effekte auf die Beschäftigung bei einer Verbreitung von FCEV anstelle von BEV	22

Abbildung 14 Exemplarische Darstellung potenzieller Effekte auf die Beschäftigung bei einer weiteren Dekarbonisierung des Straßenverkehrs nach 2030 nur mit BEV (links) sowie mit BEV und mit FCEV (rechts)

23

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1 Personalbedarfe zur Herstellung von Leistungselektronik gemäß der ELAB- und der ELAB-2.0-Studie (links) sowie gemäß aktuell erhobenen Daten (rechts)

12

Tabelle 2 Personalbedarfe zur Herstellung von Brennstoffzellensystemen gemäß der ELAB-Studie (links) sowie gemäß aktuell erhobenen Daten (rechts)

13

ANHANG

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

a	annum (Jahr)
BEV	Battery Electric Vehicle (Batterieelektrisches Fahrzeug)
BoP	Balance of Plant (Anlagenbilanz)
BPP	Bipolarplatten
CCM	Catalyst Coated Membrane (Membran-Elektroden-Anordnung, MEA)
Dir.	Direkte Mitarbeitende
ELAB	Auswirkungen der Elektrifizierung des Antriebsstrangs auf Beschäftigung und Standortumgebung / Elektromobilität und Beschäftigung
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle (Brennstoffzellenelektrisches Fahrzeug)
Fraunhofer IAO	Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO
GDL	Gasdiffusionslagen
HEV	Hybrid Electric Vehicle (Hybridfahrzeug)
ICE	Internal Combustion Engine (Verbrennungsmotor)
ICEV	Internal Combustion Engine Vehicle (konventionelles Fahrzeug mit Verbrennungsmotor)
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor (Bipolartransistor mit isolierter Gate-Elektrode)
Ind.	Indirekte Mitarbeitende
MEA	Membran-Elektroden-Anordnung (Catalyst Coated Membrane, CCM)
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor (MOSFET))
OEM	Original Equipment Manufacturer (Erstausrüster/Fahrzeughersteller)
PEFC	Polymer Electrolyte Fuel Cell (Polymerelektrolytbrennstoffzelle)
PEM	Polymer Electrolyte Membrane / Proton Exchange Membrane (Protonen-Austausch-Membran)
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle (Plug-in-Hybridfahrzeug)
Prodn.	Produktionsnahe
Si	Silizium
SiC	Siliziumkarbid (Silicon Carbide)
VDA	Verband der Automobilindustrie e. V.

QUELLENVERZEICHNIS

Bauer et al. (2019): ELAB 2.0. Wirkungen der Fahrzeugelektrifizierung auf die Beschäftigung am Standort Deutschland. 2. Auflage. URL: <http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-531383.html> [Stand: August 2021].

Bönnighausen, Daniel (2021): eMobility-Dashboard Juni: 33.420 reine Elektro-Pkw. URL: <https://www.electrive.net/2021/07/05/emobility-dashboard-juni-33-420-reine-elektro-pkw/> [Stand: August 2021].

FEV Whitepaper (2021): Vehicle electrification and the transformation of the industry. URL: <https://www.fev.com/de/media-center/whitepapers/electrification-and-industry-transformation.html> [Stand: August 2021].

Hofmann, Peter (2014): Hybridfahrzeuge: Ein alternatives Antriebssystem für die Zukunft. Springer Verlag: Wien.

James et al. (2018): 2018 DOE Hydrogen and Fuel Cells Program Review, Fuel Cell Systems Analysis. URL: https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review18/fc163_james_2018_o.pdf

Köllner, Christiane (2019): Welche Rolle spielt Siliziumkarbid für die Elektromobilität? URL: <https://www.springerprofessional.de/halbleiter/elektromobilitaet/welche-rolle-spielt-siliziumkarbid-fuer-die-elektromobilitaet-/17354930> [Stand: August 2021].

Meessen et al. (2020): Increasing the EU's 2030 Emissions Reduction Target. URL: https://climact.com/wp-content/uploads/2020/06/Climact_Target_Emissions_report_FINAL.pdf [Stand: August 2021].

Mein-Autolexikon.de (2021): Leistungselektronik. URL: <https://www.mein-autolexikon.de/e-mobilitaet/leistungselektronik.html> [Stand: August 2021].

NPM (2021): Batterieproduktion für Deutschland und Europa. URL: https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/?post_type=2download&p=13617 [Stand: Oktober 2021].

Roland Berger (2020): Potenziale der Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Industrie in Baden-Württemberg. URL: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/6_Wirtschaft/Ressourceneffizienz_und_Umwelttechnik/Wasserstoff/200724-Potentialstudie-H2-Baden-Wuerttemberg-bf.pdf [Stand: August 2021].

Spath et al. (2012): ELAB – Elektromobilität und Beschäftigung: <http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-225042.html> [Stand: August 2021].

Verband der Automobilindustrie (2021): Automobilproduktion. Zahlen zur Automobilproduktion im In- und Ausland. URL: <https://www.vda.de/de/aktuelles/zahlen-und-daten/jahreszahlen/automobilproduktion> [Stand: August 2021].

Wallmann, Jens (2016): Leistungshalbleiter: Siliziumkarbid-Halbleiter auf der Überholspur. URL: <https://www.all-electronics.de/elektronik-entwicklung/siliziumkarbid-halbleiter-auf-der-ueberholspur.html> [Stand: August 2021].

AUSFÜHRLICHE TABELLEN UND GRAFIKEN

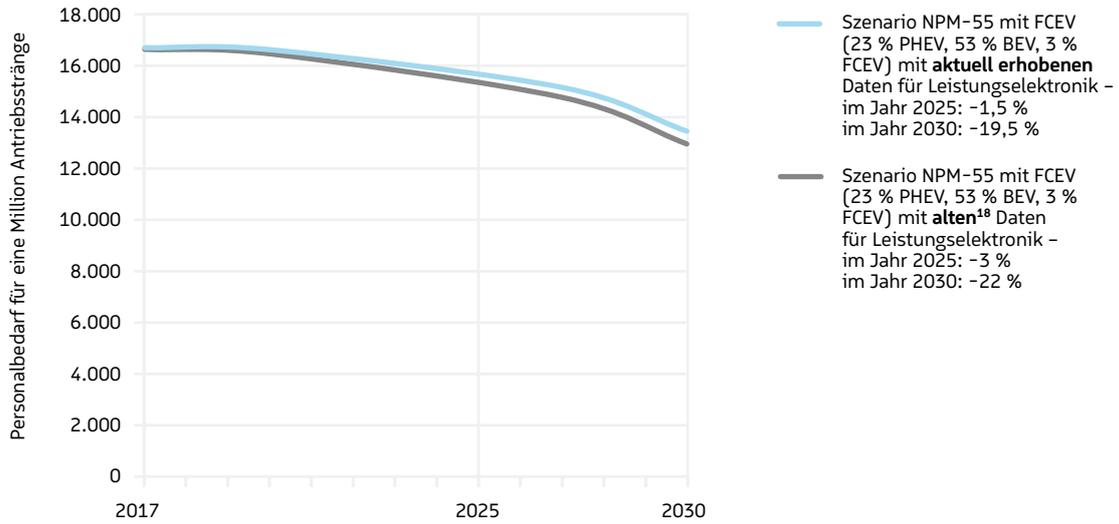
GEGENÜBERSTELLUNG DER WERTSCHÖPFUNGSUMFÄNGE JE KOMPONENTE

KOMPONENTEN		ICE	ICE-PERIPHERIE	AUTOMATIKGETRIEBE	HYBRIDGETRIEBE	ELEKTRISCHE MASCHINE	TRAKTIONSBATTERIE	Leistungselektronik - alt	LEISTUNGSELEKTRONIK	BRENNSTOFFZELLENSYSTEM
		Benzin/Diesel, 4-Zylinder, 100 kW	Schritte nicht aufeinanderfgnd.	Doppelkupplung, 6 Gänge	Doppelkupplung, 6 Gänge	Synchron, 75 - 100 kW	Hochenergie, 0,7 - 60 kWh	DC/DC-, AC/DC-Wandler...	DC/DC-, AC/DC-Wandler...	PEM, 100 kW
Prozessschritte / „Wertschöpfungskettenglieder“	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 Pleuel-lager herstellen	Aufladung herstellen		Trennkupplung herstellen: stanzen, nieten					
	10	Kolben gießen, fräsen, polieren	Ölversorgung herstellen		Zweimassenschwungrad herstellen: pressen, stanzen, nieten					
	9	Ölwanne tiefziehen, lackieren	Luftversorgung herstellen: Saugmodul, Filter, Kühler, Sensoren, Reinluftleitung	Zweimassenschwungrad herstellen: pressen, stanzen, nieten	Lammellenkupplungen herstellen: stanzen, nieten				Leistungshalbleiter herstellen (Frontend)	Wasserstofftank herstellen
	8	Laufbuchse hohnen, pressen, polieren	Abgasanlage herstellen: Sensorik, Katalysatoren, Partikelfilter, AGR, Schalldämpfer, SCR	Lammellenkupplungen herstellen: stanzen, nieten	Zahnräder herstellen: gießen, walzfräsen, härten, schleifen	Magnete herstellen			Leistungshalbleiter-Module herstellen (Backend)	Komponenten für das Anodenmodul (Wasserkreislauf) der Balance of Plant (BoP) herstellen
	7	Zylinderkopf herstellen	Einspritzanlage herstellen: Steuergerät, Einspritzdüse, Kraftstoffpumpe (Hochdruck)	Zahnräder herstellen: gießen, walzfräsen, härten, schleifen	Lager herstellen	Rotor stanzen und aufschichten			Leistungsteil mit B6-Brücke herstellen	Komponenten für das Kathodenmodul (Luftkreislauf) der Balance of Plant (BoP) herstellen
	6	Zylinderkopfdichtung 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	Folienkondensator herstellen	Komponenten für den Kühlmittelkreislauf der Balance of Plant (BoP) herstellen
	5	Zylinderkopfabdeckung herstellen	48V Starter-Generator herstellen	Wellen herstellen: drehen, härten, entgraten	Hydraulikölpumpe herstellen	Stator aufbauen: Stanzen, isolieren, wickeln, lackieren	Zellen aufbauen	Leistungsmodul montieren	Pulswechselrichtermodul herstellen	Gasdiffusionslagen (GDL) herstellen
	4	Nockenwelle gießen, härten, zusammenbauen, fräsen	Kardanwelle herstellen (entfällt, weil Frontantrieb)	Hydraulikölpumpe herstellen	Mechatronik herstellen	Lager montieren	Zellmodule montieren	Kondensator herstellen	DC/DC-Wandler fertigstellen und prüfen	Bipolarplatten (BPP) 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	Steuerungselektronik herstellen	Membran-Elektroden-Anordnung (MEA)/Catalyst Coated Membrane (CCM) 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	Gehäuse gießen	Stack montieren, prüfen und in Betrieb nehmen
	1	ICE montieren	Tanksystem herstellen: Tank, Filter, Deckel, Schläuche, Pumpe	Getriebe montieren	Getriebe montieren	Getriebe montieren	Batteriemanagement-Control-ler montieren	Montage Leistungselektronik: L-Modul fixieren, Kondensatoren und Steuerungselektronik montieren, Gehäuse schließen	Endmontage und Endprüfung Leistungselektronik	System montieren und testen
0	Fahrzeugeinbau durch OEM									

- Wertschöpfungsumfang steht im Fokus und ist in den ausgewiesenen Personalbedarfen berücksichtigt
- Wertschöpfungsumfang steht im Fokus, konnte aber in den ausgewiesenen Personalbedarfen nicht berücksichtigt werden
- Wertschöpfungsumfang steht nicht im Fokus und ist hier nur der Vollständigkeit halber aufgeführt

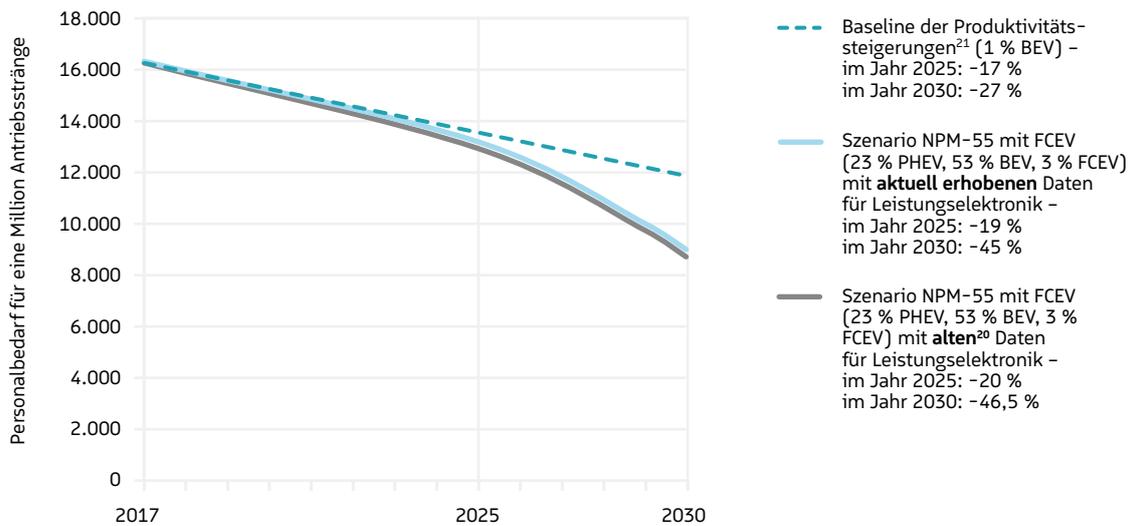
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Bauer et al. 2019, S. 47

Ermittelte Effekte auf die Saldo-Beschäftigung (brutto) im Szenario NPM-55 mit FCEV mit alten und mit aktuell erhobenen Daten für die Leistungselektronik ohne Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen



Prozentuale Veränderungen beziehen sich auf das Jahr 2017

Ermittelte Effekte auf die Saldo-Beschäftigung (brutto) im Szenario NPM-55 mit FCEV mit alten und mit aktuell erhobenen Daten für die Leistungselektronik mit Berücksichtigung von Produktivitätssteigerungen



Prozentuale Veränderungen beziehen sich auf das Jahr 2017

IMPRESSUM

VERFASSER

Nationale Plattform Zukunft der Mobilität,
Arbeitsgruppe 4 „Sicherung des Mobilitäts- und Produktionsstandortes,
Batteriezellproduktion, Rohstoffe und Recycling, Bildung und Qualifizierung“,

September 2021

HERAUSGEBER

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)

REDAKTIONELLE UNTERSTÜTZUNG

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
ifok GmbH

SATZ UND GESTALTUNG

ifok GmbH

LEKTORAT

Nikola Klein – e-squid text konzept lektorat

Die Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (NPM) ist per Kabinettsbeschluss von der Bundesregierung eingesetzt und wird vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur federführend koordiniert. Sie arbeitet unabhängig, überparteilich und neutral.



