

prognos
Wir geben Orientierung.



Markus Hoch, Hannah Staab, Eva Willer, Philipp Kreuzer, Said Amiri,
Sven Altenburg

Zukünftige Beschäftigungssituation der Automobilwirtschaft in Bayern

Die Studie wurde beauftragt im Rahmen des Projekts:



In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern:



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Impressum

Studie der Prognos AG

In Auftrag gegeben vom Forschungsinstitut Betriebliche Bildung (f-bb)

Herausgegeben von

Susanne Kretschmer und Dr. Iris Pfeiffer

Forschungsinstitut Betriebliche Bildung (f-bb) gGmbH

Rollnerstraße 14

90408 Nürnberg

www.f-bb.de

Das Forschungsinstitut Betriebliche Bildung (f-bb) arbeitet seit 2003 an der Weiterentwicklung des Systems der beruflichen Bildung durch Forschung in Deutschland und international. Das Leistungsspektrum umfasst die Durchführung von Modellversuchen, Gestaltungs- und Transferprojekten, die wissenschaftliche Begleitung von Förderprogrammen, die Evaluation von Verordnungen und Maßnahmen sowie die Umsetzung von Fallstudien, empirischen Erhebungen und Analysen.

Autorinnen und Autoren (jeweils Prognos AG)

Markus Hoch, Hannah Staab, Eva Willer, Philipp Kreuzer, Said Amiri, Sven Altenburg

Unter Mitarbeit von

Christine Völzow (vbw – Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V.)

Editorin und Ansprechpartnerin am f-bb

Dr. Christiane Heimann, Kreider Irina

Erscheinungsjahr

2023

Diese Publikation ist frei verfügbar zum Download

unter www.f-bb.de/

Zitiervorschlag

Prognos (11/2023): Zukünftige Beschäftigungssituation der Automobilwirtschaft in Bayern. Im Auftrag des f-bb (Hrsg.)

Diese Publikation ist unter folgender Creative-Commons-Lizenz veröffentlicht:



Inhaltsverzeichnis

Executive Summary	IV
1 Hintergrund und Vorgehensweise	1
2 Wirtschafts- und Beschäftigungsstruktur der bayerischen Automobilindustrie	3
2.1 Die Automobilindustrie umfasst mehrere Teilbranchen	3
2.2 Wirtschaftliche Eckdaten der bayerischen (Kern-)Automobilindustrie	6
2.2.1 Aus- und Einfuhren	6
2.2.2 Produktionswert, Bruttowertschöpfung und Beschäftigung	9
3 Hypothesen und Szenariorechnungen zur Entwicklung der Automobilindustrie	15
3.1 Kontrafaktisches Referenzszenario mit eingefrorenem Technologiemix	16
3.1.1 Datenbasis und Annahmen	16
3.1.2 Ergebnisse: Arbeits- und Fachkräftebedarf in relevanten Branchen bis 2040	18
3.2 Szenario zum Chancenfeld Elektrifizierung	19
3.2.1 Hintergrund und mögliche übergreifende Entwicklungen	19
3.2.2 Hypothese: Auswirkungen auf Teilbranchen und relevante Berufe der Automobilindustrie	26
3.2.3 Konkrete Annahmen zur Berechnung des Szenarios	28
3.2.4 Szenariorechnung: Beschäftigungseffekte gegenüber dem Referenzszenario	31
3.3 Szenario zum Chancenfeld vernetzte Mobilität und autonomes Fahren	36
3.3.1 Hintergrund und mögliche übergreifende Entwicklungen	37
3.3.2 Hypothese: Auswirkungen auf Teilbranchen und relevante Berufe der Automobilindustrie	40
3.3.3 Konkrete Annahmen zur Berechnung des Szenarios	42
3.3.4 Szenariorechnung: Beschäftigungseffekte gegenüber dem Referenzszenario	44
3.4 Szenario zum Chancenfeld Produktivitätsgewinne durch Industrie 4.0	48

3.4.1	Hintergrund und mögliche übergreifende Entwicklungen	48
3.4.2	Hypothese: Auswirkungen auf Teilbranchen und relevante Berufe der Automobilindustrie	52
3.4.3	Konkrete Annahmen zur Berechnung des Szenarios	53
3.4.4	Szenariorechnung: Beschäftigungseffekte gegenüber dem Referenzszenario	56
4	Gemeinsame Betrachtung der Hypothesen und Szenarien	60
4.1	Insgesamt resultierende Beschäftigungseffekte	60
4.2	Abgleich mit dem regional zur Verfügung stehenden Arbeitskräfteangebot	65
5	Fazit	71
	Anhang	73
A1	Ausgewählte Forschungsaktivitäten im Bereich Elektrifizierung	73
A2	Ausgewählte Forschungsaktivitäten im Bereich vernetzte Mobilität und autonomes Fahren	74
A3	Ausgewählte Forschungsaktivitäten im Bereich Produktivitätsgewinne durch Industrie 4.0	76
A4	Beschäftigte der Automobilindustrie nach Berufsgruppen	79
	Literaturverzeichnis	80

Executive Summary

Die Automobilindustrie ist eine der wichtigsten bayerischen Schlüsselindustrien, befindet sich aktuell jedoch in einem Transformationsprozess und sieht sich mit verschiedenen Herausforderungen konfrontiert. Die Initiative „transform.by“ unter der Gesamtkoordination der Bayern Innovativ GmbH unterstützt diesen Transformationsprozess mit Analysen und Qualifizierungsangeboten. Die vorliegende Prognos-Studie wurde im Rahmen dieser Initiative erstellt und schätzt anhand von Hypothesen zu ausgewählten Chancenfeldern die zukünftige Arbeits- und Fachkräftestruktur für die bayerische Automobilbranche und deren vor- und nachgelagerten Branchen bis zum Jahr 2040 ab. Der Fokus liegt dabei auf den ausgeübten Berufen und Qualifikationsanforderungen.

Die im ersten Arbeitsschritt durchgeführte Analyse der Wirtschafts- und Beschäftigungsstruktur der bayerischen Automobilwirtschaft zeigt, dass es sich um eine vielfältige Branche handelt, die neben der Kernautomobilindustrie (WZ 29) auch verschiedene vorleistende und nachgelagerte Branchen umfasst. Das internationale Geschäft spielt für die Branche eine entscheidende Rolle. So sind etwa zwei Drittel des Umsatzes auf das Ausland zurückzuführen. Die Branche trägt ein Viertel zur Wertschöpfung des bayerischen Verarbeitenden Gewerbes bei und beschäftigt direkt fast 250.000 Personen, von denen viele hochqualifiziert sind. Die Analyse zeigt ebenfalls, dass es zwischen 2013 und 2022 innerhalb der Kernautomobilindustrie zu deutlichen Verschiebungen der Berufsstruktur gekommen ist. Die Berufsgruppe *Software und Programmierung* ist anteilig dabei am stärksten gewachsen, um 130 Prozent auf knapp 900 Beschäftigte. Die Berufsgruppen *Metallbau* und *Schweißtechnik* verzeichneten hingegen den größten Beschäftigungsrückgang.

Ausgehend von dieser aktuellen Lage werden in der vorliegenden Studie neben einem kontrafaktischen Referenzszenario mit eingefrorenem Technologiemic drei Chancenfelder betrachtet, die mit jeweils unterschiedlichen (technologischen) Entwicklungen in Verbindung stehen. Für diese Chancenfelder werden zuerst Hypothesen zur zukünftigen Entwicklung der Automobilindustrie bis zum Jahr 2040 aufgestellt und danach anhand von Modellrechnungen abgeschätzt, in welchem Ausmaß die Beschäftigungseffekte gegenüber der Referenz auf Ebene von Berufsgruppen und Qualifikationsanforderungen ausfallen könnten. Die Annahmen und Kernergebnisse des kontrafaktischen Referenzszenarios sowie der drei Chancenfelder sind wie folgt:

- Im **kontrafaktischen Referenzszenario** mit eingefrorenem Technologiemic wird eine hypothetische Situation betrachtet, in der die bayerische Automobilindustrie auf dem aktuellen technologischen Stand stehen bleibt. Keine der in den nachstehenden Chancenfeldern aufgezeigten möglichen Entwicklungen wie der weitere Wandel hin zu Elektrofahrzeugen wird somit eingelöst. Entsprechend sind zukünftige Veränderungen im Referenzszenario lediglich auf die Produktivität und Annahmen zu den Absatz- und Produktionszahlen zurückzuführen. Unter den gesetzten Annahmen sinkt der Arbeitskräftebedarf bis zum Jahr 2040 in den betrachteten Branchen um etwa 49.000 Beschäftigte. Knapp 26.000 davon entfallen auf die Kernautomobilindustrie.
- Im **Chancenfeld Elektrifizierung** wird ein Szenario simuliert, in dem der Anteil der Verbrenner an der gesamten Fahrzeugproduktion bis 2030 auf 8 Prozent zurückgehen wird. Insbesondere aufgrund der Reduktion der Komplexität des Antriebsstrangs benötigt die Kernautomobilindustrie im Jahr 2040 dabei etwa 32.000 Arbeitsplätze weniger als in der Referenz. In der vorgelagerten Batterieproduktion liegt die Nachfrage nach Arbeits- und Fachkräften im Jahr hingegen um etwa 8.700 Arbeitsplätze höher als im

Referenzszenario. Auf Ebene einzelner Berufsgruppen zeigt sich, dass in nur sieben Berufsgruppen die Beschäftigung aufgrund der Elektrifizierung ansteigt – insbesondere bei den E/E-Berufen. Berufe der Metallverarbeitung verlieren anteilig hingegen deutlich.

- Das **Chancenfeld vernetzte Mobilität und autonomes Fahren** betrachtet ein Szenario, in dem die Beschäftigungseffekte gegenüber der Referenz positiv ausfallen. Rechnerisch werden im Jahr 2040 in der Kernautomobilindustrie etwa 7.500 Arbeitsplätze mehr benötigt als in der Referenz. Bei den vorgelagerten Unternehmen belaufen sich die positiven Effekte aufgrund der Nachfrage nach den benötigten elektronischen Komponenten, Sensoren und Kameras auf 3.100 Beschäftigte. In nachgelagerten Bereichen wie der KfZ-Reparatur könnten langfristig jedoch Arbeitsplätze verloren gehen. Auf Ebene der Berufe steigt aufgrund der technologischen Anforderungen u. a. die Nachfrage nach *IT-Fachkräften, Maschinenbau- und Betriebstechnik* oder *technische Produktionsplanung und -Steuerung*. Der Bedarf an höher qualifizierten Personen nimmt gegenüber der Referenz zu.
- Im **Chancenfeld Produktivitätsgewinne durch Industrie 4.0** wird davon ausgegangen, dass die Umstellung der Produktionsprozesse in Richtung Industrie 4.0 zu deutlichen Produktivitätsgewinnen führt. Im Vergleich zum Referenzszenario werden somit weniger Beschäftigte nachgefragt – allein 28.500 Arbeitsplätze in der Kernautomobilindustrie. Von den Beschäftigungsrückgängen betroffen sind insbesondere Produktionsberufe sowie gut automatisierbare Verwaltungsberufe. Auf Ebene von Berufen werden vor allem IT-Fachkräfte stärker nachgefragt, einfache Routinetätigkeiten verlieren hingegen an Bedeutung.

Saldiert man die Effekte der drei Chancenfelder, so werden in Bayern im Jahr 2040 gegenüber der Referenz 57.000 Arbeitsplätze weniger in den betrachteten Branchen nachgefragt. Da die Nachfrage bis zum Jahr 2040 bereits in der Referenz um 49.000 Beschäftigte sinkt, entspricht dies in Summe einem Rückgang von 106.000 bzw. 22 Prozent der Beschäftigten des Jahres 2022. Der Großteil entfällt dabei auf die Kernautomobilindustrie, gleichwohl sind auch die vor- und nachgelagerten Bereiche betroffen. Auf Ebene einzelner Berufsgruppen finden sich insbesondere mit der *Elektrotechnik* oder *Energietechnik* sowie verschiedenen IT-Berufen auch anteilige Gewinner. Klassische Fahrzeugbauberufe wie die *Fahrzeug-, Luft-, Raumfahrt- und Schiffbautechnik, Metallbearbeitung* oder die *Maschinenbau- und Betriebstechnik* verlieren hingegen an Bedeutung. Damit einher geht auch eine anteilig stärkere Nachfrage nach höher qualifizierten Spezialist/-innen und Expert/-innen. Helfer/-innen sind hingegen Verlierer der Transformation.

Der Abgleich mit dem in Bayern zur Verfügung stehenden Arbeitskräfteangebot zeigt, dass der sinkende Arbeitskräftebedarf nicht problematisch sein muss, sondern stattdessen als Chance zur Verringerung des in Bayern zunehmenden Arbeits- und Fachkräftemangels betrachtet werden kann. Grund ist, dass das Arbeitskräfteangebot in Bayern aufgrund des Rückgangs der Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter bis zum Jahr 2040 ebenfalls deutlich sinkt – von 6,6 auf 6,2 Millionen Personen. Somit kann ein sinkender Bedarf aufgrund der Realisierung der Chancenfelder in einigen Berufsgruppen auch dazu führen, dass potenziell entstehende Arbeitskräfteengpässe verringert werden. So legt eine Auswertung der berufsgruppenspezifischen Altersstruktur den Schluss nahe, dass in vielen Fällen aufgrund der ohnehin anstehenden Renteneintritte nicht etwa Stellen abgebaut werden müssten, sondern lediglich keine Neubesetzungen erforderlich sind.

Neben dem Vorhandensein einer ausreichenden Anzahl an Arbeitskräften ist für die Realisierung der beschriebenen Chancenfelder ebenfalls entscheidend, dass die Arbeitskräfte über die für die Realisierung der Chancenfelder erforderlichen Fähigkeiten und Qualifikationen verfügen. Gezielte Weiterbildungs- und Qualifizierungsprogramme gewinnen somit weiter an Bedeutung. Um die Kenntnisse der Beschäftigten zu aktualisieren und an die sich wandelnden Anforderungen anzupassen, sind Investitionen in die Weiterbildung und Qualifizierung daher ein entscheidender Faktor zur Sicherung der langfristigen Zukunft dieser für Bayern wichtigen Schlüsselbranche.

1 Hintergrund und Vorgehensweise

Die Automobilindustrie ist eine der wichtigsten Schlüsselindustrien Bayerns. Aufgrund verschiedener Entwicklungen befindet sich die Branche auf mehreren Ebenen in einem Transformationsprozess und sieht sich vor diesem Hintergrund mit verschiedenen Herausforderungen konfrontiert. So verändert sich die zukünftige Beschäftigungsnachfrage der Automobilindustrie nicht nur quantitativ, sondern auch mit Blick auf die Art der auszuführenden Tätigkeiten und der dafür erforderlichen Qualifikationsanforderungen. Daher gilt es, diesen Herausforderungen mit geeigneten Strategien zu begegnen. Erstens, um mögliche negative Auswirkungen auf die bayerische Wirtschaft und Gesellschaft abzufedern. Zweitens, um die mit der Transformation einhergehenden Chancen bestmöglich zu nutzen.

Unter der Gesamtkoordination der Bayern Innovativ GmbH wurde vor diesem Hintergrund das Verbundprojekt „transform.by“ ins Leben gerufen. Die Initiative unterstützt den Transformationsprozess in der bayerischen Automobilindustrie mit Analysen und Qualifizierungsangeboten. Das Forschungsinstitut betriebliche Bildung (f-bb) und die Gesellschaft für Personal- und Organisationsentwicklung (ffw) analysieren hierfür gemeinsam die Auswirkungen der Transformation auf Qualifizierung und Beschäftigung. Im Rahmen dieser Initiative erhält Prognos den Auftrag, mit der vorliegenden Studie eine Analyse zur zukünftigen Arbeits- und Fachkräftestruktur speziell für die bayerische Automobilbranche und deren vor- und nachgelagerten Branchen zu erstellen.

Ziel der vorliegenden Studie ist zum einen, auf Basis von Literaturanalysen eigene Hypothesen für mögliche zukünftige Entwicklungen der bayerischen Automobilindustrie und der Arbeits- und Fachkräftesituation bis zum Jahr 2040 zu erstellen - auf Ebene von Wirtschaftszweigen und Berufsgruppen sowie vor dem Hintergrund des technologischen (und demografischen) Wandels. Die Hypothesen beziehen sich dabei auf die drei Chancenfelder (i) Elektrifizierung, (ii) Vernetzte Mobilität und autonomes Fahren sowie (iii) Produktivitätsgewinne durch Industrie 4.0. Zum anderen wird aufbauend auf diesen Hypothesen jeweils ein quantitatives Szenario zur Anzahl und Struktur der zukünftig in der bayerischen Automobilindustrie benötigten Arbeits- und Fachkräfte erstellt und abgeschätzt, wie diese Entwicklungen vor dem Hintergrund der sich verschärfenden Fachkräfteengpässe in Bayern zu bewerten sind. Dabei wird neben der Kernautomobilindustrie auch auf die für die jeweiligen Chancenfelder relevanten vor- und nachgelagerten Branchen abgestellt.

Zur zukünftigen Entwicklung der Automobilindustrie wurde bereits eine Vielzahl an Studien durchgeführt, mit jeweils unterschiedlichen Schwerpunkten. So finden sich einige Studien, die sich mit den technologischen Herausforderungen bestimmter Teilbereiche auseinandersetzen, wie beispielsweise der Elektrifizierung der Antriebstränge (u. a. Fraunhofer IAO, 2018). Andere Expertisen stellen wiederum auf Szenarien bezüglich sich verändernder Absatzmärkte und Marktvolumen ab (u. a. vbw - Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V., 2021). Unterschiede finden sich ebenfalls mit Blick auf die regionale Abgrenzung der Studien. Die Mehrheit bezieht sich in der Regel auf die deutsche Automobilwirtschaft. Gleichwohl finden sich auch einige Studien, die mögliche Entwicklungen in einzelnen Regionen oder Bundesländern beleuchten. Eine Studie, bei der der Fokus auf den nach Berufen und Qualifikationen differenzierten Beschäftigungseffekten in Bayern liegt und diese Erkenntnisse vor dem Hintergrund von zunehmenden Fachkräfteengpässen eingeordnet werden, fehlt hingegen bislang. Die vorliegende Studie versucht, diese Lücke zu füllen und den Transformationsprozess in der bayerischen Automobilindustrie mit den gewonnenen Erkenntnissen zu unterstützen.

Das Vorgehen umfasst mehrere Arbeitsschritte. Zunächst erfolgt eine Analyse der aktuellen Beschäftigungsstruktur der bayerischen Automobilindustrie (Abschnitt 2). Darauf aufbauend werden Hypothesen über mögliche zukünftige Entwicklungen in den drei bereits genannten Chancenfelder der Transformation sowie deren Auswirkungen auf die bayerische Automobilindustrie abgeleitet (Abschnitt 3). Dieser Schritt umfasst auch eine quantitative Abschätzung der damit einhergehenden Beschäftigungseffekte für die bayerische Automobilindustrie inkl. der relevanten vor- und nachgelagerten Branchen. Ebenfalls wird dabei thematisiert, welche bayerischen Regionen von den Entwicklungen besonders betroffen sind. Die Studie endet mit einer gemeinsamen Betrachtung der einzelnen Chancenfelder und Hypothesen (Abschnitt 4) und einem abschließenden Fazit (Abschnitt 5).

2 Wirtschafts- und Beschäftigungsstruktur der bayerischen Automobilindustrie

In Kürze:

Die Automobilindustrie stellt mit rund 250.000 direkt in der Kernautomobilindustrie Beschäftigten eine der Schlüsselindustrien Bayerns dar. Nicht nur beläuft sich ihr Umsatz auf knapp ein Drittel der gesamten Industrieumsätze in Bayern. Auch ein Viertel der Wertschöpfung des bayerischen Verarbeitenden Gewerbes entfällt auf die Automobilindustrie. Das Auslandsgeschäft spielt dabei eine bedeutende Rolle. Trotz den mit der Pandemie einhergehenden Einschränkungen des (internationalen) Warenhandels und der teilweise unterbrochenen globalen Lieferketten wurde im Jahr 2020 noch über die Hälfte des gesamten Produktionswertes exportiert. Seit 2013 hat sich die Berufsstruktur der Branche deutlich gewandelt. Der stärkste Rückgang zeigt sich in fertigungstechnischen Berufen wie der Metallbearbeitung, bei der Technischen Forschung und Entwicklung sowie bei IT-Berufen wurde hingegen Beschäftigung aufgebaut.

Die Analyse der Wirtschafts- und Beschäftigungsstruktur der bayerischen Automobilindustrie besteht aus drei Teilschritten. Zunächst erfolgt eine Abgrenzung der im Kontext der vorliegenden Studie definierten (Kern-)Automobilindustrie und der vor dem Hintergrund der betrachteten Chancenfelder wichtigsten vor- und nachgelagerten Branchen (Abschnitt 2.1). Für die so abgegrenzte Automobilindustrie werden im Anschluss relevante wirtschaftliche Eckdaten zur Entwicklung des Außenhandels, des Produktionswertes, der Wertschöpfung und der Beschäftigung abgeleitet (Abschnitt 2.2).

Die hier durchgeführten Auswertungen dienen erstens dazu, die Bedeutung der Branche für die bayerische Wirtschaft herauszuarbeiten und bereits vollzogene Entwicklungen u. a. bezüglich der Veränderung der Berufsstruktur aufzuzeigen. Zweitens sind diese teilweise für die spätere Quantifizierung der Beschäftigungseffekte hilfreich. So ist beispielsweise eine genauere Betrachtung der Ein- und Ausfuhren relevant, um bei der Hypothesenbildung die Abhängigkeit der bayerischen Automobilindustrie von Trendverschiebungen oder veränderter gesetzlicher Rahmenbedingungen auf nationaler Ebene abschätzen zu können.

2.1 Die Automobilindustrie umfasst mehrere Teilbranchen

Die Automobilindustrie gehört zu den Schlüsselindustrien Bayerns und beinhaltet eine sehr vielfältige Unternehmenslandschaft. So findet sich neben den Automobilherstellern eine Vielzahl weiterer Unternehmen entlang der gesamten automobilen Wertschöpfungskette. Der gesamte Umsatz dieser Branche beläuft sich auf knapp ein Drittel der Industrieumsätze Bayerns¹. Im Kontext der vorliegenden Studie stehen diejenigen Teilbereiche der Automobilindustrie im Fokus, die für die ausgewählten Chancenfelder und die damit verbundenen Hypothesen zur zukünftigen

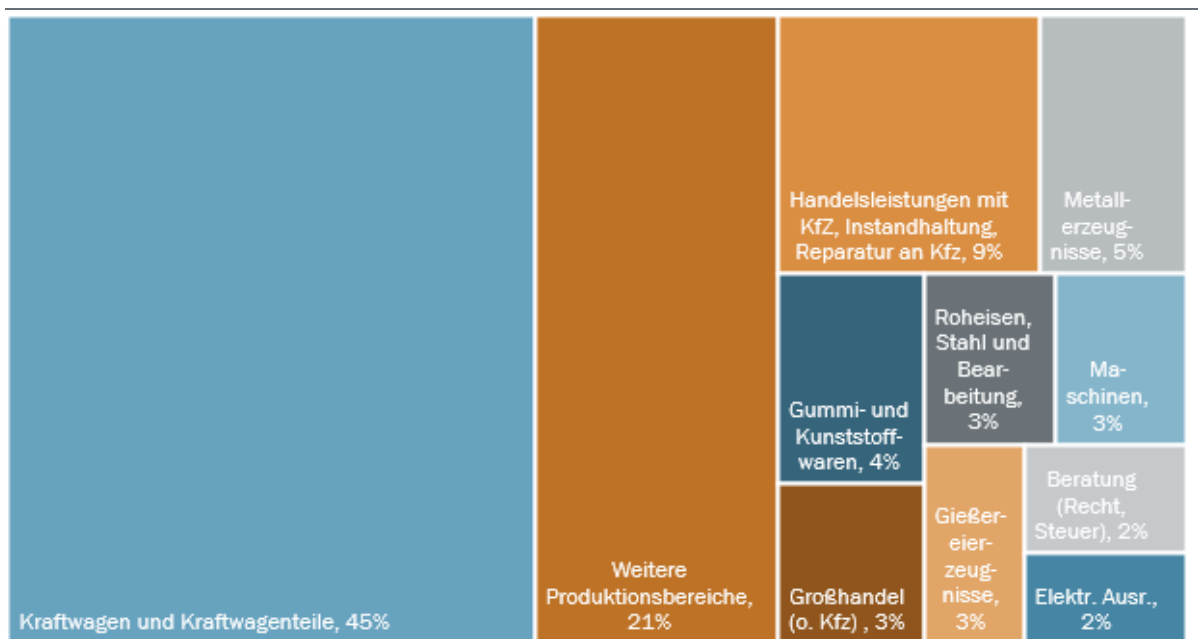
¹ <https://www.bayern-innovativ.de/de/seite/bedeutung-der-automobilindustrie-in-bayern>

Entwicklung relevant sind². Entsprechend unterscheiden wir stets zwischen den einzelnen Teilbereichen der Kernautomobilindustrie sowie ausgewählten vorleistenden und nachgelagerten Branchen. Der Begriff der Kernautomobilindustrie bezieht sich in der vorliegenden Studie dabei auf den gemäß Klassifikation der Wirtschaftszweige 2008 (WZ 2008) abgegrenzten Wirtschaftsabschnitt 29 *Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen*.

Mit Blick auf die vorgelagerten Branchen zeigt eine Auswertung der aktuellen Input-Output-Tabelle³ für Deutschland, dass mit einem Anteil von 45 Prozent der gesamten von der Automobilindustrie nachgefragten Vorleistungen die größte Vorleistungsnachfrage auf die In-Sich-Lieferungen des Produktionsbereichs selbst entfällt (Abbildung 1). Mit einem Anteil von 9 Prozent ist der größte weitere Einzelposten dem Produktionsbereich *Handelsdienstleistungen, Instandhaltung und Reparatur an KfZ* zuzuordnen. Weitere relevante Vorleister mit einem Anteil von jeweils mindestens drei Prozent sind die *Metallerzeugnisse* (5 Prozent), *Gummi- und Kunststoffwaren* (4 Prozent), *Maschinen* (3 Prozent), *Roheisen, Stahl und Bearbeitung daraus* (3 Prozent), *Gießereierzeugnisse* (3 Prozent) sowie der *Großhandel (ohne KfZ)* (3 Prozent). Zu dem als *Weitere Produktionsbereiche* (21 Prozent) zusammengefassten Posten zählen über 40 weitere Branchen, darunter u. a. die *Reparatur, Instandhaltung und Installation von Maschinen und Ausrüstungen, Lagerdienstleistungen, chemische Erzeugnisse, IT- und Informationsdienstleistungen, Dienstleistungen der Vermittlung und Überlassung von Arbeitskräften* oder *Finanzdienstleistungen*.

Abbildung 1: Die meisten Vorleistungsgüter werden von der eigenen Branche geliefert

Anteil der zuliefernden Produktionsbereiche an der gesamten Vorleistungsnachfrage der Branche, in Prozent, 2020



Quelle: Statistisches Bundesamt, eigene Berechnungen und eigene Darstellung Prognos

© Prognos 2023

² Elektrifizierung, vernetzte Mobilität und autonomes Fahren sowie Produktivitätsgewinne durch Industrie 4.0 (Vgl. Kapitel 3.2 bis 3.4).

³ In der sogenannten Input-Output-Tabelle des Statistischen Bundesamtes ist die produktions- und gütermäßige Verflechtung der Produktionsbereiche der deutschen Volkswirtschaft in einer Matrix abgebildet. Anhand dieser Datenbasis lässt sich ablesen, in welchem Umfang die einzelnen Produktionsbereiche Vorleistungsgüter aus weiteren Produktionsbereichen beziehen. Den dargestellten Auswertungen liegt die Input-Output-Tabelle für das Jahr 2020 zugrunde. In dieser werden die Vorleistungsverflechtungen von 72 Produktionsbereichen der deutschen Volkswirtschaft abgebildet, darunter auch der Produktionsbereich *Kraftwagen und Kraftwagenteile*.

Diese Auswertung gibt erste Hinweise auf die Relevanz anderer Produktionsbereiche für die Vorleistungsnachfrage der Automobilwirtschaft. Ebenfalls wird jedoch deutlich, dass die anhand solcher Input-Output-Analysen möglichen Detaillierungsgrade für den Kontext der vorliegenden Studie nicht ausreichend sind. So ist unter anderem der Produktionsbereich *Maschinenbau* sehr heterogen und nur bestimmte Teilbereiche für die Automobilwirtschaft von Bedeutung – beispielsweise die untergeordnete Teilbranche *WZ 28.13 Herstellung von Pumpen und Kompressoren*. Ebenso sind im Kontext der vorliegenden Studie insbesondere solche vor- und nachgelagerten Branchen relevant, bei denen vor dem Hintergrund der Hypothesen am ehesten mit größeren Änderungen bezüglich der Beschäftigungsstruktur zu rechnen ist. So stehen beispielsweise Zuliefernde Unternehmen, deren Produkte und Dienstleistungen von der Art des Antriebsstrangs abhängen sind, im Chancenfeld Elektrifizierung stärker im Fokus⁴.

Entsprechend stehen die in der nachstehenden Tabelle gelisteten Branchen in der vorliegenden Studie im Vordergrund.

Tabelle 1: In der Studie betrachtete Teilbranchen gemäß WZ 2008 und Relevanz je Chancenfeld

Teilbranchen gemäß WZ 2008		Elektrifizierung	Vernetzte Mobilität und autonomes Fahren	Produktivitätsgewinne durch Industrie 4.0
Kernautomobilindustrie	291 Kraftwagen und Kraftwagenmotoren	x	x	x
	292 Karosserien, Aufbauten, Anhänger	x	x	x
	293 Teile und Zubehör für Kraftwagen	x	x	x
Ausgewählte vorgelagerte Branchen	26 DV-Geräte, elektronische und optische Erzeugnisse		x	
	272 Batterien und Akkumulatoren	x		x
	2811 Verbrennungsmotoren und Turbinen ⁵	x		x
	2813 Pumpen, Kompressoren a. n. g ⁶	x		x
	2815 Lager, Getriebe, Zahnräder und Antriebselemente ⁷	x		x
Ausgewählte nachgelagerte Branchen	383 Rückgewinnung	x		x
	45203 Instandhaltung, Reparatur KfZ unter 3,5 t	x	x	

Quelle: Eigene Darstellung Prognos

© Prognos AG, 2023

Bei der im folgenden durchgeführten Aufbereitung der wirtschaftlichen Eckdaten wird zunächst lediglich auf die Kernautomobilindustrie (WZ 29) abgestellt. Auf die weiteren für die jeweiligen

⁴ Bei der Abwägung der betrachteten Branchen und des Differenzierungsgrades muss beachtet werden, dass die Datenlage auf Ebene des Bundeslandes Bayerns mehr Lücken aufweist als auf Ebene des Bundes. Daher wird in der vorliegenden Studie stets abgewogen zwischen dem Anspruch, möglichst detaillierte Ergebnisse zu erzielen und den Limitationen mit Blick auf die Datenverfügbarkeit.

⁵ Umfasst u. a. die *Herstellung von Teilen für Kolbenverbrennungsmotoren* wie Vergaser, Einspritzungssysteme, Zylinderblöcke, Zylinder, Zylindermäntel oder Zylinderköpfe.

⁶ Umfasst die *Herstellung von Pumpen für den Anbau an Kolbenverbrennungsmotoren: Öl-, Wasser- und Kraftstoffpumpen für KfZ*.

⁷ Umfasst u. a. die *Herstellung von Schaltgetrieben und Schaltkupplungen*.

Chancenfelder relevanten Teilbranchen wird bei der zugehörigen Formulierung der Hypothesen zur Entwicklung der Chancenfelder eingegangen. Dazu gehört im Chancenfeld Elektrifizierung beispielsweise das nachgelagerte Recycling von Alt-Batterien. Ebenfalls nicht quantitativ betrachtet bzw. keine separaten Berechnungen angestellt werden für solche Branchen, die für die Bereitstellung einer veränderten Infrastruktur benötigt werden, beispielsweise für die Erstellung von Ladesäulen. Qualitativ wird auf diese Aspekte an den entsprechenden Stellen jedoch hingewiesen.

2.2 Wirtschaftliche Eckdaten der bayerischen (Kern-)Automobilindustrie

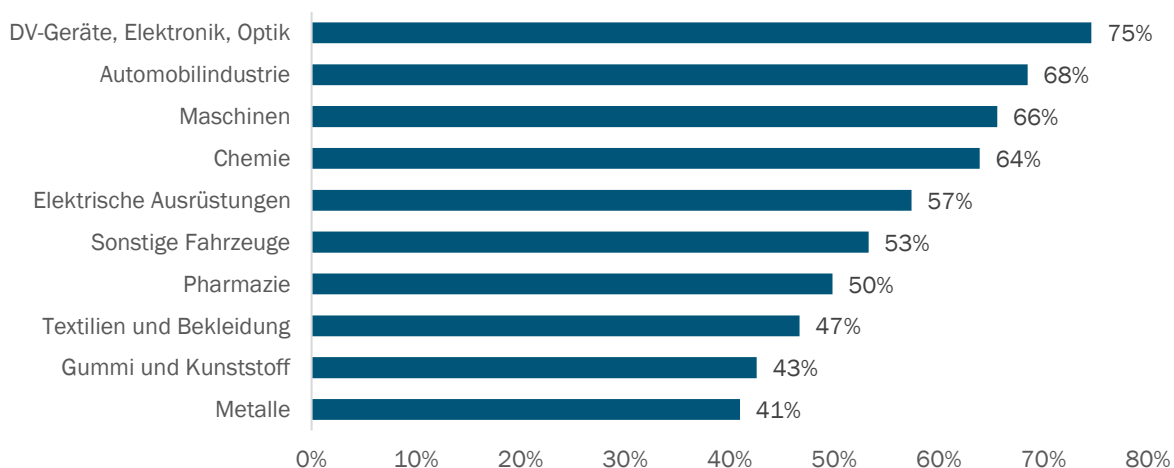
2.2.1 Aus- und Einfuhren

Das Auslandsgeschäft spielt für die Branche eine wichtige Rolle

Die Fokussierung auf das Auslandsgeschäft wird zunächst anhand des Anteils des Auslandsumsatzes am Gesamtumsatz aufgezeigt. Gemessen an diesem Anteil liegt die als WZ 29 abgegrenzte Automobilindustrie im bayernweiten Branchenvergleich im Jahr 2021 mit 68 Prozent auf dem zweiten Rang hinter der Elektronikindustrie (Abbildung 2). Im gesamten bayerischen Verarbeitenden Gewerbe ist nur rund die Hälfte des Umsatzes auf das Auslandsgeschäft zurückzuführen. Die Automobilindustrie zählt somit zu den bayerischen Branchen mit der stärksten Exportorientierung.

Abbildung 2: Die bayerische Automobilindustrie ist stark auf das Ausland ausgerichtet

Anteil des Auslandsumsatzes am Gesamtumsatz nach Branchen, 2021, in Prozent



Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik, eigene Darstellung Prognos

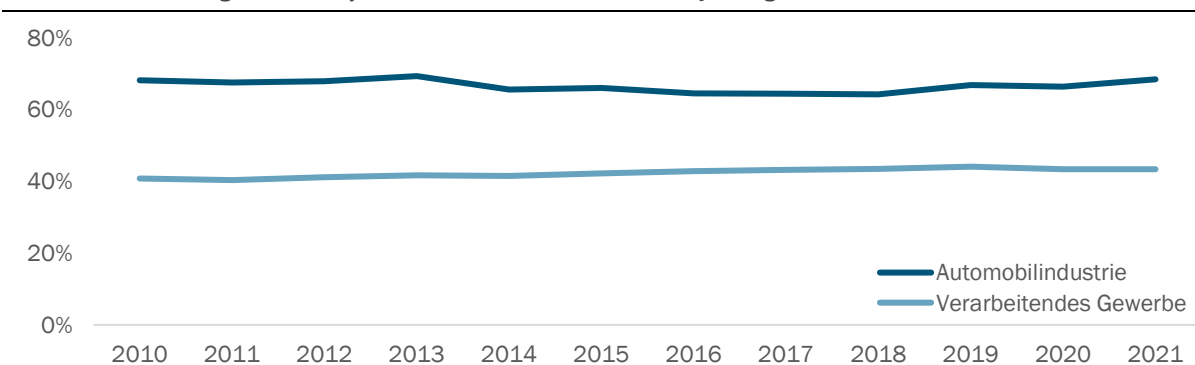
© Prognos 2023

Die Entwicklung über die vergangene Dekade zeigt, dass die Automobilindustrie bereits in der Vergangenheit stark auf das Auslandsgeschäft fokussiert war (Abbildung 3). Konkret beläuft sich der Anteil des Auslandsumsatzes am Gesamtumsatz zwischen 2010 und 2021 mit über zwei Drittel bzw. 67 Prozent auf einem nahezu konstant hohen Niveau und deutlich über dem Durchschnitt des bayerischen Verarbeitenden Gewerbes. Für die gesamte deutsche Automobilindustrie lag der entsprechende Anteil des Auslandsgeschäfts im gleichen Zeitraum bei rund 64 Prozent.

Dieser Vergleich zeigt, dass das Auslandsgeschäft in Bayern einen noch etwas höheren Stellenwert einnimmt als im bundesdeutschen Durchschnitt.

Abbildung 3: Die Automobilindustrie ist anhaltend überdurchschnittlich exportorientiert

Auslandsumsatz ausgewählter bayerischer Branchen in Prozent des jeweiligen Gesamtumsatzes, 2010-2021



Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik, eigene Darstellung Prognos

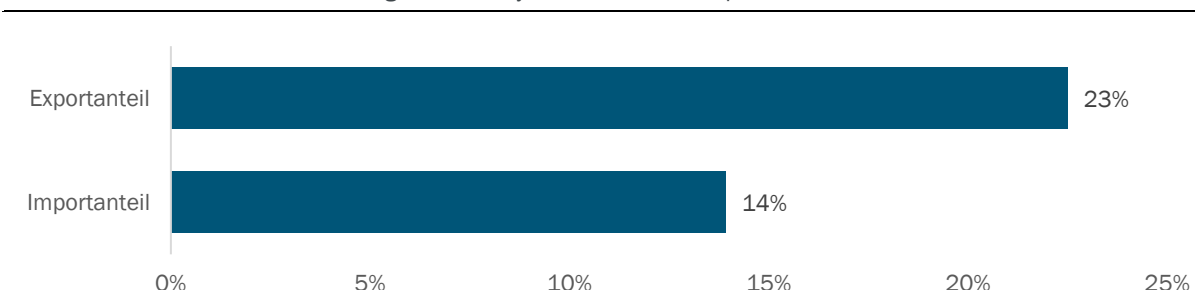
© Prognos 2023

Ein weiterer Indikator zur Beurteilung der Verflechtung einer Branche mit dem Ausland bildet die Außenhandelsquote – gemessen als Anteil der Exporte am Produktionswert. Auch diese Kennziffer bestätigt die starke Exportorientierung der bayerischen Automobilindustrie. So lag dieser Wert vor Beginn der Covid-19-Pandemie noch bei 61 Prozent (2019) und ist im Folgejahr auf 56 Prozent gesunken. Trotz den mit der Pandemie einhergehenden Einschränkungen des (internationalen) Warenhandels und der teilweise unterbrochenen globalen Lieferketten wurde somit noch über die Hälfte des Produktionswertes exportiert.

Auch für die gesamten bayerischen Ex- und Importe spielt die Automobilindustrie eine wichtige Rolle. So ist knapp jeder Vierte aus Bayern exportierte Euro auf die Automobilindustrie zurückzuführen, bei den Importen fällt der Anteil mit rund 14 Prozent etwas geringer aus (Abbildung 4). Bezogen auf die deutschlandweiten Exporte der Automobilindustrie liegt der Anteil des Standort Bayerns bei knapp 20 Prozent.

Abbildung 4: Ein großer Teil der bayerischen Ex- und Importe hängt von der Automobilindustrie ab

Anteil der Automobilindustrie an den gesamten bayerischen Ex- und Importen, 2022, in Prozent



Quelle: Statistisches Bundesamt, eigene Darstellung Prognos

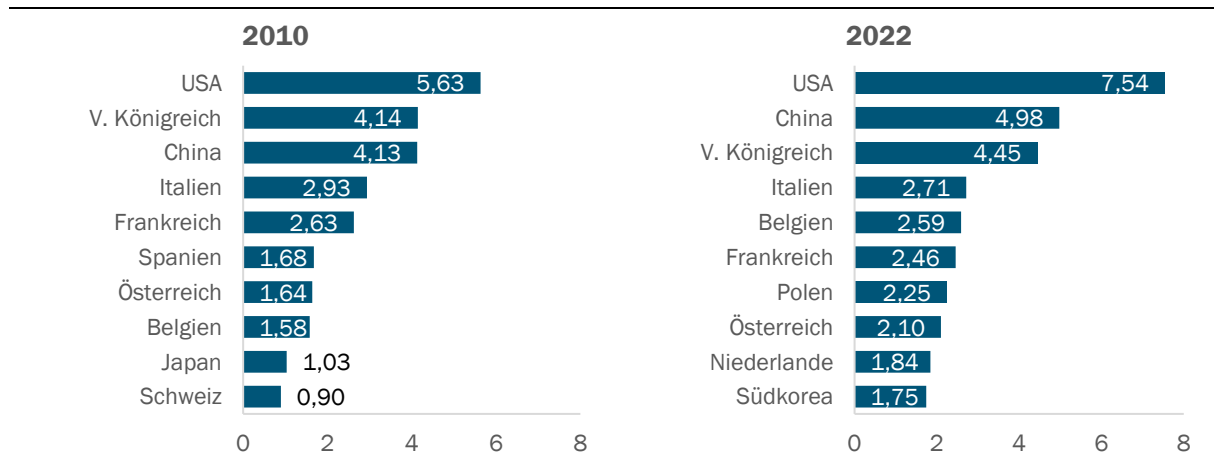
© Prognos 2023

Bedeutendster Absatz- und Beschaffungsmarkt sind die USA

Mit einem Exportvolumen von 5,6 Milliarden Euro waren die USA bereits im Jahr 2010 der Hauptabsatzmarkt der bayerischen Automobilindustrie. Die Relevanz der Vereinigten Staaten ist seitdem noch weiter angestiegen auf ein Exportolumen von rund 7,5 Milliarden Euro im Jahr 2022 (Abbildung 5). Auch China hat als Absatzmarkt seit 2010 an Bedeutung gewonnen und liegt gemessen am Exportvolumen im Jahr 2022 auf Platz zwei. Bei den Exporten in das Vereinigte Königreich zeigt sich nur ein leichter Anstieg des Volumens. Dennoch liegt das Land weiterhin in den Top 3 der bayerischen Absatzmärkte - trotz Austritt aus der Europäischen Union. In absoluten Werten betrachtet waren innerhalb der Gruppe der Hauptabsatzmärkte der bayerischen Automobilindustrie nur die Exporte nach Italien und Frankreich zwischen 2010 und 2022 leicht rückläufig.

Abbildung 5: Die wichtigsten Absatzmärkte der bayerischen Automobilindustrie

Top 10 Exportpartner der bayerischen Automobilindustrie, 2010 und 2022, in Mrd. Euro



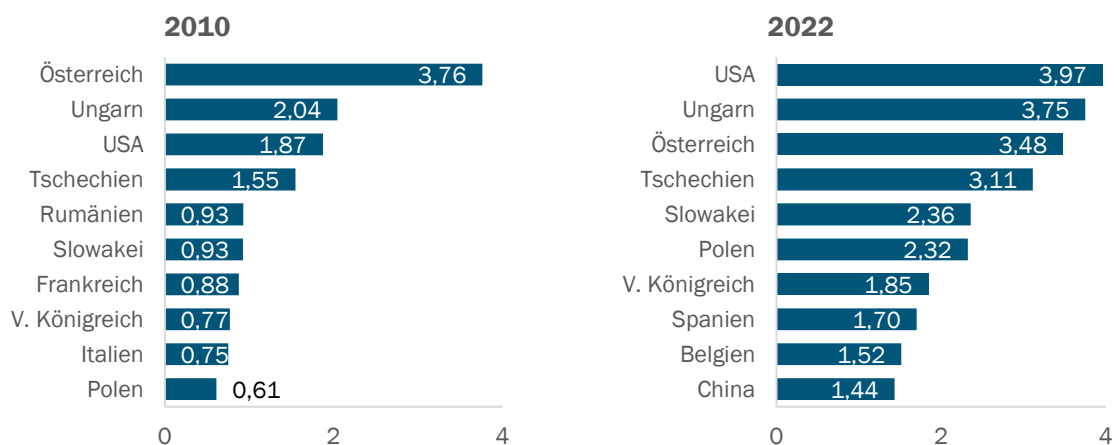
Quelle: Statistisches Bundesamt, eigene Darstellung Prognos

© Prognos 2023

Im Vergleich zu den Exporten haben die Importe der bayerischen Automobilindustrie noch stärker zugelegt, liegen in absoluten Zahlen betrachtet jedoch weiterhin auf einem deutlich geringeren Niveau. Auffällig ist allerdings, dass mit Blick auf die Beschaffungsmärkte des bayerischen Kraftwagenbaus eine stärkere Diversifizierung stattgefunden hat und die in Euro gemessenen Importvolumen in allen Hauptbeschaffungsmärkten angestiegen sind. War Österreich im Jahr 2010 mit rund 3,8 Milliarden Euro noch mit Abstand der wichtigste Beschaffungsmarkt, sind dies im Jahr 2022 mit knapp 4 Milliarden Euro die Vereinigten Staaten. Neben den Vereinigten Staaten haben insbesondere Ungarn, Tschechien und die Slowakei in den vergangenen Jahren stark aufgeholt (Abbildung 6). Diese Zahlen verdeutlichen die gewachsene Bedeutung dieser Länder als wichtige Lieferanten von Vorleistungsgütern für die bayerische Automobilindustrie.

Abbildung 6: Die wichtigsten Beschaffungsmärkte der bayerischen Automobilindustrie

Top 10 Importpartner der bayerischen Automobilindustrie, 2010 und 2022, in Mrd. Euro



Quelle: Statistisches Bundesamt, eigene Darstellung Prognos

© Prognos 2023

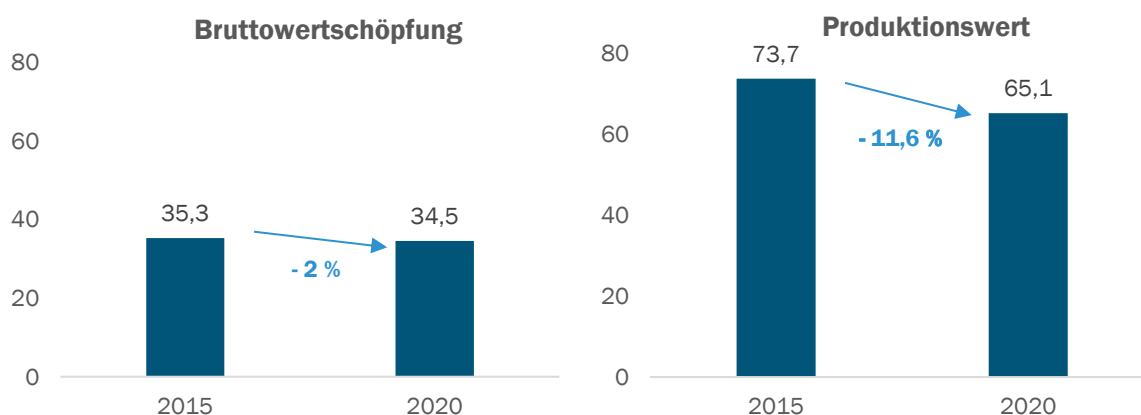
2.2.2 Produktionswert, Bruttowertschöpfung und Beschäftigung

Ein Viertel der Wertschöpfung des bayerischen Verarbeitenden Gewerbes entfällt auf die Automobilindustrie

Die Bruttowertschöpfung und der Produktionswert verdeutlichen die Relevanz der bayerischen Automobilindustrie für das gesamte bayerische Verarbeitende Gewerbe. So waren 2020 rund 25 Prozent der bayerischen Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes auf die als WZ 29 abgegrenzte Automobilindustrie zurückzuführen. Zwar ist im Vergleich von 2015 bis 2020 sowohl die Bruttowertschöpfung als auch der Produktionswert gesunken (Abbildung 7).

Abbildung 7: Die Automobilindustrie hat während der Covid-19-Pandemie gelitten

Entwicklung der Bruttowertschöpfung und der zum Absatz bestimmten Produktion der bayerischen Automobilindustrie, 2015 und 2020, in Mrd. Euro



Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik, eigene Darstellung Prognos

© Prognos 2023

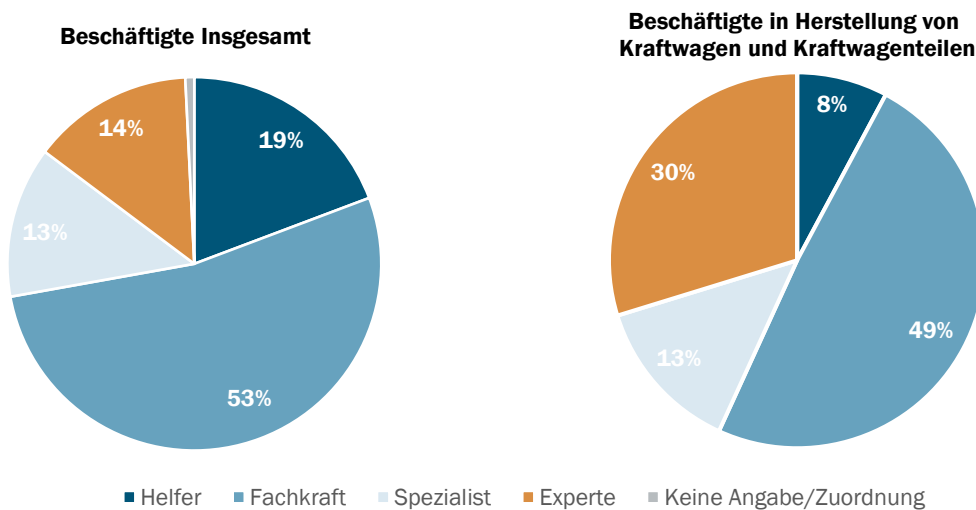
Dieser Rückgang ist jedoch zu großen Teilen auf die Covid-19-Pandemie zurückzuführen, denn zwischen 2015 und 2019 konnten sowohl die Bruttowertschöpfung als auch der Produktionswert noch einen Zuwachs verzeichnen auf 39 Milliarden bzw. 77 Milliarden Euro. Erst im Folgejahr 2020 kam die Produktion in vielen Werken zwischenzeitlich komplett zum Stillstand. Im Jahr 2021 konnte der Produktionswert bereits wieder um 8 Prozent auf rund 70 Milliarden Euro gesteigert werden. Zuletzt wurde die Produktion noch durch noch Lieferengpässe etwa bei Speicherchips gebremst, weshalb das Angebot derzeit noch hinter der Nachfrage zurückbleibt.

In der Kernautomobilindustrie sind knapp 250.000 Personen direkt beschäftigt

Für die Erbringung der Wertschöpfung wird eine Vielzahl an Arbeitskräften benötigt. Entsprechend ist der Kraftwagenbau ein wichtiger Arbeitgeber. So waren im Jahr 2022 insgesamt 248.850 Personen direkt in der Automobilindustrie beschäftigt. Das entspricht 3,8 Prozent der gesamten Beschäftigung in Bayern. Gekennzeichnet sind diese Arbeitsplätze durch eine hohe Qualität. Zum einen sind die Beschäftigten im Kraftwagenbau mit einem Anteil von 99,6 Prozent überdurchschnittlich häufig sozialversicherungspflichtig beschäftigt, verglichen mit 89,2 Prozent aller Beschäftigten in Bayern. Zum anderen ist das Qualifikationsniveau der Beschäftigten im Kraftwagenbau deutlich höher als im bayerischen Durchschnitt. Fast ein Drittel der Beschäftigten in der Branche werden mit Blick auf das Qualifikationsniveau als „Experte“ eingestuft, nur knapp acht Prozent als „Helfer“ (Abbildung 8).⁸

Abbildung 8: Beschäftigte in der Automobilindustrie sind überdurchschnittlich qualifiziert

Anforderungsniveau in der Beschäftigung insgesamt und in der Automobilindustrie (H. v. Kraftwagen und Kraftwagenteilen) in Prozent, Bayern, 2022



Quelle: Bundesagentur für Arbeit, eigene Darstellung Prognos

© Prognos 2023

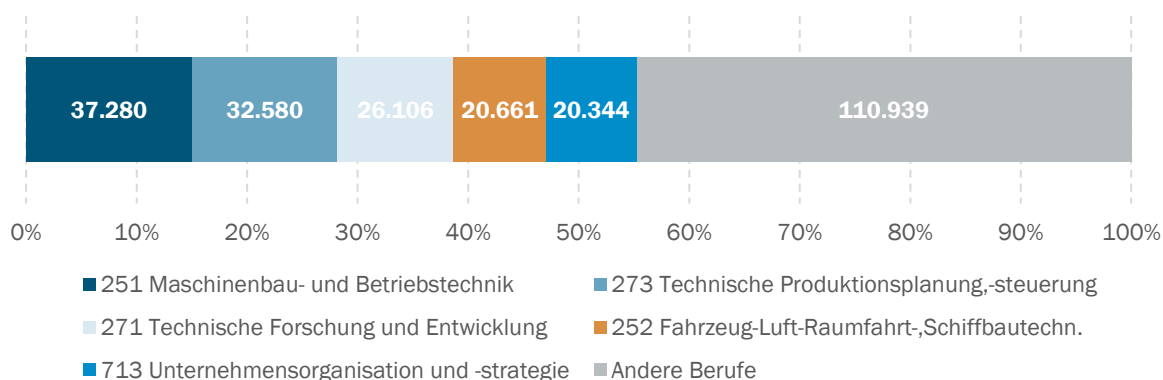
Die Beschäftigung in der Automobilindustrie wird von wenigen Berufsgruppen dominiert. So entfallen 55 Prozent und damit mehr als die Hälfte der Beschäftigten in der Branche auf lediglich

⁸ Die Qualifikationsniveaus bzw. Anforderungsprofile unterschieden typischerweise wie folgt abgegrenzt: *Helfer(tätigkeiten)* führen normalerweise ungelernete Arbeitskräfte aus, *Fachkräfte* verfügen dagegen über einen beruflich qualifizierenden Abschluss. *Spezialistinnen und Spezialisten* besitzen darauf aufbauend noch tiefer gehende Fachkenntnisse wie beispielsweise einen Meisterabschluss. *Experten(tätigkeiten)* werden üblicherweise von Erwerbstätigen mit einem Hochschulabschluss durchgeführt.

fünf Berufsgruppen (Abbildung 9). Wichtigste Berufsgruppe ist dabei mit über 37.000 Beschäftigten die *Maschinenbau- und Betriebstechnik*. Auffällig ist zudem, dass vier der wichtigsten Berufsgruppen statistisch den technischen Berufshauptgruppen 25 *Maschinen- und Fahrzeugtechnikberufe* und 27 *Technische Forschungs-, Entwicklungs-, Konstruktions- und Produktionssteuerungsberufe* zugeordnet sind. Hier zeigt sich die hohe technologische Ausrichtung des Kraftwagenbaus in Bayern. Eine vollständige Auflistung der Aufteilung der in der Automobilindustrie Beschäftigten nach Berufsgruppen findet sich im Anhang.

Abbildung 9: Die Beschäftigung in der Automobilindustrie konzentriert sich auf fünf Berufsgruppen

Anteil ausgewählter Berufsgruppen an der Beschäftigung in der bayerischen Automobilindustrie, in Prozent, 2022



Quelle: Bundesagentur für Arbeit, eigene Darstellung Prognos

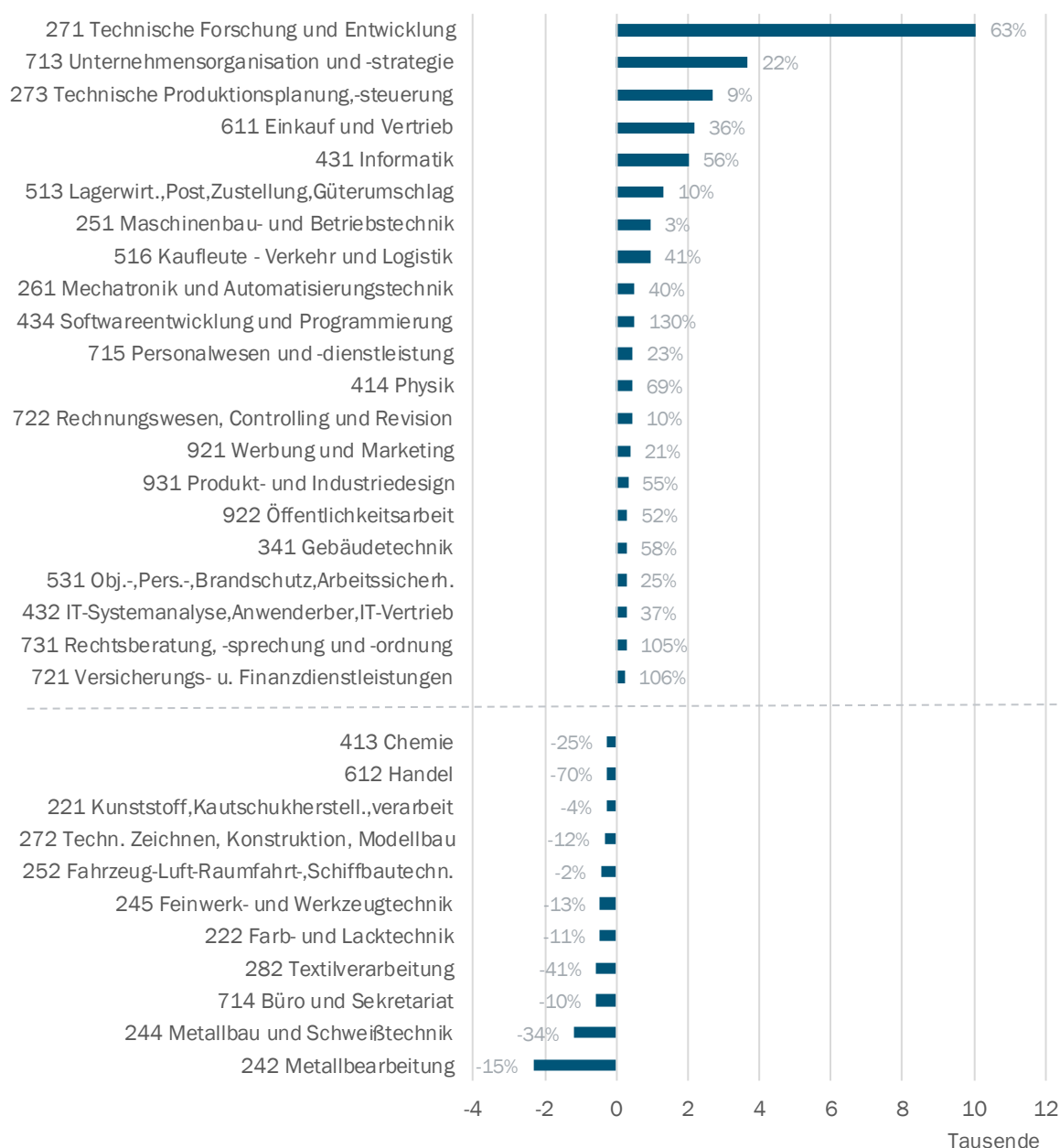
© Prognos 2023

Seit 2013 sind deutliche Verschiebungen bezüglich der Berufsstruktur zu beobachten

Im Zeitraum von 2013 bis 2022 zeigen sich teilweise deutliche Verschiebungen in den Anteilen der Berufsgruppen innerhalb der Kernautomobilindustrie. Der in absoluten Zahlen betrachtet größte Beschäftigungsaufbau entfällt mit gut 10.000 Beschäftigten auf die Berufsgruppe *Technische Forschung und Entwicklung* (Abbildung 10). Weitere Berufsgruppen mit einem Zuwachs von mindestens 2.000 Beschäftigten sind die *Unternehmensorganisation und -strategie* (+3.700), die *Technische Produktionsplanung,-steuerung* (+2.700), der *Einkauf und Vertrieb* (+2.200) sowie die *Informatik* (+2.000).

Die alleinige Betrachtung der absoluten Zuwächse verstellt jedoch den Blick auf die Dynamik der Entwicklungen. Grund hierfür ist die unterschiedlich hohe Anzahl der Beschäftigten je Berufsgruppe. So entspricht der Beschäftigungsaufbau in der Berufsgruppe *Maschinenbau- und Betriebstechnik* in Höhe von knapp 1.000 Personen lediglich einem Zuwachs von etwa 3 Prozent. In der *Softwareentwicklung und Programmierung* betrug der Zuwachs hingegen ganze 130 Prozent. Die Anzahl der Beschäftigten hat sich seit 2013 somit mehr als verdoppelt. Aufgrund der geringeren Anzahl der Beschäftigten entspricht dieser Zuwachs absolut betrachtet jedoch lediglich 500 Beschäftigten und damit deutlich weniger als in der *Maschinenbau- und Betriebstechnik*.

Abbildung 10: Veränderung der Anzahl an Beschäftigten in der bayerischen Kernautomobilindustrie
 Ausgewählte Berufsgruppen mit hohem Aufbau oder Abbau an Beschäftigten, 2013 bis 2022, in Tsd. und in %



Quelle: Bundesagentur für Arbeit, eigene Darstellung Prognos

© Prognos 2023

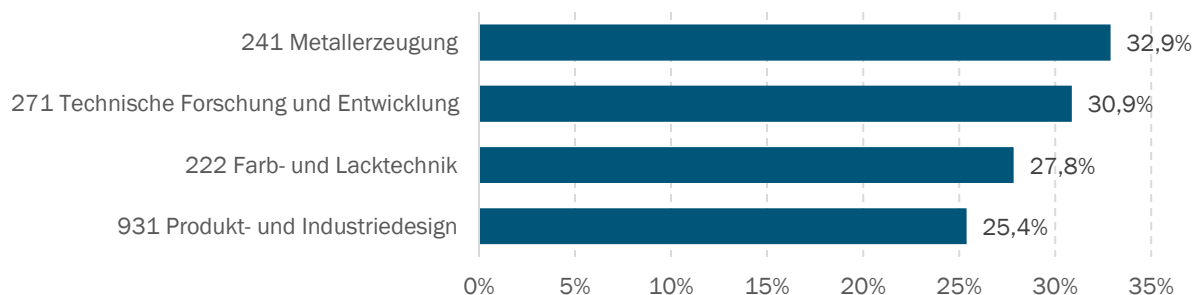
Einige Berufsgruppen verzeichnen seit 2013 jedoch ebenfalls einen Beschäftigungsrückgang. So sind im Jahr 2022 in der Berufsgruppe *Metallbearbeitung* etwa 2.300 Personen bzw. 15 Prozent weniger beschäftigt als im Jahr 2013. In der *Metallbau und Schweißtechnik* beläuft sich der Rückgang auf etwa 1.200 Beschäftigte bzw. 34 Prozent. Weitere Berufsgruppen mit einem nennenswerten absoluten Beschäftigungsrückgang von jeweils knapp 600 Personen betreffen das *Büro und Sekretariat* und die *Textilverarbeitung*. Prozentual betrachtet fällt der Beschäftigungsrückgang innerhalb der betrachteten Berufsgruppen mit 70 Prozent hingegen im *Handel* am höchsten aus.

Je nach Beruf arbeiten bis zu einem Drittel der Beschäftigten in der Automobilindustrie

Für Beschäftigte bestimmter Berufsgruppen ist die Automobilindustrie in Bayern der wichtigste Arbeitgeber. Während insgesamt in der Branche nur 3,8 Prozent aller in Bayern Beschäftigten arbeiten, sind dies in vier Berufsgruppen über 25 Prozent der Personen, die diesen Beruf in Bayern ausüben (Abbildung 11). Besonders hoch ist der Anteil in der Berufsgruppe *Metallerzeugung*: Ein Drittel aller bayerischen Beschäftigten dieser Berufsgruppe arbeitet in der Automobilindustrie. Der hohe Anteil der Beschäftigten in der Automobilindustrie an allen Beschäftigten in der Berufsgruppe *Technische Forschung und Entwicklung* verdeutlicht zudem die Bedeutung der Branche für den bayerischen Forschungsstandort.

Abbildung 11: In einigen Berufen entfällt der Großteil der Beschäftigung auf die Automobilindustrie

Anteil der Beschäftigten im Kraftwagenbau an allen Beschäftigten in der Berufsgruppe, 2022, in Prozent



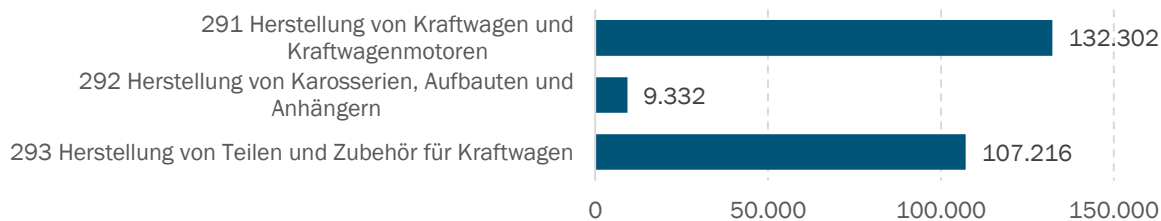
Quelle: Bundesagentur für Arbeit, eigene Darstellung Prognos

© Prognos 2023

Ein vertiefter Blick in die Teilbranchen der Automobilindustrie ist aufgrund der kleinteiligen Daten nur eingeschränkt möglich, aber dennoch aufschlussreich. Die mit Blick auf die Anzahl der Beschäftigten wichtigsten Teilbranchen sind *291 Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenmotoren* und *293 Herstellung von Teilen und Zubehör für Kraftwagen*. In diesen arbeiten knapp 240.000 Beschäftigte und damit 96 Prozent der in der Automobilindustrie Beschäftigten (Abbildung 12).

Die am häufigsten vertretenen Berufshauptgruppen unterscheiden sich zwischen diesen Teilbranchen nur geringfügig. In der Teilbranche *291 Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenmotoren* arbeiten 28 Prozent der Beschäftigten in der Berufshauptgruppe *Technische Forschungs-, Entwicklungs-, Konstruktions- und Produktionssteuerungsberufe*. In der Teilbranche *293 Herstellung von Teilen und Zubehör für Kraftwagen* sind dies nur 20 Prozent. Demgegenüber spielt die Berufsgruppe *Metallbearbeitung* in der Teilbranche *293 Herstellung von Teilen und Zubehör für Kraftwagen* mit 10 Prozent der Beschäftigten (gegenüber 3 Prozent in der anderen Teilbranche) eine wesentlich größere Rolle.

Abbildung 12: Im Teilbereich Herstellung von Kraftwagen und -motoren sind die meisten Beschäftigten
Anzahl der Beschäftigten in den Teilbranchen der bayerischen Automobilindustrie, 2022, in Prozent



Quelle: Bundesagentur für Arbeit, eigene Darstellung Prognos

© Prognos 2023

Die Bedeutung der Automobilindustrie unterscheidet sich je nach Region

Eine Studie von IW Consult und Fraunhofer IAO (BMW, 2021) zur Bedeutung regionaler Automobilnetzwerke in Deutschland zeigt, dass sich die Verteilung der Beschäftigten in der produktionsnahen Automobilwirtschaft in Deutschland zwischen den Bundesländern sowie auf der regionalen Ebene deutlich unterscheidet. Dabei sind die Regionen, in denen mindestens einer der acht führenden Automobilhersteller in Deutschland (Audi, BMW, Daimler, Ford, MAN, Opel, Porsche, Volkswagen) vertreten ist, besonders von der Automobilindustrie geprägt. Auch, weil diese Hersteller häufig Zuliefererunternehmen an ihre Standorte ziehen.

Während somit Süddeutschland vergleichsweise stark von der Automobilwirtschaft geprägt ist, bilden die Stadtstaaten Berlin und Hamburg sowie die Flächenländer Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern mit Blick auf den Beschäftigungsanteil in der Automobilindustrie das Schlusslicht (jeweils < 1 Prozent). Absolut betrachtet sind die meisten in der Automobilwirtschaft Beschäftigten in Bayern und Baden-Württemberg tätig. In relativer Perspektive sticht hingegen das Saarland hervor. Hier arbeiten 7,8 Prozent aller Beschäftigten in der Automobilwirtschaft. In Bayern liegt dieser Anteil bei 5,4 Prozent; im Bundesdurchschnitt sind es 3,6 Prozent.

Auf regionaler Ebene stehen in Bayern die beiden OEM-Standorte Ingolstadt (Audi) mit einem Anteil der Beschäftigten in der Automobilwirtschaft an der Gesamtbeschäftigung in Höhe von 46,7 Prozent, und der Landkreis Dingolfing-Landau (BMW) mit 43,7 Prozent an der Spitze. Doch auch zahlreiche weitere, insbesondere von großen Automobilzulieferern geprägte bayerische Regionen, wie u. a. Schweinfurt und der Landkreis Erlangen-Höchstadt weisen mit 29,1 bzw. 18,1 Prozent überdurchschnittlich hohe Beschäftigungsanteile in der produktionsnahen Automobilindustrie auf.

3 Hypothesen und Szenariorechnungen zur Entwicklung der Automobilindustrie

In Kürze:

In diesem Kapitel werden auf Basis von Literaturanalysen eigene Hypothesen über mögliche zukünftige Entwicklungen in den Chancenfeldern (i) Elektrifizierung, (ii) Vernetzte Mobilität und autonomes Fahren und (iii) Produktivitätsgewinne durch Industrie 4.0 aufgestellt und deren Auswirkungen auf die bayerische Automobilindustrie abgeleitet.

Auf diese Hypothesen aufbauende, quantitative Szenariorechnungen zu möglichen Beschäftigungseffekten zeigen u. a., dass in Bayern aufgrund der zunehmenden Elektrifizierung in der Kernautomobilindustrie bis 2040 rund 32.000 Arbeitskräfte weniger benötigt werden als in einem kontrafaktischen Referenzszenario mit eingefrorenem Technologiemix. Dies ist insbesondere auf die Reduktion an Komplexität des Antriebsstrangs und gleichzeitigen Effizienzsteigerungen in der Produktion zurückzuführen. Im Zuge der zunehmenden Vernetzung und Automatisierung wird hingegen eine steigende Nachfrage in nahezu allen betrachteten Berufsgruppen erwartet. So werden in der Kernautomobilindustrie in Bayern in diesem Chancenfeld bis 2040 rund 7.500 Arbeitsplätze mehr nachgefragt als in der Referenz. Mit den durch die Industrie 4.0 generierten Produktivitätsgewinnen geht wiederum eine rückläufige Arbeitskräftenachfrage einher: Bis 2040 sinkt der Arbeitskräftebedarf in der Kernautomobilindustrie in Bayern gegenüber der Referenz um 28.500 Arbeitsplätze.

Die bayerischen Regionen sind dabei unterschiedlich stark von den Entwicklungen in der Automobilindustrie betroffen. Insbesondere die südbayerischen Städte und Landkreise, in denen die Werke der großen Automobilhersteller angesiedelt sind, werden den Wandel spüren.

Es gibt verschiedene Aspekte, die aufgrund der anstehenden Transformation der Automobilindustrie betrachtet werden können. In der vorliegenden Studie stehen solche Aspekte im Fokus, die im Rahmen des Projekts „transform.by“ von besonderer Bedeutung sind. Gemeinsam mit dem f-bb als Auftraggeber werden die nachstehenden Chancenfelder als besonders relevant betrachtet:

- Elektrifizierung (und damit einhergehend Kreislaufwirtschaft und Recycling)
- Vernetzte Mobilität und autonomes Fahren⁹
- Produktivitätsgewinne durch Industrie 4.0

Die Digitalisierung spielt für jedes der genannten Chancenfelder eine zentrale Rolle und wird daher nicht separat aufgeführt, sondern die jeweils relevanten Teilaspekte in den einzelnen Chancenfeldern aufgegriffen und thematisiert.

⁹ Die Vernetzte Mobilität und das autonome Fahren werden in der vorliegenden Studie gemeinsam betrachtet. Grund hierfür ist insbesondere, dass die technologischen Herausforderungen und die damit verbundenen Verschiebungen bzgl. der Berufsstruktur sehr ähnlich sind.

Um die Auswirkungen der für die einzelnen Chancenfelder entwickelten Hypothesen anhand von Szenariorechnungen quantifizieren zu können, wird im Folgenden zunächst ein kontrafaktisches Referenzszenario ohne einschneidende Veränderungen bezüglich des Arbeits- und Fachkräftebedarfs bis zum Jahr 2040 entwickelt (Abschnitt 3.1).¹⁰ Im Anschluss werden in den Abschnitten 3.2 bis 3.4 die einzelnen Chancenfelder betrachtet. Dabei werden für jedes der genannten Chancenfelder anhand von Literaturanalysen zunächst die möglichen übergreifenden Entwicklungen skizziert und darauf aufbauend die möglichen Auswirkungen auf die Teilbranchen und relevanten Berufe der Automobilindustrie herausgearbeitet. Hierbei erfolgt soweit möglich auch die Berücksichtigung bayerischer Besonderheiten. Auf dieser Basis werden für jedes Chancenfeld anhand von geeigneten Annahmen die daraus resultierenden quantitativen Abweichungen gegenüber den Entwicklungen der jeweils zugehörigen Branchen im Referenzszenario ermittelt.

3.1 Kontrafaktisches Referenzszenario mit eingefrorenem Technologiemarkt

Das Referenzszenario mit eingefrorenem Technologiemarkt beschreibt eine kontrafaktische Situation, in der die bayerische Automobilindustrie sich technologisch nicht weiterentwickelt und keine der in den drei Chancenfeldern aufgezeigten Perspektiven (bspw. weiterer Wandel hin zu Elektrofahrzeugen) eingelöst wird. Zukünftige Beschäftigungseffekte sind im Referenzszenario entsprechend ausschließlich auf unterstellte Annahmen zu den Absatz- und Produktionszahlen sowie auf Produktivitätsentwicklungen zurückzuführen.

3.1.1 Datenbasis und Annahmen

Wichtigste Datenquellen sind regionale Sonderauswertungen der Bundesagentur für Arbeit

Datenbasis für das Referenzszenario ohne einschneidende Veränderungen bilden valide Daten der statistischen Ämter, jeweils auf der für die regionale Ebene tiefsten sinnvollen Ebene der Klassifikation der Wirtschaftszweige 2008 und Klassifikation der Berufe 2010. Als wichtigste Quelle dient eine regionale Sonderauswertung der Beschäftigtenstatistik der Bundesagentur für Arbeit. Diese zeigt in Form einer Matrix für die Jahre 2013 bis 2022, auf welche Berufe und Anforderungsniveaus sich die Beschäftigten der einzelnen Branchen (der Automobilindustrie) in Bayern aufteilen.¹¹ Anhand dieser Daten kann unter Zuhilfenahme weiterer Annahmen von den branchenspezifischen Arbeitskräftebedarfen auf die berufsspezifischen Bedarfe geschlossen werden. Denn grundsätzlich gilt, dass der zukünftige Bedarf einzelner Berufe stark von der bestehenden Branchenstruktur sowie der zukünftigen Entwicklung der für die Region bedeutenden Branchen abhängig ist.¹²

Zukünftige Veränderungen im Referenzszenario betreffen die Produktivität und Absatzzahlen

Im Referenzszenario wird unterstellt, dass die bayerische Automobilindustrie auf dem aktuellen technologischen Stand stehen bleibt und die im folgenden skizzierten Chancenfelder nicht eingelöst werden. Zukünftige Veränderungen der Anzahl und Struktur der Beschäftigungsnachfrage gehen demnach allein auf (konservative) Annahmen zur Entwicklung der Arbeitsproduktivität sowie der Entwicklung der Produktions- und Absatzzahlen bis zum Jahr 2040 zurück. Die

¹⁰ Die Gegenüberstellung der Arbeitskräftebedarfe der einzelnen Chancenfelder mit dem zukünftig zur Verfügung stehenden Arbeitskräfteangebot erfolgt in Abschnitt 4 bei der gemeinsamen Betrachtung der Hypothesen.

¹¹ Auf diese Sonderauswertung wurde ebenfalls bei den Analysen des Kapitels 2.2.2 zur Berufsstruktur zurückgegriffen.

¹² Beispielsweise arbeiten Pflegerinnen und Pfleger nahezu ausschließlich im Gesundheitswesen, in den Teilbranchen der Automobilindustrie ist die Einordnung hingegen weniger eindeutig.

branchenspezifische Arbeitsproduktivität beschreibt dabei das Verhältnis zwischen dem Produktionsergebnis einer Branche und dem damit verbundenen Arbeitseinsatz. Konkret werden hierfür folgende Annahmen getroffen:

- **Arbeitsproduktivität:** Sowohl bei den Automobilherstellern als auch bei den betrachteten vor- und nachgelagerten Branchen unterstellen wir einen einheitlichen Zuwachs der Arbeitsproduktivität bis zum Jahr 2040 von jährlich 1,5 Prozent. Hierbei handelt es sich um einen konservativen Pfad, der sich an den Vergangenheitswerten sowie an den Angaben verschiedener Studien orientiert. Zusätzliche Produktivitätstreiber bspw. aufgrund möglicher Entwicklungen mit Blick auf die Industrie 4.0 und die Fortschritte bei der Digitalisierung sind nicht Teil des Referenzszenarios (Vgl. Abschnitt 3.4)
- **Absatz- und Produktionszahlen:** Im Referenzszenario wird ein hypothetischer Fall unterstellt, in dem die Fahrzeugproduktion der bayerischen Automobilindustrie bis zum Jahr 2040 um jährlich 0,9 Prozent zunimmt. Bis zum Jahr 2030 entspricht diese Annahme der für Deutschland insgesamt durchgeführten Szenariorechnung der Agora-Studie aus dem Jahr 2021. In dieser wird unterstellt, dass die deutsche Fahrzeugproduktion bis zum Jahr 2030 auf etwa 5,4 Millionen Fahrzeuge gesteigert wird – gegenüber 4,9 Millionen im Jahr 2019. Abweichend gegenüber der Agora-Studie unterstellen wir im Referenzszenario jedoch eine hypothetische Situation, in der die bayerische Automobilindustrie auf dem aktuellen technologischen Stand stehen bleibt und sich die Struktur bzw. der Technologiemitmix der produzierten Fahrzeuge nicht verändern wird. Das bedeutet implizit, dass der weitere Wandel hin zu Elektrofahrzeugen und höheren Automatisierungs- und Vernetzungsgraden im Referenzszenario nicht vollzogen wird.

Damit werden im Referenzszenario bewusst Annahmen gesetzt, die in doppelter Hinsicht einem kontrafaktischen Szenario entsprechen.

So wird erstens der Anteil der produzierten und abgesetzten Elektrofahrzeuge faktisch auf dem Stand des Jahres 2022 „eingefroren“. Das gleiche gilt für die weiteren möglichen zukünftigen Entwicklungen, die in den jeweiligen Chancenfeldern „vernetzte Mobilität und autonomes Fahren“ und „Produktivitätsgewinne durch Industrie 4.0“ skizziert werden. Das Referenzszenario entspricht somit einer fiktiven Situation, in der die aufgezeigten Potenziale der einzelnen Chancenfelder zu null Prozent realisiert werden. Dieser Logik zufolge werden auch mit Blick auf die Verflechtungen und die Abhängigkeiten der vor- und nachgelagerten Branchen keine über die Produktivitätsentwicklungen und Absatzzahlen hinausgehenden Veränderungen unterstellt. Das gleiche gilt für die Aufteilung der in den jeweiligen Teilbranchen Beschäftigten auf die Berufe, da aufgrund der Annahme eines konstanten Technologiemitmix auch kein nennenswerter qualifikatorischer Anpassungsbedarf besteht. Mögliche disruptive Entwicklungen sind ebenfalls nicht Teil des Referenzszenarios.

Zweitens müssten die (Welt-)Marktanteile der bayerischen Automobilindustrie im Referenzszenario erheblich gesteigert werden, um bei einem eingefrorenen Technologiemitmix den im Szenario unterstellten Anstieg der Produktionszahlen erreichen zu können. Grund hierfür ist, dass der globale Verkaufsanteil an nicht-elektrisch betriebenen Fahrzeugen zukünftig deutlich sinken wird. Entsprechend handelt es sich auch mit Blick auf diese Annahme um ein kontrafaktisches Szenario. Dies gilt auch vor dem Hintergrund der CO₂-Flottengrenzwerte für PkV der EU.

Dieses Vorgehen der Betrachtung eines in doppelter Hinsicht kontrafaktischen Referenzszenarios ist allerdings Voraussetzung dafür, um die Auswirkungen der für die einzelnen Chancenfelder aufgestellten Hypothesen in den folgenden Abschnitten 3.2 bis 3.4 sichtbar zu machen und isoliert betrachten zu können. Würde im kontrafaktischen Referenzszenario beispielsweise eine stärkere

Produktivitätsentwicklung aufgrund der absehbaren Entwicklungen mit Blick auf die Industrie 4.0 und die Fortschritte bei der Digitalisierung hinterlegt, wäre so bereits ein Teil der Auswirkungen des Chancenfeldes Produktivitätsgewinne durch Industrie 4.0 (Vgl. Abschnitt 3.4) im Referenzszenario mit inbegriffen. Bei der späteren Betrachtung der Beschäftigungseffekte, die aufgrund dieses Chancenfeldes entstehen werden, würden diese somit unterschätzt. Gleiches gilt für die möglichen Beschäftigungseffekte aufgrund der weiteren Chancenfelder.

3.1.2 Ergebnisse: Arbeits- und Fachkräftebedarf in relevanten Branchen bis 2040

Insgesamt sinkt der Bedarf im kontrafaktischen Referenzszenario in den betrachteten Branchen von knapp 475.000 Beschäftigten im Jahr 2022 auf etwa 426.000 im Jahr 2040. Dies entspricht einem Rückgang von etwa 10 Prozent bzw. 49.000 Beschäftigten (Tabelle 2). Davon entfallen fast 26.000 Arbeitsplätze auf die Kernautomobilindustrie (WZ 291-293). Dieses Ergebnis ist auf die im vorigen Abschnitt beschriebenen Annahmen zur Entwicklung der Produktivität und der Produktions- und Absatzzahlen zurückzuführen. Dabei gilt es zu beachten, dass es sich bei den Ergebnissen um das Zusammenspiel von zwei gegenläufigen Entwicklungen handelt. Zunächst führt die unterstellte Zunahme der Produktionszahlen zu einem Anstieg der Arbeitskräftenachfrage. Da die Produktivität allerdings noch stärker zunimmt, geht der Arbeitskräftebedarf trotz steigenden Produktionszahlen in Summe zurück.

Anteilig entstehen nach Branchen betrachtet im Referenzszenario die gleichen prozentualen Effekte. Grund hierfür ist die im vorigen Abschnitt erläuterte vereinfachende Annahme, dass die aktuellen wirtschaftlichen Verflechtungen zwischen den vor- und nachgelagerten Branchen aufgrund des eingefrorenen Technologiemix zukünftig konstant bleiben¹³. Bei der Interpretation gilt es darüber hinaus zu beachten, dass es sich bei den dargestellten Beschäftigtenzahlen für die Teilbranchen außerhalb der Kernautomobilindustrie nicht ausschließlich um Beschäftigte handelt, die von der Automobilindustrie abhängig sind und bei den zuliefernden Unternehmen arbeiten. Stattdessen handelt es sich um die (geschätzte) Anzahl der in Bayern insgesamt Beschäftigten in der jeweiligen Branche.

Tabelle 2: Anzahl der in Bayern Beschäftigten im Referenzszenario bis zum Jahr 2040

nach für die Chancenfelder relevanten Branchen, 2022 bis 2040 und als Differenz zwischen 2040 und 2022, in Tsd.

Branche		2022	2030	2035	2040	2022-2040
Automobilkernindustrie	291 Kraftwagen und -motoren	132,3	126,1	122,3	118,7	-13,6
	292 Karosserien, Aufbauten, Anhänger	9,3	8,9	8,6	8,4	-1,0
	293 Teile und Zubehör für Kraftwagen	107,2	102,2	99,1	96,2	-11,0
Vorgelagerte Branchen	26 DV-Geräte, elektrische und optische Erzeugnisse	106,6	101,6	98,6	95,7	-10,9
	272 Batterien und Akkumulatoren*	2,7	2,6	2,5	2,5	-0,3
	2811 Verbrennungsmotoren, Turbinen*	8,9	8,5	8,3	8,0	-0,9
	2813 Pumpen, Kompressoren a. n. g*	9,6	9,1	8,9	8,6	-1,0
	2815 Lager, Getriebe, Zahnräder, Antriebselemente*	27,9	26,6	25,8	25,1	-2,9
Nachgelagerte Branchen	383 Rückgewinnung	7,1	6,8	6,6	6,4	-0,7
	45203, 45204 Instandhaltung und Reparatur KfZ	63,0	60,0	58,2	56,5	-6,5

¹³ Auch hierbei handelt es sich um eine vereinfachende Annahme, da sich die Arbeitsproduktivität zwischen den einzelnen Teilbranchen teilweise unterscheidet.

* Für diese Branchen wurde die Anzahl der in Bayern Beschäftigten für das Jahr 2022 geschätzt. Für die Schätzung wurde der gleiche Anteil der Beschäftigten an der jeweils übergeordneten WZ-Klassifikation angenommen wie für Deutschland.

Quelle: Bundesagentur für Arbeit, eigene Berechnungen Prognos

© Prognos AG, 2023

Da sich die branchenspezifische Berufsstruktur im Referenzszenario den Annahmen zufolge im Zeitablauf nicht verändert, wird im Referenzszenario auf einen gesonderten Ausweis der Anzahl der Beschäftigten in den einzelnen Berufsgruppen verzichtet. Gleiches gilt entsprechend für die Differenzierung der zukünftig Beschäftigten nach den Anforderungsniveaus sowie für die regionale Betrachtung. In den nachstehend skizzierten Chancenfeldern werden diese Aspekte bei der jeweiligen Darstellung der quantitativen Ergebnisse hingegen detailliert betrachtet.

3.2 Szenario zum Chancenfeld Elektrifizierung

Im Chancenfeld Elektrifizierung wird insgesamt von einem leichten Beschäftigungsrückgang gegenüber dem Referenzszenario ausgegangen. Diese Hypothese stützt sich insbesondere auf die mit der Elektrifizierung einhergehenden technologischen Veränderungen, wie der Reduktion an Komplexität des Antriebsstrangs und gleichzeitigen Effizienzsteigerungen in der Produktion.

3.2.1 Hintergrund und mögliche übergreifende Entwicklungen

Elektromobilität: Ein Weg zur Reduzierung von CO₂-Emissionen im Verkehrssektor

Der Klimawandel ist ein globales Problem, dessen Auswirkungen zunehmend sichtbar und spürbar werden. Um dem entgegenzuwirken, wird der Klimaschutz auf politischer Ebene verstärkt vorangetrieben, sowohl national als auch auf europäischer Ebene. Die Notwendigkeit der Dekarbonisierung ergibt sich in erster Linie aus dem Klimaschutzabkommen, das im Dezember 2015 in Paris von der internationalen Staatengemeinschaft beschlossen wurde (UNFCCC, 2015). Das Ziel dieses Abkommens ist es, Treibhausgasemissionen schnell und verbindlich zu reduzieren. Die Europäische Union hat den European Green Deal als Rahmen für die Umsetzung der Ziele des Pariser Abkommens eingeführt, mit dem Ziel, bis 2050 Netto-Null-Emissionen von Treibhausgasen zu erreichen (EU-Kommission, 2019).

Um dies zu erreichen, hat die EU-Kommission im Jahr 2021 das "Fit-for-55"-Paket mit reformierten und neuen Richtlinien und Verordnungen präsentiert. Demnach sollen die Treibhausgasemissionen in der EU bis 2030 um 55 Prozent sinken (EU-Kommission, 2021a). In Deutschland wurde das Klimaschutzgesetz entsprechend novelliert, mit dem Ziel, den Treibhausgas-Ausstoß bis 2030 um 65 Prozent gegenüber 1990 zu verringern und bis 2045 Treibhausgasneutralität zu erreichen (BMUV, 2021a). Diese Trendwende in der Klimapolitik hat insbesondere für die Automobilindustrie eine große Bedeutung, da sie einen erheblichen Anteil der globalen CO₂-Emissionen verursacht.

E-Mobilität als emissionsfreie Alternative zu herkömmlichen Verbrennungsmotoren

Der Bedarf an nachhaltigen Mobilitätskonzepten und entsprechenden technischen Lösungen ist daher besonders dringend. Eine Möglichkeit zur Reduzierung der CO₂-Emissionen von Fahrzeugen besteht in der Elektrifizierung der Antriebe. Elektrofahrzeuge sind nicht nur lokal emissionsfrei, sondern weisen auch einen höheren Wirkungsgrad im Vergleich zu Fahrzeugen mit

Verbrennungsmotoren auf. Der Wirkungsgrad gibt an, wie effizient die zugeführte Energie für die Fortbewegung des Fahrzeugs genutzt wird. Bei einem Benzinmotor liegt der Wirkungsgrad bei rund 20 Prozent. 80 Prozent der Energie gehen somit als Abwärme weitgehend verloren. Wesentlich energieeffizienter arbeitet ein Elektromotor: Hier liegt der Wirkungsgrad, abzüglich der Verluste, die durch das Laden der Batterie entstehen, bei 64 Prozent (BMUV, 2021b).

Um dem Ziel der Klimaneutralität im Verkehrssektor näher zu kommen, plant die Europäische Union ab 2035 keine neuen, mit fossilem Diesel oder Benzin betankten Pkw mehr zuzulassen, wobei es Ausnahmen für E-Fuels geben soll (Europäischer Rat, 2023). In Deutschland sollen gemäß Koalitionsvertrag bis 2030 mindestens 15 Millionen vollelektrische Pkw zugelassen sein (Bundesregierung, 2021). Zudem wird der Kauf von Elektrofahrzeugen durch den Umweltweltbonus unterstützt und seit 2021 fließt eine Klimakomponente in die Berechnung der Kfz-Steuer für neu zugelassene Autos ein (Die Bundesregierung, 2020).

Der Übergang zur Elektromobilität gewinnt bereits an Fahrt. Lag der Bestand an rein batterieelektrisch betriebenen Pkw (BEV) zum 1. Januar 2019 in Deutschland noch bei rund 83.000, stieg er bis heute um ein Vielfaches. Nach Angaben des Kraftfahrtbundesamts waren zum 1. Januar 2023 bereits über eine Millionen BEV zugelassen. Auch in Bayern ist die Dynamik zu erkennen: die Zahl der BEV im Bestand stieg im Freistaat im selben Zeitraum von 20.000 auf über 190.000. (KBA, 2023). Diese Zahlen sprechen dafür, dass die Elektromobilität an Bedeutung gewinnt und sich auf dem Markt etabliert.

i

Was versteht man unter Elektromobilität?

Die Elektromobilität umfasst verschiedene Fahrzeugtypen, die auf unterschiedliche Weise elektrische Energie nutzen: Batterien, Hybridtechnologien oder Brennstoffzellen. Der gemeinsame Nenner der verschiedenen Fahrzeugtypen ist der Einsatz von Elektromotoren. Man unterscheidet zwischen folgenden Arten:

Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV): Diese Fahrzeuge werden ausschließlich von einem Elektromotor angetrieben und verwenden elektrische Energie aus Batterien oder anderen Speichersystemen. Diese Energie wird in elektrischer Form gespeichert und dann vom Elektromotor in mechanische Energie umgewandelt, um die Räder anzutreiben. Sie sind nicht von einem Verbrennungsmotor abhängig und haben keine direkten THG-Emissionen. Der Wirkungsgrad bei batterieelektrischen Fahrzeugen liegt mit 64 Prozent deutlich höher als bei Diesel- und Benzinmotoren mit 45 bzw. 20 Prozent.¹⁴

Hybridfahrzeuge (HEV): Diese Fahrzeuge kombinieren einen Elektromotor mit einem Verbrennungsmotor. Es gibt verschiedene Hybridarten wie Plug-in-Hybride (PHEV), deren Batterie über das Stromnetz aufgeladen werden kann, sowie Vollhybride (FHEV), bei denen die Batterie hauptsächlich durch die Rückgewinnung von Bremsenergie (Rekuperation) und den Verbrennungsmotor aufgeladen wird. Zwar ist der Wirkungsgrad von Hybridfahrzeugen höher als bei Fahrzeugen, die ausschließlich mit einem

¹⁴ vgl. TÜV Nord: Wirkungsgrad - Die Nutzbarkeit der Energie. Link: <https://www.tuev-nord.de/de/privatkunden/verkehr/auto-motor-rad-caravan/elektromobilitaet/wirkungsgrad/> (online, abgerufen am 04.10.2023)

Verbrennungsmotor ausgestattet sind.¹⁵ Da PHEV mit im Schnitt 4 Litern je 100 Kilometer noch in erheblichem Umfang fossilen Treibstoff verbrauchen, sind sie jedoch nicht als klimaneutral einzuschätzen, sondern allenfalls als Brückentechnologie anzusehen, die in Zukunft an Bedeutung verlieren wird. Diese Einschätzung wird von den aktuellen politischen Rahmensetzungen gestützt: Schon seit dem 01.01.2023 werden Hybride nicht mehr durch den Umweltbonus des Bundes gefördert (BMW, 2022).

Brennstoffzellenfahrzeuge (FCV): Auch Brennstoffzellen-Fahrzeuge werden zu den elektrischen Antrieben gezählt, da der getankte Wasserstoff in einer Brennstoffzelle elektrischen Strom erzeugt, der einen Elektromotor antreibt. Insofern ist das grundlegende technische Konzept des elektrischen Antriebs identisch, der wesentliche Unterschied besteht darin, dass Wasserstoff-Fahrzeuge nicht von in einer Batterie gespeichertem elektrischen Strom angetrieben werden, sondern diesen in einer Brennstoffzelle selbst erzeugen. Folglich ist eine Batterie möglicherweise lediglich zur Optimierung des Energiemanagements erforderlich, große Speicherkapazitäten muss diese aber nicht zwingend haben (ADAC, 2022). Der Wirkungsgrad von wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellenfahrzeugen liegt jedoch mit rund 30 Prozent deutlich unter dem von batterieelektrisch betriebenen Elektrofahrzeugen.¹⁶ Im Bereich der Pkw und leichten Nutzfahrzeuge werden FCV nach heutiger Einschätzung nur eine untergeordnete Rolle spielen (vbw, 2021).

Elektromotoren sind deutlich weniger komplex

Obwohl Elektroautos äußerlich kaum von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor zu unterscheiden sind, gibt es erhebliche Unterschiede im Innenleben. Während Verbrennungsmotoren viele Komponenten wie Getriebe, Kupplungen und Abgassysteme benötigen, werden diese bei Elektromotoren obsolet. Ein Elektromotor besteht aus etwa 200 Bauteilen, während ein Verbrennungsmotor bis zu 1.400 Teile umfasst (Stan, 2021). Die neuen Komponenten batterieelektrisch angetriebener Fahrzeuge führen zu einer signifikanten Veränderung der Wertschöpfungsanteile am Fahrzeug sowie der erforderlichen Kompetenzen und Qualifikationen von im Automobilsektor beschäftigten Personen. Der Anteil des Antriebsstrangs (ohne Batterie) an der automobilen Wertschöpfung sinkt deutlich (IPE, 2020) und der Fokus – auch in Hinblick auf die Qualifikationsanforderungen – verschiebt sich zunehmend von der Mechanik hin zur Elektrik/Elektronik (e-mobil BW, 2019; BMAS, 2022).

Durch die reduzierte Anzahl an Teilen ist der Elektromotor deutlich weniger komplex – sowohl in der Herstellung als auch in der Wartung (Hans-Böckler-Stiftung, 2021). Zahlreiche Studien rechnen daher im Zusammenhang mit der Elektrifizierung von Antriebssträngen mit einem Rückgang der Beschäftigung (vgl. u. a. Agora Verkehrswende, 2021; IPE, 2020; ifo, 2019; IAB, 2018; Fraunhofer IAO, 2018). Als Jobmotor werden häufig die Zellproduktion und die Batteriesystemherstellung genannt.

Die Hochvolt-Batterie (HV-Batterie) ist das Herzstück eines Elektroautos. Sie ersetzt den herkömmlichen Benzin- bzw. Dieseltank und versorgt den Elektromotor mit Energie. Derzeit werden

¹⁵ Ebd.

¹⁶ Ebd.

vorwiegend Lithium-Ionen-Batterien verwendet. Die HV-Batterie speichert Energie durch chemische Prozesse und gibt sie bei Bedarf an den Elektromotor ab. Dabei spielt auch die Leistungselektronik eine entscheidende Rolle, da sie die Verbindung zwischen HV-Batterie und Elektromotor herstellt und den elektrischen Antrieb steuert. Eine effiziente Umwandlung der Energie führt zu einer längeren Fahrzeugreichweite. Die Leistungselektronik ist auch für die Umwandlung der beim Rekuperationsprozess gewonnenen Energie verantwortlich. Durch Rekuperation kann Energie, die normalerweise verloren gehen würde, gespeichert oder wiederverwendet werden. Dadurch lässt sich der Energieverbrauch um etwa 20 Prozent reduzieren, was die Reichweite und Effizienz des Elektroautos erhöht (EnBW, 2023).

Zum effizienten Betrieb eines batterieelektrisch betriebenen Fahrzeugs ist darüber hinaus ein leistungsstarkes Thermomanagementsystem wichtig. Es hält nicht nur die Temperatur des Elektromotors und der Batterie im optimalen Bereich, sondern auch die der Leistungselektronik. Durch Kühlung der Komponenten werden Energieverluste minimiert, der Verbrauch gesenkt und die Emissionen reduziert. Thermomanagementsysteme können die Reichweite erhöhen und den Ladevorgang beschleunigen. Forscher und Forscherinnen arbeiten an innovativen Konzepten für ein optimiertes Thermomanagementsystem (Fraunhofer ISE, 2023).

Die Produktion von Batterien für Elektroautos bringt Job-Chancen mit sich

Neben der optimalen Temperierung konzentrieren sich Wissenschaftler auf Alternativen zu den gängigen Lithium-Ionen-Batterien. Neue Batterietechnologien sollen die Kapazität und Leistungsfähigkeit von Elektroautos steigern. Eine Entwicklung hin zu Festkörperbatterien wird langfristig erwartet, da sie höhere Energiedichten, größere Reichweiten und kürzere Ladezeiten im Vergleich zu Lithium-Ionen-Batterien bieten.

Batteriezellen bestehen aus verschiedenen Komponenten wie Kathode, Anode, Separator und Elektrolyt und können in verschiedenen Formen wie zylindrisch, prismatisch oder als Taschenform auftreten. Nach ihrer Herstellung werden die einzelnen Zellen zu Modulen zusammengefügt. Die finale Montage des Batteriepakets erfolgt entweder beim Batteriehersteller oder beim Automobilhersteller. Dabei werden die Zellmodule, das Batteriemanagementsystem und die benötigte Elektronik in einer Gehäusestruktur vereint. Die Endfertigung der Batteriepakete in der Nähe der Produktionsanlagen der Automobilhersteller durchzuführen, bietet grundsätzlich einige Vorteile. So gelten Batterien beim Transport als Gefahrgut und die Kathoden sind besonders anfällig für Witterungseinflüsse und Feuchtigkeit. Zum anderen sind die aus vielen Zellen bestehenden Batteriepakete sehr schwer. Durch die räumliche Nähe zur Fahrzeugproduktion können Transportprobleme und potenzielle Schäden minimiert werden (BayernLB Research, 2023). Dennoch gibt es in Europa bisher nur wenige Produktionskapazitäten für Batterien. Stattdessen ist Asien seit vielen Jahren der weltweit führende Standort für die Produktion von Unterhaltungselektronik und somit auch der Weltmarktführer bei Lithium-Ionen-Akkus. Hersteller aus China, Japan und Südkorea dominieren daher die weltweite Batterieproduktion für Elektrofahrzeuge (BayernLB Research, 2023).

Um die hohe Abhängigkeit europäischer Unternehmen von asiatischen Batterieherstellern zu reduzieren und die Versorgung sicherzustellen, wird der Aufbau einer eigenständigen europäischen Batterieindustrie vorangetrieben. Die Europäische Kommission fördert dies durch Förderinstrumente wie die "Important Projects of Common European Interest" (IPCEI). Das "IPCEI on Batteries" und das "IPCEI European Battery Innovation" (EuBatIn) zielen darauf ab, in Europa eine Batterieindustrie aufzubauen und die Entwicklung der nächsten Batteriegeneration voranzutreiben (EU-Kommission, 2021b). Zusätzlich hat die Europäische Kommission die Europäische Batterieallianz (EBA) ins Leben gerufen. Die EBA fördert den Aufbau einer europäischen Batterieproduktion und

die Sicherung der erforderlichen Rohstoffe (EU-Kommission, 2017). Sie unterstützt die Zusammenarbeit zwischen nationalen Behörden, Regionen, Forschungsinstituten und Unternehmen. Auch mehrere bayerische Unternehmen haben IPCEI-Förderzusagen im mehrstelligen Millionenbereich erhalten. Abgedeckt werden sämtliche Wertschöpfungsschwerpunkte – von Rohstoffen und Materialien über Batteriezellen und -systeme bis hin zum Recycling (BMWK, 2021). Zudem investiert Bayern im Rahmen der Hightech Agenda Bayern in ein Bayerisches Batterienetzwerk (Bayerische Staatsregierung, 2019). Für weitere Forschungsaktivitäten in Bayern siehe Anhang A1.

Im Januar 2023 hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) seine Aktivitäten im Bereich der Batterieforschung mit dem „Dachkonzept Batterieforschung“ neu ausgerichtet. Das Konzept soll die strategische und förderpolitische Grundlage für umfassende Forschungstätigkeiten im Bereich der Batterietechnologien mit dem Ziel einer wettbewerbsfähigen zirkulären Wirtschaft bilden (BMBF, 2023). Bayerische Universitäten und Forschungseinrichtungen sind dabei in den Clustern Intelligente Batteriezellproduktion, Batterienutzungskonzepte und Analytik/Qualitätssicherung sowie Recycling/Grüne Batterie vertreten (Bayerische Staatsregierung, 2020).

Die Entwicklung von Komponenten in den Bereichen elektrische Antriebstechnik, Energie- und Batterietechnik sowie Fahrzeugelektronik erfordert dabei vor allem das Fachwissen von Ingenieurinnen und Ingenieuren. Die Umsetzung, sprich der Zusammenbau und Montage der Motoren erfolgt hingegen in der Regel durch Elektronikerinnen und Elektroniker, während üblicherweise Kfz-Mechatronikerinnen und -Mechatroniker die Systemkomponenten im Fahrzeug zusammenbauen und darüber hinaus auch für die Wartung, Reparatur und Instandhaltung verantwortlich sind.

Das Recycling von Alt-Batterien schont die Umwelt und schafft Arbeitsplätze

Mit der steigenden Anzahl an elektrisch betriebenen Fahrzeugen steigt auch die Anzahl an Alt-Batterien. Die EU-Kommission rechnet damit, dass die weltweite Nachfrage nach Batterien bis 2030 um etwa das 14-fache zunehmen wird und die EU für rund 17 Prozent dieser Nachfrage verantwortlich ist (EU-Kommission, 2023). Das Recycling von ausgedienten Fahrzeugbatterien und die dadurch gewinnbaren Sekundärrohstoffe bzw. Recyclingrohstoffe gewinnen somit immer stärker an Bedeutung. Dies bietet nicht nur Batterieherstellern und Recyclingunternehmen die Möglichkeit neue Geschäftsfelder zu erschließen, sondern auch den Automobilherstellern.

Während Materialien aus dem Batteriesystem, wie beispielsweise Kunststoffe oder Stahl bereits durch mechanische Trennverfahren erfolgreich von den restlichen Komponenten getrennt werden können, existiert für die Rückgewinnung der Kathodenmaterialien industriell derzeit kein durchgängig wirtschaftlicher Recycling-Prozess. Auch für Anodenmaterialien gibt es aktuell keine industrielle Recycling-Lösung, sodass noch nicht alle – zum Teil giftige – Wertstoffe zurückgewonnen werden können. Zudem gestaltet sich die Demontage der Lithiumbatteriepacks aus Elektrofahrzeugen vor dem Hintergrund der großen Designvielfalt als sehr komplex (RWTH und VDMA, 2021).

Da das Recycling von Altbatterien jedoch eine Reihe von Vorteilen für die Umwelt, die Wirtschaft und die Ressourcenschonung bietet, wird intensiv an innovativen und nachhaltigen Verfahren zur Erhöhung der Recycling-Quoten geforscht. Denn durch den Recycling-Prozess können wertvolle Rohstoffe wie Lithium, Kobalt, Nickel und Kupfer zurückgewonnen werden, was den Bedarf an Neugewinnung verringert und den Druck auf begrenzte Ressourcenvorkommen mindert. Dadurch wird eine nachhaltigere Nutzung dieser wertvollen Materialien ermöglicht. Gleichzeitig können

Importabhängigkeiten reduziert und die Versorgungssicherheit langfristig sichergestellt werden (NPM, 2021).

Ein weiterer perspektivischer Pluspunkt ist die Energieeffizienz des Recyclingprozesses im Vergleich zur Neugewinnung von Rohstoffen. So erfordert ein funktionierendes Recycling von ausgedienten Batterien weniger Energie und Ressourcen, wodurch der ökologische Fußabdruck reduziert werden könnte (Fraunhofer IST, 2022). Darüber hinaus könnten durch den Aufbau von Recyclinganlagen und den Handel mit recycelten Materialien ebenfalls neue Arbeitsplätze und wirtschaftliche Gewinne entstehen (Agora Verkehrswende, 2021).

Insgesamt trägt das Recycling von alten Fahrzeugbatterien somit zur Schonung von Ressourcen, zum Umweltschutz, zur Energieeffizienz, zur Schaffung von Arbeitsplätzen und zur Förderung einer nachhaltigen Wirtschaft bei. Es ist ein wichtiger Schritt hin zu einer Kreislaufwirtschaft und unterstützt die Entwicklung einer nachhaltigen und umweltfreundlichen Elektromobilität. Vor diesem Hintergrund hat die EU im Jahr 2020 eine neue Batterieverordnung vorgeschlagen. Im Kontext des Green Deals und des Aktionsplans für Kreislaufwirtschaft soll diese neue Verordnung die bestehende Batterierichtlinie von 2006 ersetzen und einen neuen rechtlichen Rahmen für den gesamten Lebenszyklus von Batterien festlegen. Das übergeordnete Ziel besteht darin, Batterien nachhaltiger, kreislaforientierter und sicherer zu gestalten. Die Verordnung legt daher Anforderungen für das Ende der Lebensdauer fest, einschließlich Vorgaben für Sammelziele, Verwertungsziele für Materialien und erweiterte Herstellerverantwortung. Dadurch sollen eine umweltgerechte Entsorgung und ein effizientes Recycling von Batterien gewährleistet werden (EU-Kommission, 2023).

Eine aktuelle Studie der RWTH Aachen und der Unternehmensberatung PwC prognostiziert bereits für das Jahr 2030 erhebliche Überkapazitäten auf dem europäischen Recyclingmarkt. Während der Markt in den kommenden Jahren vor allem durch Schrotte aus den Gigafactories bedient wird, wandelt er sich ab 2030, wenn die Fahrzeuge der ersten Elektrifizierungswelle das Ende ihrer Lebensdauer erreichen. Bis 2035 könnten somit bis zu 30 Prozent der Lithium-, Nickel- und Kobaltversorgung für die Batteriezellenherstellung aus Recyclingmaterial stammen. Bis 2040 wird sich das Batterierecycling im Vergleich zu 2030 sogar verzehnfachen und der Anteil an Recyclingmaterial bis zu 60 Prozent betragen, wobei ein vollständig geschlossener Kreislauf erst deutlich nach 2040 möglich sein wird (Strategy& und RWTH, 2023). Die bisher beschriebenen Entwicklungen zielen überwiegend auf Veränderungen ab, die den Produktionsprozess betreffen – sowohl direkt in der Kernautomobilindustrie, als auch in den wichtigsten vor- und nachgelagerten Branchen. Darüber hinaus ist es wichtig zu beachten, dass eine funktionierende Energie- und Ladeinfrastruktur zwingende Voraussetzung für die Umsetzung der Elektrifizierung ist. Im Kontext der Studie werden die Auswirkungen solcher Infrastrukturmaßnahmen nicht quantitativ betrachtet bzw. keine separaten Berechnungen angestellt. Aufgrund der Relevanz finden sich in der nachstehenden Infobox die wesentlichen damit einhergehenden Entwicklungen.

Hohe Nachfrage nach Dienstleistungen im Bereich Energie- und Ladeinfrastruktur

Neben Fortschritten in der Batterietechnik ist eine gut ausgebaute Ladeinfrastruktur eine wesentliche Voraussetzung dafür, dass sich Elektroautos am Markt durchsetzen. Studien belegen, dass die Verfügbarkeit von öffentlichen Ladepunkten einen positiven Effekt auf die Verbreitung von Elektroautos hat (vgl. beispielsweise Sommer, 2021). Jedoch war der Zuwachs der öffentlichen Ladeinfrastruktur in Deutschland im Vergleich zum stark wachsenden Bestand an Elektrofahrzeugen in den letzten Jahren gering. Dies betrifft sowohl die Anzahl der Ladepunkte als auch die installierte Ladeleistung (KfW Research, 2022). Vor diesem Hintergrund haben sich EU-Rat und -Parlament im März 2023 auf neue Aus- und Aufbauziele für Ladesäulen geeinigt. Die neue Verordnung über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (AFIR) schreibt u. a. vor, dass das Tempo, in dem die Ladeinfrastruktur für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge ausgebaut wird, mit dem Anstieg der Fahrzeugzulassungen mithalten muss. Zudem sollen ab 2025 an den wichtigsten Verkehrsachsen mindestens alle 60 km Schnellladestationen installiert sein (EU-Kommission, 2023). In Deutschland sollen gemäß Koalitionsvertrag bis 2030 mindestens eine Millionen Ladestellen zur Verfügung stehen (Bundesregierung, 2021).

Auch die Bayerische Staatsregierung möchte den Aufbau einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur weiter vorantreiben. Bereits im Jahr 2017 wurde das Bayerische Ladeinfrastrukturförderprogramm eingeführt. Dieses Programm ergänzte das entsprechende Bundesprogramm. Mit der Veröffentlichung der Neuauflage „Öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Bayern 2.0“ im Jahr 2021 soll der Ausbau der öffentlich zugänglichen Ladeinfrastruktur weiter vorangetrieben werden (StMWi, 2021). Vor dem Hintergrund der wachsenden Bedeutung des Ladens auch im nicht öffentlichen Bereich hat der Freistaat im Jahr 2022 zudem das Förderprogramm "Nicht öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Bayern" eingeführt (Bayern Innovativ, 2022).

Neben einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur ist für den Erfolg der Elektromobilität auch ein leistungsstarkes Stromnetz sowie klimaneutral produzierter Strom erforderlich. Auch hier kommt dem Energiesektor eine zentrale und wachsende Rolle zu. Nicht nur muss die Erzeugung aus erneuerbaren Energien weiter ausgebaut werden. Da die Verfügbarkeit erneuerbarer Energien zum einem dem Wetter unterworfen und somit im Vergleich zu konventionell hergestellter Elektrizität nicht gut plan- und steuerbar ist, und es zum anderen durch gleichzeitiges Laden von einer Vielzahl von E-Autos zu punktuellen Lastspitzen kommen kann, werden auch intelligente Netzmanagement- und Speichertechnologien immer wichtiger (BMUV, 2020). In diesem Kontext werden Elektroautos zunehmend als Teil eines integrierten Energiesystems, beispielsweise als mobile Stromspeicher betrachtet. Dadurch können Schwankungen im Netz ausgeglichen und eine effizientere Nutzung von erneuerbaren Energien ermöglicht werden (BDEW, 2023). Voraussetzung für die Einbindung eines E-Autos als Stromspeicher ist, dass das Fahrzeug bidirektionales Laden unterstützt, sprich das Fahrzeug nicht nur mit Strom aufgeladen werden, sondern auch Strom abgeben kann (Fraunhofer IFAM, 2023).

3.2.2 Hypothese: Auswirkungen auf Teilbranchen und relevante Berufe der Automobilindustrie

Hypothese: Elektrifizierung geht insgesamt mit (leichtem) Beschäftigungsrückgang einher

Der im vorigen Abschnitt beschriebene technologische Wandel im Antriebsstrang von Fahrzeugen stellt die Automobilindustrie vor erhebliche Herausforderungen. Batterieelektrische Fahrzeuge ermöglichen aufgrund der geringeren Komplexität und dem Rückgang der benötigten Teile eine deutlich effizientere Produktion mit geringerem Arbeitsvolumen und erfordern daher weniger Beschäftigte. Die zum Teil hochspezialisierten Unternehmen in der Zulieferindustrie, die bisher Komponenten für Verbrennungsmotoren und den entsprechenden Antriebsstrang hergestellt haben, verlieren mit dem Hochlauf der Elektromobilität zunehmend an Bedeutung. Im Gegenzug werden Batterie und Lademanagement zentrale Bestandteile der Wertschöpfung. Auch das Recycling von ausgedienten Fahrzeugbatterien bietet Unternehmen in der Automobilindustrie ein neues Geschäftsfeld.

Es existieren bereits zahlreiche Untersuchungen zu den Auswirkungen der Elektrifizierung auf einzelne Teilbranchen und Berufe. Da die Herstellung von BEVs durch die geringere Anzahl an Komponenten weniger beschäftigungsintensiv ist als die von konventionell betriebenen Fahrzeugen, rechnen viele Studien mit einem Beschäftigungsrückgang. Die Ergebnisse der Studien werden dabei von verschiedenen Faktoren, wie dem unterstellten Markthochlauf, den betrachteten Branchen, dem Zeithorizont oder der Berücksichtigung von Produktivitätseffekten bestimmt, was zu abweichenden Ergebnissen führen kann. Auch die Wahl der Methodik beeinflusst die Ergebnisse erheblich. So baut ein Teil der Studien auf Literaturanalysen, Befragungen oder einfachen empirischen Analysen mit Szenarientechnik auf, andere Studien wiederum verwenden ökonomische (Input-Output-)Modelle zur Abschätzung der Beschäftigungseffekte.

Das IAB (2018) rechnet – ohne Einbeziehung von Hybridfahrzeugen – mit einem Verlust von 114.000 Arbeitsplätzen bis 2035. Werden die positiven und negativen Beschäftigungseffekte des Trends hin zur Elektromobilität saldiert, errechnet Agora Verkehrswende (2021) einen negativen Nettoeffekt von etwa 15.000 Arbeitsplätzen bis 2030. Auch das Fraunhofer IAO (2018) geht davon aus, dass der mit der Elektrifizierung einhergehende Beschäftigungsaufbau nicht ausreicht, um die Minderung des Personalbedarfs im Bereich herkömmlicher Verbrennungsmotoren zu kompensieren. Sie rechnen mit einem Arbeitsplatzverlust in der Produktion von Antriebssträngen zwischen 23.000 und 97.000 Beschäftigten bis 2030. In einer vom BMWK in Auftrag gegebenen Studie wird die Zahl gefährdeter Arbeitsplätze bis zum Jahr 2040 auf bis zu 600.000 beziffert (IPE, 2019). Und auch in Bayern wird es vor dem Hintergrund der zunehmenden Elektrifizierung der Antriebe Verlierer geben. Das ifo Institut (2019) schätzt, dass mit rund 137.000 Arbeitsplätzen mehr als jeder Dritte Arbeitsplatz im Automobilcluster in Bayern vom Technologiewandel betroffen ist.

Die einzelnen Teilbranchen der Automobilwirtschaft sind unterschiedlich betroffen

Besonders stark betroffen sind **antriebsstrangabhängige Zulieferunternehmen**. Der Antriebsstrang umfasst den Motor, das Getriebe und alle Komponenten, die die Kraftübertragung auf die Räder ermöglichen, wie beispielsweise die Antriebswellen und Differentialgetriebe. In Bereichen der Herstellung solcher Teile, die in Elektrofahrzeugen nicht mehr benötigt werden, ist mit einem Beschäftigungsabbau zu rechnen. Agora Verkehrswende (2021) prognostiziert, dass die Beschäftigung bei antriebsstrangabhängigen Zulieferern bis 2030 um ca. 95.000 sinken wird, weitere 56.000 Arbeitsplätze werden bei Automobilherstellern abgebaut. Auch die Nachfrage nach Entwicklerinnen und Entwicklern im Bereich antriebsstrangabhängiger Komponenten ist rückläufig (Hans-Böckler-Stiftung, 2021).

Mit der geringeren Komplexität von elektrisch betriebenen Fahrzeugen im Vergleich zu herkömmlichen Verbrennern sinkt auch der Wartungsaufwand. Dies hat Konsequenzen für die Beschäftigung im Bereich der **Wartung und Instandhaltung**. Denn: weniger Teile bedeutet ebenfalls weniger Verschleißteile. Zudem reduziert beispielsweise auch die Rekuperation den Verschleiß der Bremsbeläge in Elektrofahrzeugen erheblich. So geht beispielsweise Agora Verkehrswende (2021) von einem Beschäftigungsrückgang in Höhe von 19.000 aus. Der erwartete negative Effekt auf die Beschäftigung wird allerdings erst verzögert eintreten, da sich der Bestand der Fahrzeugflotte weniger schnell wandelt als Neuzulassungen (ifo, 2019)

Auf der anderen Seite gibt es auch (Teil-)Branchen, in welchen im Zusammenhang mit der Elektrifizierung mit Beschäftigungsgewinnen gerechnet wird. Dazu zählen insbesondere antriebsstrangunabhängige Zulieferer. Schätzungen zufolge werden hier bis 2030 rund 60.000 Arbeitsplätze aufgebaut, ein Großteil davon entfällt auf die **Batterieproduktion** (Agora Verkehrswende, 2021). Sogleich die Zellproduktion und die Herstellung des Batteriesystems häufig als Jobmotor angeführt werden, argumentiert das Fraunhofer ISI (2020), dass der Beschäftigungsaufbau in diesen Bereichen den Wegfall bei antriebsstrangabhängigen Herstellern nicht kompensieren kann. Vielmehr unterstützt die Batteriezellproduktion den Aufbau der vorgelagerten Wertschöpfungsstufen sowie des gesamten Ökosystems Batterie. So werden im Kontext Batterie neben der Produktion auch Beschäftigungsgewinne in den Bereichen Forschung und Entwicklung sowie im Maschinen- und Anlagebau erwartet (Fraunhofer ISI, 2020). Letztere werden insbesondere für die Umrüstung bestehender Produktionsanlagen sowie dem Bau der für die Herstellung von Batterien notwendigen Produktionsausrüstungen nachgefragt.

Hersteller von **Elektromotoren** und deren Komponenten, zu denen u. a. die Leistungselektronik, Wicklungen, Stator und Rotor zählen, werden zukünftig ebenfalls Zuwächse in der Beschäftigung erfahren (Agora, 2021).

Begleitend, jedoch mit zeitlicher Verzögerung zum Hochlauf der Elektromobilität und dem Aufbau von Batterieproduktionskapazitäten, wird sich auch eine **Batterierecyclingindustrie** entwickeln (NPM, 2021). Insgesamt trägt das Batterierecycling zur Schaffung neuer Arbeitsplätze in verschiedenen Bereichen wie Recyclinganlagen, Forschung und Entwicklung, Logistik, Materialverwertung und Rücknahmesystemen bei. Auch Maschinen- und Anlagenbauer können von der verstärkten Nachfrage nach Anlagen für das Batterierecycling profitieren (Fraunhofer ISI, 2021). Da die Elektromobilität an Bedeutung gewinnt und die Batterietechnologie sich weiterentwickelt, wird der Bedarf an qualifizierten Arbeitskräften im Bereich des Batterierecyclings voraussichtlich stark zunehmen (VDMA, 2022).

Nachfolgende Tabelle zeigt die erwartete Wirkungsrichtung einer verstärkten Elektrifizierung auf die Beschäftigungsentwicklungen auf einen Blick (Tabelle 3). Dabei wird zwischen den drei Bereichen der Kernautomobilindustrie sowie den für das Chancenfeld als besonders relevant erachteten vor- und nachgelagerten Branchen unterschieden. Darüber hinaus wird bereits dargestellt, in welcher Höhe die absoluten Beschäftigungseffekte je Prozentpunkt Veränderung gegenüber dem aktuellen Stand des Jahres 2022 in Bayern ausfallen. Das ist insofern sehr wichtig, als dass über das Ausmaß der mit dem Chancenfeld einhergehenden prozentualen Veränderung Unklarheit besteht. Eindeutig hingegen ist die absolute Anzahl der Beschäftigten je Prozent Veränderung gegenüber dem Jahr 2022. Der Ausweis des Effektes je Prozentpunkt bietet somit den Vorteil, dass mit dessen Hilfe ebenfalls die näherungsweise absoluten Effekte für abweichende Annahmen bezüglich der prozentualen Veränderung einfach abgeschätzt werden können.

Tabelle 3: Für das Chancenfeld Elektrifizierung sind neun Teilbranchen besonders relevant

Relevante Teilbranchen, Wirkungsrichtung und absoluter Beschäftigungseffekt je Veränderung um 1 % ggü. 2022

Relevante Teilbranchen		Wirkungsrichtung	Effekt je Veränderung um 1 % (Personen)
Kernautomobilindustrie	WZ 291 Herstellung Kraftwagen, Kraftwagenmotoren	Negativ	1.332
	WZ 292 Herstellung Karosserie, Aufbauten, Anhänger	Konstant	93
	WZ 293 Herstellung Teile, Zubehör für Kraftwagen	Negativ	1.072
Vorgelagert	WZ 272 Herstellung Batterien und Akkumulatoren*	Positiv	27
	WZ 2811 Verbrennungsmotoren und Turbinen*	Negativ	89
	WZ 2813 Herstellung Pumpen, Kompressoren a. n. g*	Negativ	96
	WZ 2815 Lager, Getriebe, Zahnräder und Antriebselemente*	Negativ	280
Nachgelagert	WZ 45203, 45204 Instandhaltung, Reparatur von KfZ	Negativ	629
	WZ 38 Sammlung, Behandlung, Beseitigung Abfälle; Rückgewinnung*	Positiv	71

* Bei diesen Teilbranchen handelt es sich bei den für Bayern ausgewiesenen Beschäftigungseffekten je Prozent um eigene Schätzungen. Grund hierfür ist, dass in der zugrundeliegenden Statistik der Bundesagentur für Arbeit auf Bundesland-Ebene lediglich Daten für die übergeordnete Berufshauptgruppe vorliegen.

Quelle: Prognos

© Prognos AG, 2023

3.2.3 Konkrete Annahmen zur Berechnung des Szenarios

Um die im vorigen Abschnitt dargestellten Wirkungsrichtungen (positiv, konstant, negativ) der möglichen Beschäftigungseffekte auf die relevanten Branchen und Berufsgruppen quantifizieren zu können, müssen konkrete Annahmen zu folgenden, voneinander abhängigen Parametern getroffen werden.

1. Szenariorahmen: zukünftige Produktions- und Absatzzahlen je Fahrzeugtechnologie
2. Betroffenheit relevanter Branchen
3. Auswirkungen auf die Berufsstruktur in den betroffenen Branchen

Der Anteil der Verbrenner an der gesamten Fahrzeugproduktion sinkt bis 2030 auf 8 Prozent

Analog zum Referenzszenario unterstellen wir für die Szenariorechnung des Chancenfelds Elektrifizierung über den gesamten Zeitraum bis zum Jahr 2040 ebenfalls ein Wachstum von 0,9 % p.a. bezüglich der Fahrzeugproduktion. Allerdings legen wir in dieser Szenariorechnung einen anderen Technologiemitel der Fahrzeugproduktion zugrunde. So wurde im Referenzszenario unterstellt, dass sich der anteilige Technologiemitel nicht verändert. Im Chancenfeld Elektrifizierung wird hingegen von einem deutlichen anteiligen Wachstum der Produktion von E-Autos ausgegangen. Abermals orientieren wir uns mit Blick auf die konkreten Technologie-Anteile aus Konsistenzgründen an der Studie von Agora (2021). In dieser liegt der Anteil der Verbrenner im Jahr 2030 bei

nur noch 8 Prozent, gegenüber 73 Prozent im Jahr 2019.¹⁷ Für die Folgezeit bis 2040 setzen wir die Annahme, dass sich der Trend deutlich abschwächen und die Anteile nur noch geringfügig verändern werden. Grund hierfür ist, dass sich die wesentlichen Entwicklungen bis zum Jahr 2030 bereits vollzogen haben. Im Ergebnis unterstellen wir bis 2040 einen weiteren Rückgang des Anteils der Verbrenner auf 6 Prozent (7 Prozent im Jahr 2035).

Somit handelt es sich um einen Szenariorahmen mit sehr deutlichen Anteilsverschiebungen. Diese unterstellte progressive Entwicklung dient dazu, das Szenario tatsächlich als Chancenfeld zu betrachten und die möglichen Beschäftigungseffekte deutlich sichtbar zu machen. Darüber hinaus handelt es sich vor dem Hintergrund der gesetzlichen Rahmenbedingungen der EU auch um ein durchaus realistisches Szenario, was sich ebenfalls mit Annahmen aus anderen relevanten Studien deckt. So untersuchen die Autoren der Studie Fraunhofer IAO (2018) im Szenario 3 eine Situation, in der der Produktionsanteil der Verbrenner (ICEV Benzin und Diesel einschließlich MHEV) im Jahr 2030 bei 10 Prozent liegt. Im noch deutlich progressiveren Szenario „Bayern ist Vorreiter“ der vbw (2021) liegt der unterstellte Anteil der Verbrenner im Jahr 2030 sogar bei null Prozent.

Für die Kernautomobilindustrie wird ein Rückgang der Beschäftigungsnachfrage unterstellt

Die relevanten Teilbranchen sind von der im Szenario unterstellten Veränderung des Technologiemix unterschiedlich betroffen. So unterstellen wir für die Kernautomobilindustrie gegenüber dem Jahr 2022 einen Rückgang der Beschäftigungsnachfrage von etwa 12 Prozent. In der vorgelagerten Batterieproduktion wird sich die Beschäftigung hingegen vervierfachen. Sofern möglich sind die getroffenen Annahmen für die bayerischen Branchenentwicklungen konsistent zu den in der Agora-Studie aus dem Jahr 2021 unterstellten Entwicklungen auf Bundesebene. Die konkret für die einzelnen Teilbranchen getroffenen Annahmen sowie der daraus resultierende prozentuale Beschäftigungseffekt bis zum Jahr 2030 sind in der nachstehenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 4: Annahmen zu den Beschäftigungseffekten je Teilbranche im Chancenfeld Elektrifizierung

Resultierender Beschäftigungseffekt im Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 2022, in Prozent, nach Teilbranchen

Teilbranchen und getroffene Annahmen gemäß Quellen		Resultierender Beschäftigungseffekt bis 2030	
Kernautomobilindustrie	In der Kernautomobilindustrie sinkt der Beschäftigungsbedarf in Deutschland bis 2030 um 56.000 bzw. 12 % (Agora 2021). Unter der Annahme, dass die	291 Kraftwagen und Kraftwagenmotoren	-12%
	Anteile Bayerns an der gesamtdeutschen Produktion konstant bleiben, unterstellen wir ebenfalls einen Rückgang von 12 Prozent. Nicht davon betroffen ist	292 Karosserien, Aufbauten, Anhänger	0%
	der Teilbereich Karosserien, Aufbauten und Anhänger. Die Herstellung von Teilen und Zubehör für Kraftwagen beinhaltet hingegen ebenfalls Komponenten, die für Verbrenner benötigt werden.	293 Teile und Zubehör für Kraftwagen	-12%

¹⁷ Eine weitere wichtige Annahme lautet, dass die Elektroauto-Exportquote ähnlich hoch ausfallen wird wie aktuell bei den Verbrennern. Daher wird bezüglich der (nominalen) Exportentwicklung von E-Autos keine zusätzliche Annahme getroffen. Würden sich die Exportchancen durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs stattdessen erhöhen (oder senken), würde dies die Nachfrage zusätzlich stärken (oder schwächen).

Vorge- lagert	In der Batterieproduktion wird für Deutschland ein Nettoeffekt von plus 60.000 Beschäftigten unterstellt (Agora, 2021). Fallen die regionalen Neuansiedlungen proportional zu den aktuell in der Branche Beschäftigten aus, könnten auf Bayern knapp 14.000 Arbeitsplätze entfallen. Das entspricht einem Zuwachs von etwa 400 %.	272 Batterien und Akkumulatoren	403%
	Bei den antriebsstrangabhängigen Zulieferern sinkt der Bedarf in Deutschland um etwa 44 Prozent (Agora, 2021). Unter der Annahme, dass die Relation ebenfalls für Bayern gültig ist und nur etwa ein Drittel der in den rechts aufgeführten Teilbranchen Beschäftigten bei antriebsstrangabhängigen Zulieferern beschäftigt ist, ergibt sich ein Beschäftigungsrückgang in den Branchen von jeweils etwa 15 %.	2811 Verbrennungsmotoren und Turbinen (ohne Motoren für Luft- und Straßenfahrzeuge), darunter Teile für Kolbenverbrennungsmotoren	-15%
		2813 Pumpen, Kompressoren a. n. g.	-15%
		2815 Lager, Getriebe, Zahnräder und Antriebsselemente, darunter Schaltgetriebe, Kupplungen etc.	-15%
Nachge- lagert	Mangels geeigneter Quellen unterstellen wir für den Beschäftigungszuwachs in der das Recycling betreffenden Teilbranche Rückgewinnung einen Beschäftigungseffekt von 10 %.	383 Rückgewinnung	10%
	Im Bereich der Wartung und Instandhaltung werden in Deutschland bis zum Jahr 2030 etwa 19.000 Beschäftigte weniger benötigt (Agora, 2021). Das entspricht einem Rückgang von etwa 5 %, der ebenfalls für das Bundesland Bayern unterstellt wird.	45203, 45204 Instandhaltung/Reparatur KfZ (mit 3,5t)	-5%

Quelle: Prognos

© Prognos AG, 2023

Berufe der Metallverarbeitung verlieren Beschäftigungsanteile, E/E-Berufe gewinnen

Im Szenario verändert sich die Nachfrage nach einzelnen Berufsgruppen auf zwei Ebenen. Erstens ergeben sich bereits durch die veränderte Nachfrage nach einzelnen Teilbranchen Verschiebungen, da jede Teilbranche eine spezifische Aufteilung der Beschäftigten auf die verschiedenen Berufsgruppen besitzt. Zweitens wird angenommen, dass sich auch innerhalb der einzelnen Teilbranchen aufgrund der technologischen Veränderungen die Berufsstruktur verändern wird.

Konkret werden Annahmen dazu getroffen, welche Berufsgruppen innerhalb der einzelnen Teilbranchen in Zukunft anteilig an Bedeutung gewinnen und verlieren werden. Bei der Auswahl der besonders betroffenen Berufsgruppen orientieren wir uns dabei an den Ergebnissen der Literaturrecherche und den in den vorigen Abschnitten gewonnenen Erkenntnissen. Entsprechend unterstellen wir im Szenario, dass insbesondere die sogenannten E/E-Berufe (Elektrik, Elektronik, Mechatronik) an Bedeutung gewinnen werden. Das gilt ebenfalls für Berufsgruppen, deren Tätigkeiten das Testen, Prüfen und die Qualitätssicherung betrifft. Das Einrichten, Bedienen, Überwachen und Warten automatisierter Produktionsanlagen gewinnt ebenfalls an Bedeutung. Beschäftigte in Berufsgruppen, deren Tätigkeiten die spanende Metallverarbeitung (Drehen, Fräsen, Bohren, Schleifen) umfassen sowie die Beschäftigten der sogenannten M/M-Berufe (Metall und Mechanik) werden zukünftig hingegen weniger nachgefragt und anteilig verlieren.

Diese Annahmen in konkrete Anteilsveränderungen je Berufsgruppe zu überführen ist nur näherungsweise möglich und stark annahmebehaftet. Um eine transparente Vorgehensweise zu gewährleisten, die sich auf alle Chancenfelder anwenden lässt, werden in der nachstehenden Tabelle zunächst die Berufsgruppen abgebildet, für die Anteilsgewinne oder Anteilsverluste unterstellt werden (Tabelle 5). Die Bandbreite der Anteilsgewinne bis zum Jahr 2030 wird im Szenario

dann auf zwischen jährlich minus und plus ein Prozent begrenzt. Dabei gilt es zu beachten, dass sich nachgelagert entsprechend auch die Gewichtung der weiteren, nicht aufgeführten Berufsgruppen verändert.

Tabelle 5: Berufsgruppen aus den Bereichen Elektrik, Elektronik, Mechatronik gewinnen an Bedeutung
Berufsgruppen mit Anteilsgewinnen und Anteilsverlusten und unterstellter jährlicher Anteilsveränderung in Prozent

Berufsgruppen mit Anteilsgewinnen		Berufsgruppen mit Anteilsverlusten	
261 Mechatronik und Automatisierungstechnik	1,0%	241 Metallherzeugung	-1,0%
262 Energietechnik	1,0%	242 Metallbearbeitung	-1,0%
263 Elektrotechnik	1,0%	243 Metalloberflächenbehandlung	-1,0%
273 Technische Produktionsplanung,-steuerung	0,5%	244 Metallbau und Schweißtechnik	-1,0%
431 Informatik	0,5%	245 Feinwerk- und Werkzeugtechnik	-1,0%
432 IT-Systemanalyse,Anwenderber,IT-Vertrieb	0,5%	252 Fahrzeug-Luft-Raumfahrt,-Schiffbautechn.	-1,0%
433 IT-Netzwerk,-,Koord,-,Administr,-,Orga.	0,5%	272 Techn. Zeichnen, Konstruktion, Modellbau	-0,5%
434 Softwareentwicklung und Programmierung	0,5%	513 Lagerwirt,-,Post,Zustellung,Güterumschlag	-0,5%
		516 Kaufleute - Verkehr und Logistik	-0,5%
		611 Einkauf und Vertrieb	-0,5%

Quelle: Prognos

© Prognos AG, 2023

Berufsspezifische Trends der Qualifikationsanforderungen werden fortgeschrieben

Der Anteil an *Helfern, Fachkräften, Spezialistinnen und Spezialisten* sowie *Expertinnen und Experten* unterscheidet sich zwischen den einzelnen Berufsgruppen teilweise deutlich. Aufgrund der zuvor beschriebenen Anteilsverschiebungen der Berufsstruktur resultiert somit implizit auch eine strukturelle Veränderung der Arbeitskräftenachfrage nach Qualifikationsanforderungen. Darüber hinaus wird im Szenario davon ausgegangen, dass sich die in den letzten Jahren beobachteten Trends bezüglich der Veränderung der Qualifikationsanforderungen innerhalb der einzelnen Berufsgruppen weiter fortsetzen. Ist beispielsweise der Anteil an *Spezialistinnen und Spezialisten* innerhalb der Berufsgruppe *Elektrotechnik* in den letzten Jahren angestiegen, schreiben wir diesen Trend für die kommenden Jahre (mit abschwächender Dynamik) fort.

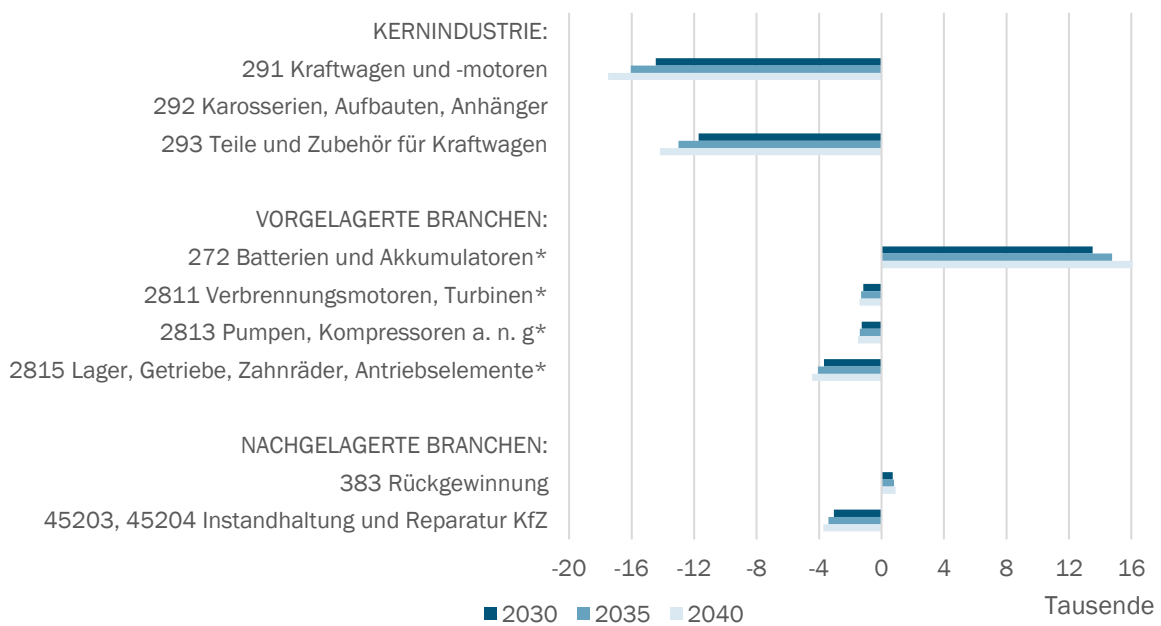
3.2.4 Szenariorechnung: Beschäftigungseffekte gegenüber dem Referenzszenario

Insgesamt fällt die Beschäftigungsnachfrage der Automobilindustrie aufgrund der Elektrifizierung im unterstellten Szenario im Jahr 2040 gegenüber dem Referenzszenario um etwa 26.000 Arbeitsplätze geringer aus. Die meisten der Effekte haben sich im Jahr 2030 bereits realisiert, da in diesem Zeitraum der Großteil der Entwicklungen stattfindet. Zwischen 2030 und 2040 nehmen die Effekte nur noch geringfügig zu.

Die Kernautomobilindustrie benötigt etwa 32.000 Arbeitsplätze weniger als in der Referenz

Auf Ebene einzelner Branchen resultieren aufgrund der gesetzten Annahmen deutliche rechnerische Unterschiede (Abbildung 13). Die größten absoluten Nachfrageverluste gegenüber dem Referenzszenario ergeben sich mit knapp 32.000 Arbeitsplätzen in der Kernautomobilindustrie und dabei mehrheitlich in der Branche *Kraftwagen- und Motoren*. In den vorgelagerten Branchen liegt die Nachfrage nach Arbeits- und Fachkräften im Jahr 2040 hingegen um etwa 8.700 Arbeitsplätze höher als im Referenzszenario. Grund hierfür ist ausschließlich der unterstellte Anstieg der Batterieproduktion. In den übrigen betrachteten vorleistenden Branchen, deren Produkte überwiegend für die Produktion von Verbrennern benötigt werden, ist die Nachfrage hingegen um insgesamt etwa 7.400 Beschäftigte geringer. Bei den nachgelagerten Branchen ist der Arbeitskräftebedarf im Jahr 2040 um etwa 2.800 Personen geringer als im Referenzszenario, mit leicht positiven Effekten in der Teilbranche *Rückgewinnung*.

Abbildung 13: Beschäftigungseffekte gegenüber dem Referenzszenario in den betrachteten Branchen
In Tausend Beschäftigten, 2022 bis 2040



* Für diese Branchen wurde die Anzahl der in Bayern Beschäftigten für das Jahr 2022 geschätzt. Für die Schätzung wurde der gleiche Anteil der Beschäftigten an der jeweils übergeordneten WZ-Klassifikation angenommen wie für Deutschland.
Quelle: Eigene Berechnungen Prognos © Prognos 2023

Wie bereits in Abschnitt 3.2.2 ausgeführt, entstehen im Kontext der fortschreitenden Elektrifizierung ebenfalls Beschäftigungseffekte in weiteren Branchen, die mit der Errichtung der benötigten Energie- und Ladeinfrastruktur sowie der benötigten Energieversorgung in Verbindung stehen. Im zugrundeliegenden Szenario werden die Effekte nicht quantifiziert. Nachstehende Infobox bietet jedoch einen Überblick über mögliche entstehende Effekte.



Mögliche Beschäftigungseffekte in weiteren Branchen

Im Zuge der Elektromobilität entstehen ebenfalls neue Stellen in den Bereichen Energie- und Ladeinfrastruktur sowie der Energieversorgung (Fraunhofer ISI, 2020). Agora Verkehrswende (2021) schätzt, dass bis 2030 in Deutschland rund 70.000 Arbeitsplätze im Bereich Betrieb und Wartung der Energieinfrastruktur entstehen, insbesondere von Ladesäulen. Installationsdienstleistungen werden dabei nahezu ausschließlich von Elektrohandwerkerinnen und Elektrohandwerkern erbracht, während der Betrieb der Ladeinfrastruktur in der Regel von (regionalen) Energieversorgungsunternehmen sichergestellt wird (e-mobil BW, 2021).

Auch in der Energieversorgung selbst soll es laut Agora (2021) aufgrund der steigenden Stromnachfrage zu einem Zuwachs in Höhe von etwa 25.000 Beschäftigten kommen. Getrieben wird diese Entwicklung insbesondere durch den zunehmenden Anteil von erneuerbaren Energien, da der Betrieb von Wind- und Photovoltaikanlagen arbeitsintensiver ist als bei fossilen Kraftwerken. Zudem eröffnet auch die Optimierung der Energieinfrastruktur neue Beschäftigungsfelder in den Bereichen Energieeffizienz, Energieplanung und Energiemanagements (e-mobil BW, 2021).

In lediglich sieben Berufsgruppen steigt die Beschäftigung aufgrund der Elektrifizierung an

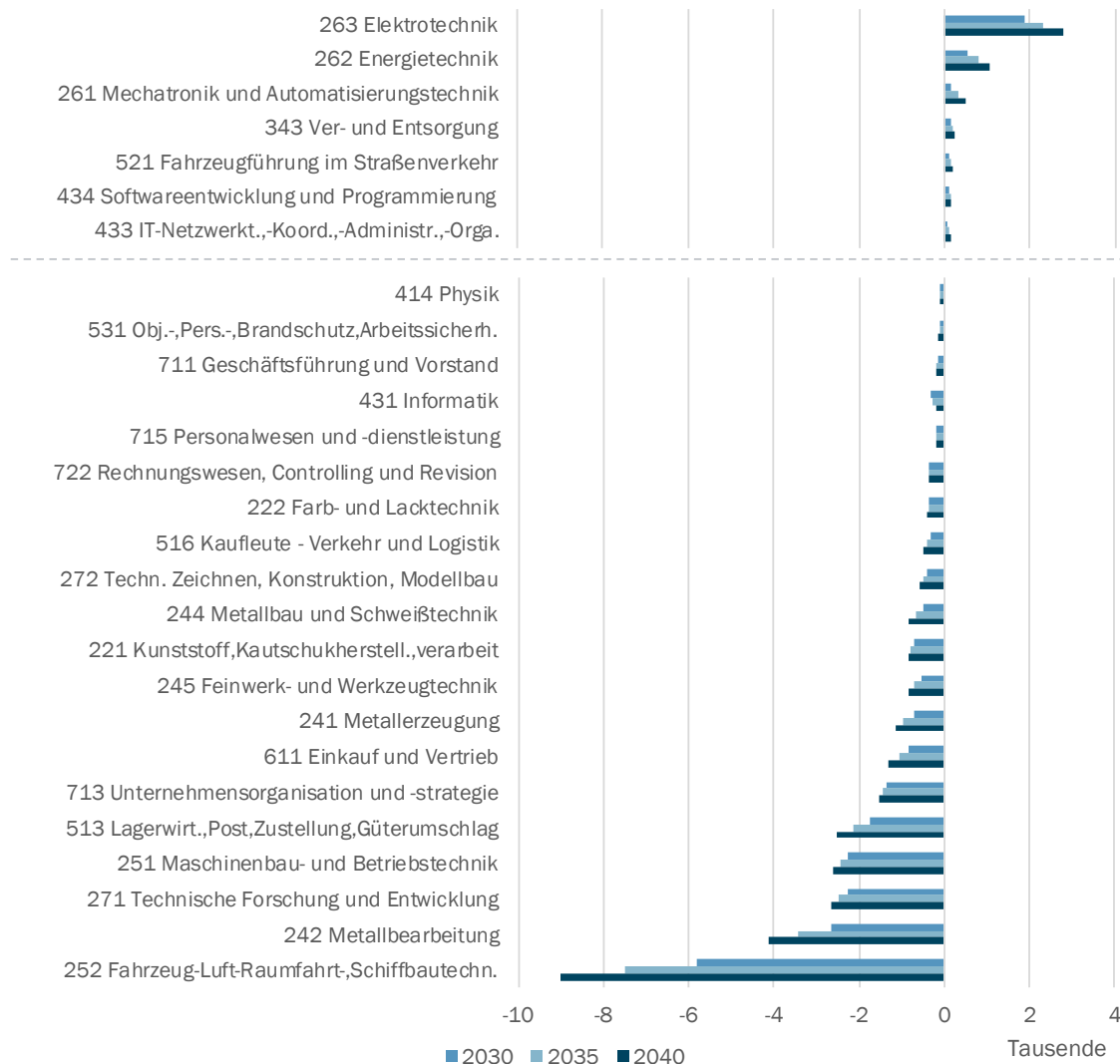
Auf Ebene der Berufe zeigt sich, dass mit positiven Beschäftigungseffekten nur in wenigen Berufsgruppen zu rechnen ist (Abbildung 14). Dazu zählen insbesondere die *Elektrotechnik* und die *Energietechnik*. In diesen Berufsgruppen liegt die Arbeitskräftenachfrage im Jahr 2040 im Vergleich zum Referenzszenario um 2.800 bzw. 1.100 Personen höher. Grund hierfür ist zum einen der steigende Bedarf in der vorleistenden Batteriefertigung (Vgl. vorige Abbildung). So entfallen in der zugehörigen Branche der *Herstellung von Batterien und Akkumulatoren* aktuell 18 Prozent der Beschäftigten auf diese beiden Berufsgruppen.¹⁸ Daneben werden aufgrund der veränderten Qualifikationsanforderungen jedoch auch bei den Automobilherstellern selbst vermehrt Arbeitskräfte dieser Berufsgruppen nachgefragt.

Die größten negativen Beschäftigungseffekte finden sich mit 9.000 bzw. 4.100 Arbeitsplätzen hingegen in den Berufsgruppen *Fahrzeug-Luft-Raumfahrt-,Schiffbautechnik* und *Metallbearbeitung*. Grund hierfür ist insbesondere der Rückgang der Beschäftigungsnachfrage in der Kernautomobilindustrie und die Tatsache, dass viele der in dieser Berufsgruppe Beschäftigten mit der Entwicklung und dem Einbau von Verbrennungsmotoren beschäftigt sind. Darüber hinaus macht die Abbildung analog zur Betrachtung auf Ebene der Branchen deutlich, dass der Großteil der Effekte im Jahr 2030 bereits stattgefunden hat.

¹⁸ Weitere Berufsgruppen mit hohen Beschäftigungsanteilen innerhalb der Branche sind u. a. *Maschinenbau- und Betriebstechnik* (20 Prozent), *Technische Produktionsplanung,-steuerung* (9 Prozent) oder die *Unternehmensorganisation und -strategie* (9 Prozent). Bei der Interpretation der Ergebnisse auf Ebene der Berufsgruppen gilt es bei der Batteriefertigung allerdings zu beachten, dass die Beschäftigungsstruktur bei der Neuansiedlung von Unternehmen durchaus vom aktuellen Branchendurchschnitt abweichen kann. Dies gilt insbesondere für Teilbereiche, die aktuell in der Statistik noch unterrepräsentiert sind und/oder bei denen vermehrt neue Technologien zum Einsatz kommen.

Abbildung 14: Beschäftigungseffekte gegenüber der Referenz nach ausgewählten Berufsgruppen

Als Differenz zwischen betrachtetem Szenario und Referenzszenario, Berufsgruppen mit einem Effekt von mindestens 100 Beschäftigten, in Tausend Beschäftigten, 2030, 2035, 2040



Quelle: Eigene Berechnungen Prognos

© Prognos 2023

Im Jahr 2040 werden gegenüber der Referenz knapp 15.000 Fachkräfte weniger benötigt

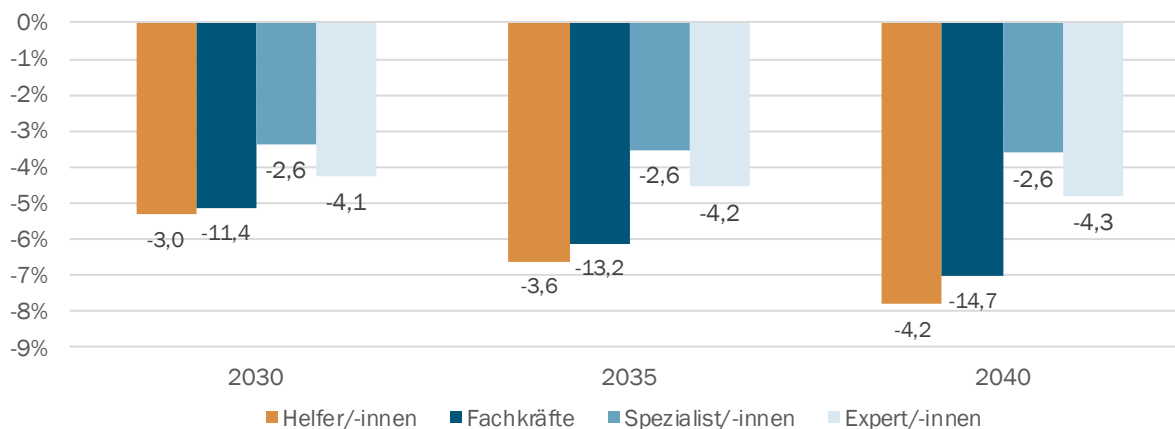
Bei den Qualifikationsanforderungen fällt der Arbeitskräftebedarf im Jahr 2040 auf allen Niveaustufen geringer aus als im Referenzszenario. Bei den Helferinnen und Helfern ist die prozentuale Abweichung gegenüber dem Referenzszenario mit knapp 8 Prozent im Jahr 2040 dabei am größten (Abbildung 15). Bei den Specialistinnen und Spezialisten fallen die relativen Abweichungen mit etwa 4 Prozent nur halb so hoch aus. Auch bei den Expertinnen und Experten (-5 Prozent) sowie bei den Fachkräften (-7 Prozent) ist der prozentuale Rückgang etwas schwächer ausgeprägt.

Mit Blick auf die absoluten Abweichungen zeigt sich hingegen ein anderes Bild. Hier entfällt die höchste Differenz mit 14.700 Beschäftigten auf die Fachkräfte. Diese Entwicklung ist insbesondere auf die geringere Nachfrage nach Beschäftigten der Berufsgruppen *Fahrzeug-, Luft-,*

Raumfahrt-, Schiffbautechnik, der Metallbearbeitung und der Maschinenbau- und Betriebstechnik zurückzuführen. Alleine auf diese drei Berufsgruppen, in denen die meisten Beschäftigten eine berufliche Ausbildung absolviert haben, entfällt ein Rückgang von knapp 11.000 Fachkräften. Bei den übrigen Qualifikationsanforderungen liegt der absolute Rückgang zwischen 4.300 bei den Expertinnen und Experten sowie 2.600 bei den Spezialistinnen und Spezialisten.

Abbildung 15: Beschäftigungseffekte gegenüber dem Referenzszenario nach Anforderungsprofil

In Prozent (Balkenlänge bzw. linke Achse) und in Tausend (Balkenbeschriftung) der Beschäftigten, 2030/2035/2040



Quelle: Eigene Berechnungen Prognos

© Prognos 2023

Dabei gilt es zu beachten, dass es sich bei den ausgewiesenen Effekten jeweils um den Saldo über alle Berufsgruppen hinweg handelt. In einzelnen Berufsgruppen steigt die Nachfrage nach Beschäftigten mit bestimmten Anforderungsprofilen dennoch an. Dies ist beispielsweise der Fall bei den drei Berufsgruppen *Elektrotechnik*, *Energietechnik* und *Mechatronik und Automatisierungstechnik*. In Summe werden in diesen Berufsgruppen im Jahr 2040 3.000 Fachkräfte mehr nachgefragt als in der Referenz. Auch bei den Spezialistinnen und Spezialisten und den Expertinnen und Experten liegt die Nachfrage in diesen drei Berufsgruppen um etwa 840 bzw. 450 Beschäftigte über dem Referenzszenario.

Einige wenige Regionen sind von dem Wandel besonders betroffen

Die Analysen haben gezeigt, dass die negativen Beschäftigungseffekte insbesondere solche Berufsgruppen und Unternehmen betreffen, die mit der Produktion klassischer Antriebstechnik zusammenhängen. Diese Zulieferunternehmen konzentrieren sich in Bayern auf bestimmte Regionen. So wurde in einer Analyse von IW Consult und Fraunhofer IAO (vbw 2021) anhand von Datenbankanalysen, Einzelrecherchen und unternehmensscharfen Mikrodaten detailliert aufgezeigt, dass der prozentuale Anteil der Beschäftigten in Unternehmen mit der Produktion klassischer Antriebstechnik in einigen wenigen Landkreisen sehr hoch ausfällt. Der Studie zufolge ist dieser Anteil in den Städten Schweinfurt und Passau und in den Landkreisen Erlangen-Höchstadt und Haßberge mit jeweils über 7,5 Prozent besonders hoch. Darüber hinaus werden in der Studie weitere Regionen mit Anteilen zwischen zwei und fünf Prozent identifiziert.

Positiv betroffen vom Wandel hin zur Elektromobilität wird zukünftig hingegen u. a. der Landkreis Straubing-Bogen sein. Hier plant die BMW Group einen neuen Montagestandort für HV-Batterien

zu eröffnen (BMW Group, 2023). Der erste Bauabschnitt soll 2024 beginnen und ab 2026 sollen jährlich 600.000 HV-Batterien für Elektroautos montiert werden. Die dort gefertigten Batterien sollen in den BMW-Werken in Dingolfing, Regensburg und München verbaut werden. Durch das neue Werk sollen bis zu 3.200 Arbeitsplätze entstehen (SZ, 2023).

i

Schlüssel zum Erfolg der Elektromobilität: Kaufanreize und Ausbau der Ladeinfrastruktur

Der erfolgreiche Ausbau der Elektromobilität hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Ein zentraler Aspekt ist die Schaffung von Anreizen, die die Nutzung von Elektrofahrzeugen attraktiver machen.

Dabei können Kaufprämien sowie steuerliche Vergünstigungen eine wichtige Rolle spielen. Darüber hinaus ist insbesondere ein gut ausgebautes Netz von Ladestationen entscheidend. Denn: Die Bereitstellung ausreichender Lademöglichkeiten an öffentlichen Plätzen, Parkplätzen, in Wohngebieten und entlang von Verkehrswegen ist entscheidend, um einen reibungslosen Umstieg auf Elektrofahrzeuge zu ermöglichen. In diesem Zusammenhang sind auch einfache Bezahlungsmöglichkeiten an öffentlichen Ladesäulen wichtig. Kontaktloses Bezahlen mit Debit- oder Kreditkarte oder per Smartphone-App erleichtert das Stromtanken erheblich. Um eine stabile Stromversorgung zu gewährleisten, müssen im Zuge des Ausbaus der Ladeinfrastruktur auch die Stromnetze an die erhöhte Nachfrage angepasst werden.

Neben Kaufanreizen und einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur können auch bestimmte Privilegien wie kostenloses Parken oder reservierte Parkplätze für Elektrofahrzeuge die Attraktivität des Umstiegs auf Elektromobilität erhöhen.

Darüber hinaus sind Investitionen in Forschung und Entwicklung, insbesondere im Bereich der Batterietechnologien, von zentraler Bedeutung. Die kontinuierliche Verbesserung von Batterieleistung, Reichweite und Lebensdauer kann dazu beitragen, die Alltagstauglichkeit von Elektrofahrzeugen zu erhöhen und die Kosten zu senken.

3.3 Szenario zum Chancefeld vernetzte Mobilität und autonomes Fahren

Die Hypothese lautet, dass die Beschäftigungseffekte im Chancefeld vernetzte Mobilität und autonomes Fahren gegenüber dem Referenzszenario positiv ausfallen. Je nach betrachteter Teilbranche ist die Wirkungsrichtung jedoch unterschiedlich. Während in nachgelagerten Bereichen wie der Kfz-Reparatur langfristig Arbeitsplätze verloren gehen könnten, steigt durch die neuen technologischen Anforderungen mit Blick auf die Implementierung der zunehmenden Vernetzung unter anderem die Nachfrage nach IT-Fachkräften stark an.

3.3.1 Hintergrund und mögliche übergreifende Entwicklungen

Vernetzte Mobilität

Mobilität ist ein bedeutender Faktor, um den Wohlstand einer Gesellschaft zu gewährleisten und die Wettbewerbsfähigkeit ihrer Industrie und Dienstleister zu sichern. Oberstes Ziel ist es, den Verkehr effizienter und nachhaltiger zu organisieren. So sollen beispielsweise Staus reduziert, Unfallzahlen verringert, Grüne Wellen ermöglicht oder die Wartezeiten an Ampeln verkürzt werden. Ein wesentlicher Aspekt des neuen und nachhaltigen Mobilitätsgedankens ist dabei auch die Vernetzung von Fahrzeugen.

Vernetzte Mobilität bedeutet, dass die verschiedenen Verkehrsträger wie Autos, Busse, Bahnen, Lkw oder Schiffe mit anderen Fahrzeugen und der Umwelt verbunden sind. Sie bezeichnet die technologische Fähigkeit verschiedener Verkehrsmittel, nahtlos miteinander zu kommunizieren und Verkehrsdaten in Echtzeit auszutauschen. Die Nutzung von vernetzten Fahrzeugen kann so zu einer Optimierung des Verkehrsflusses, einer Verringerung von Unfällen und aufgrund einer flüssigeren Verkehrsführung zu einem erhöhten Komfort im Fahrzeug führen. Gleichzeitig werden darüber hinaus die Energieeffizienz des Verkehrs verbessert und negative Umweltauswirkungen reduziert.

Aufgrund der Anforderung an eine exakte Verarbeitung und Analyse von Echtzeitdaten bilden komplexe Software-Systeme eine Grundvoraussetzung für die technische Umsetzung. Der Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) spielt dabei eine entscheidende Rolle. Der Anteil von Software und E/E-Architekturen an der Wertschöpfung wird in der Automobilindustrie in den kommenden Jahren entsprechend deutlich zunehmen und maßgeblich über die Wettbewerbsfähigkeit der Automobilhersteller und ihrer traditionellen Zulieferer entscheiden (ETA, 2023).

Um im Wettbewerb mit neuen Akteuren bestehen zu können, müssen die Unternehmen der Automobilindustrie ihre Fähigkeiten in diesem Bereich somit erweitern – das gilt auch für weitere softwarebasierte Funktionen und Mobilitätsdienstleistungen. Eine Transformation vom traditionellen „Maschinenbau- und Elektrotechnik-Mindset“ hin zum „Software-Mindset“ ist somit unerlässlich. Dies erfordert umfassende Software-Kompetenz auf allen Ebenen sowie entsprechende Managementkompetenz und Agilität - auch auf den höchsten Führungsebenen der Unternehmen.

Die fortschreitende Entwicklung in der vernetzten Mobilität eröffnet Automobilherstellern zudem die Erschließung potenzieller neuer Geschäftsfelder. So können Automobilhersteller durch die Integration von vernetzten Fahrzeugen in Ride-Sharing-Plattformen ihre Fahrzeuge als Dienstleistung anbieten und zu Mobilitätsanbietern werden. Weitere Geschäftsfelder bieten sich zudem durch den Verkauf von Daten, die durch die vernetzten Fahrzeuge generiert werden. Diese Informationen können beispielsweise für Städte, Unternehmen und Versicherungen wertvoll sein. Ebenfalls attraktiv ist die eigene Nutzung dieser Daten durch die Automobilhersteller, bspw. im Bereich Smart Maintenance oder eigener Park-Apps.

Autonomes Fahren

Ein besonders weitgehender Anwendungsfall der Vernetzten Mobilität ist das autonome Fahren. Dieser Begriff bezieht sich auf die zielgerichtete Fortbewegung selbstfahrender Fahrzeuge, die ohne menschliches Eingreifen und ohne menschliche Überwachung im Straßenverkehr selbstständig fahren können. Autonomes Fahren besitzt damit das Potenzial, die Mobilität grundlegend zu verändern.

Das autonome Fahren wird laut der SAE (Society of Automotive Engineers) in fünf Autonomiestufen (Level) eingeteilt. Die Spanne reicht von mit Fahrerassistenzsystemen wie Tempomaten oder Anti-blockiersystemen ausgestatteten Fahrzeugen in Stufe 1 bis hin zu vollständig autonom fahrenden Fahrzeugen in Stufe 5 (vgl. Abbildung 16). Die höchste Stufe, die aktuell auf deutschen Straßen zugelassen ist, ist Stufe 3. Erst zwei deutsche Hersteller, darunter BMW, haben vom Kraftfahrt-Bundesamt die Erlaubnis erhalten, hochautomatisiertes Fahren (Stufe 3) unter bestimmten Bedingungen anzubieten, z. B. bei einer Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h als Staupilot und bei guten Witterungsbedingungen (Handelsblatt, 2023).

Abbildung 16: Die fünf Autonomiestufen des autonomen Fahrens

Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5
Assistent <ul style="list-style-type: none"> Fahrer führt dauerhaft Längs- oder Querführung aus System übernimmt die jeweils andere Funktion 	Teilautomatisiert <ul style="list-style-type: none"> Fahrer muss das System dauerhaft überwachen System übernimmt Längs- u. Querführung in einem speziellen Anwendungsfall 	Hochautomatisiert <ul style="list-style-type: none"> Fahrer muss System nicht mehr dauerhaft überwachen, muss aber potenziell in der Lage sein, zu übernehmen System übernimmt Längs- u. Querführung in einem spezifischen Anwendungsfall, erkennt Systemgrenzen und fordert Fahrer zur Übernahme mit ausreichender Zeitreserve auf 	Vollautomatisiert <ul style="list-style-type: none"> Kein Fahrer erforderlich im speziellen Anwendungsfall System kann im spezifischen Anwendungsfall alle Situationen automatisch bewältigen 	Fahrerlos (autonom) <ul style="list-style-type: none"> System kann während der ganzen Fahrt alle Situationen automatisch bewältigen. Kein Fahrer erforderlich

Quelle: Fraunhofer IAO und Horváth & Partners (2016) auf Basis einer Definition des VDA

© Prognos 2023

Beim autonomen Fahren handelt es sich um eine hochkomplexe Funktionalität, für die zahlreiche technische Herausforderungen gemeistert werden müssen. So muss das Fahrzeug in der Lage sein, seinen eigenen Zustand (Geschwindigkeit, Position und Abstände) und seine Umgebung ständig mittels ausgefeilter Sensorik wahrzunehmen und korrekt zu interpretieren. Hierfür ist ein komplexes Zusammenspiel und die Verarbeitung verschiedenster Daten aus Sensoren (Radar, Lidar), Kameras und GPS-Signalen mit Hilfe von Algorithmen und Künstlicher Intelligenz erforderlich.

Die Technologie des autonomen Fahrens basiert wesentlich auf der Nutzung von Sensoren und Kameras als entscheidende Komponenten. Die üblicherweise von Ingenieurinnen und Ingenieuren entwickelten Sensoren sind dafür verantwortlich, den Abstand eines Fahrzeuges zu den anderen Verkehrsteilnehmenden und Objekten zu bestimmen. Die Kameras liefern genaue Bilder der Umgebung und unterstützen das autonome System dabei, die Entfernung zu Objekten richtig einzuschätzen, die Verkehrszeichen zu erkennen sowie die Fußgänger und anderen Verkehrsteilnehmenden zu identifizieren. In der Regel verfügt ein autonomes Fahrzeug dabei über fünf Kameras, je eine vorne, hinten, an beiden Seiten sowie eine weitere zur Überwachung der Fahrerinnen und Fahrer.

Eine weitere Herausforderung besteht darin, die verschiedenen entstehenden realen Bilder und Daten in Echtzeit zu einem 3D-Umgebungsmodell (Sensor-Fusion) zu verarbeiten. Die entscheidungserheblichen Parameter werden mit Hilfe einer spezialisierten Software, welche in der Regel ebenfalls von Ingenieurinnen und Ingenieuren entwickelt und von Elektronikerinnen und Elektronikern implementiert und integriert werden, erfasst, identifiziert und verarbeitet. Auf Basis dieser Prozesse kann das Fahrzeug Entscheidungen selbstständig treffen, Entfernungen einhalten sowie Hindernisse erkennen und auf komplexe Situationen im Straßenverkehr effizient reagieren (ifo,

2019). Die Entwicklung und der Einsatz von komplexen Sensoren und Software-Systemen sowie die Analyse von Echtzeitdaten macht – wie bereits im Abschnitt zum vernetzten Fahren geschildert – einen umfassenden Ausbau der IT-Kompetenzen in der Automobilindustrie unerlässlich.

Gleichzeitig stellt die Entwicklung von Software und Infrastruktur für das autonome Fahren ebenfalls ein weiteres lukratives Geschäftsfeld dar, denn die Nachfrage nach entsprechender hochentwickelter Technologie wird zukünftig weiter ansteigen. Der Ausbau des autonomen Fahrens eröffnet den Automobilherstellern somit die Möglichkeit, weitere innovative Umsatzquellen zu erschließen.

Um Funktionalitäten für vernetztes Fahren in einer realen Verkehrsumgebung zu testen, hat das Fraunhofer IIS im Mai 2022 das „5G-Bavaria-Testbed Automotive“ in Betrieb genommen. Auch zahlreiche weitere Institute und Hochschulen in Bayern testen und entwickeln neue Technologien für vernetztes und autonomes Fahren. Eine Übersicht ausgewählter Tätigkeiten findet sich in Anhang A2.

i

Rechtliche Rahmenbedingungen für das autonome Fahren

Neben der Technologie sind die gesetzlichen Regelungen für den Einsatz autonomer Fahrzeuge von großer Bedeutung. So müssen eindeutige Vorschriften für den Betrieb von autonomen Fahrzeugen festgelegt und dabei verschiedene Aspekte berücksichtigt werden. Dazu gehören beispielsweise Haftungsfragen bei Unfällen oder auch Datenschutzbestimmungen. Um die Sicherheit autonomer Fahrzeuge zu gewährleisten, müssen bei der Regulierung ebenfalls angemessene Testverfahren entwickelt werden. Diese sollten alle möglichen Szenarien abdecken, in denen Fahrzeuge autonom reagieren müssen – angefangen von komplizierten Verkehrssituationen bis hin zu plötzlichen Wetteränderungen oder anderen schwer vorhersehbaren Situationen. Zusätzlich sollten die Testverfahren auch den Datenschutz der Passagiere berücksichtigen (juicify, 2023).

In Deutschland hat der Bundestag im Juli 2021 das sogenannte „Gesetz zur Förderung des autonomen Fahrens“ verabschiedet. Gemäß diesem Gesetz dürfen autonome Fahrzeuge unter bestimmten Voraussetzungen auf öffentlichen Straßen getestet werden. Dafür ist jedoch eine Genehmigung für vorher festgelegte Streckenabschnitte zu beantragen, die nicht verlassen werden dürfen. Zudem ist ein entsprechender Versicherungsschutz erforderlich. Des Weiteren muss ein geschulter Fahrer anwesend sein oder mindestens eine Remote-Überwachung aus der Ferne erfolgen, um die Kontrolle über das Fahrzeug zu behalten und im Notfall eingreifen zu können. Ähnliche Regelungen wurden auch von der EU auf europäischer Ebene vorgeschlagen. Deutschland ist innerhalb der EU das einzige Land, das Level-3- und sogar Level-4-Systeme unter bestimmten Bedingungen erlaubt. Autonom fahrende Fahrzeuge (Level 5) dürfen auf öffentlichen Straßen allerdings nicht betrieben werden.

Einzelne Bundesstaaten in den USA, wie beispielsweise Nevada oder Kalifornien, haben bereits eigene Gesetze zur Regelung des autonomen Fahrens erlassen. In diesen Staaten ist es bereits erlaubt, autonom fahrende Fahrzeuge im Straßenverkehr zu testen. Zur Regulierung des autonomen Fahrens existieren bereits mehrere internationale Abkommen, zu denen auch das Washingtoner Abkommen von 2016 über den

Informationsaustausch bezüglich autonomer Systeme gehört. Eine der größten Herausforderungen besteht darin, dass es gegenwärtig weltweit keine einheitlichen gesetzlichen Vorschriften für das autonome Fahren gibt. Jedes Land hat seine eigenen Regelungen und Gesetze, die häufig stark voneinander abweichen können.¹⁹ Dies erschwert den Herstellern die Einführung und den weltweiten Verkauf ihrer Produkte (juicify, 2023).

3.3.2 Hypothese: Auswirkungen auf Teilbranchen und relevante Berufe der Automobilindustrie

Hypothese: Die Beschäftigungseffekte hängen stark von der betrachteten Teilbranche ab

Die vernetzte Mobilität und das autonome Fahren können die Beschäftigungsnachfrage in unterschiedlichen Branchen tiefgreifend verändern. Einerseits könnten mit dem Einsatz autonomer Fahrzeuge Arbeitsplätze in Bereichen der Reparatur, der Logistik oder der Güter- und Personenbeförderung wegfallen. Andererseits würden gleichzeitig neue Arbeitsplätze in anderen Teilbereichen entstehen.

So werden durch den verstärkten Einsatz von komplexer digitaler Technologie in vernetzten und autonomen Fahrzeugen zukünftig mehr IT-Fachkräfte benötigt. Dies betrifft insbesondere die Bereiche Software-Entwicklung, Künstliche Intelligenz und Data Science. Auch werden verstärkt Ingenieurinnen und Ingenieure für die Entwicklung und den Einbau der erforderlichen Maschinen- und Fahrzeugtechnik nachgefragt. Darüber hinaus wird ebenfalls der Bedarf an Arbeitskräften zur Entwicklung der entsprechenden Sensorik deutlich ansteigen, was beispielsweise Elektronikerinnen und Elektroniker betrifft. Alle diese Berufsgruppen werden benötigt, um die technischen Lösungen für das autonome Fahrzeug zu erarbeiten und einen sicheren Betrieb zu gewährleisten.²⁰

Insbesondere in nachgelagerten Branchen werden weniger Arbeitskräfte benötigt

Auch in den nachgelagerten Branchen haben die vernetzte Mobilität und das autonome Fahren das Potenzial, den Arbeitskräftebedarf deutlich zu verändern. So könnte die Weiterentwicklung der autonomen Fahrzeuge in den kommenden Jahren zu einem drastischen Rückgang der Jobs im Transportbereich führen, insbesondere bei den Taxi-, Bus- und Lkw-Fahrern und damit im Transportsektor und Logistikbereich. Vor dem Hintergrund, dass in vielen dieser Bereiche bereits heute ein Mangel an Fahrerinnen und Fahrern herrscht, ist diese Entwicklung nicht zwangsläufig problematisch, sondern eher eine Lösung der aktuellen Problematik (vgl. Abschnitt 4.2).

In der langen Frist werden autonome Fahrzeuge darüber hinaus voraussichtlich weitaus effizienter sein als menschliche Fahrerinnen und Fahrer und zu einer Erhöhung der allgemeinen Sicherheit auf den Straßen führen. Dies würde ebenfalls einen Rückgang der Unfallzahlen und eine Verringerung leichter Fahrzeugschäden bedeuten, wie z.B. Lack- und Karosserieschäden. In der

¹⁹ Das internationale Abkommen für die Regelung des Straßenverkehrs ist das sogenannte Wiener Abkommen, das in Deutschland durch die StVO umgesetzt wird. In dem Abkommen ist das autonome Fahren allerdings nach wie vor unzureichend geregelt, weshalb viele Länder aktuell eigene Lösungen anstreben.

²⁰ Welche Anteile der neu entstehenden Wertschöpfungsketten dabei zukünftig von den Unternehmen der Kernautomobilindustrie selbst und welche hingegen eher durch vorgelagerte Zulieferer erbracht werden, ist aktuell schwer abzuschätzen.

Konsequenz wäre der Bedarf an Reparatur, Wartung und Instandhaltung der Fahrzeuge im bisherigen Umfang ebenfalls nicht mehr erforderlich.

Auf der anderen Seite könnten im Bereich der Überwachung und Steuerung des autonomen Straßenverkehrs neue Berufsfelder entstehen. Für die Entwicklung, den Test und die Herstellung der entsprechenden Systeme für das autonome Fahrzeug sind vor allem hochqualifizierte Mitarbeiter erforderlich, insbesondere in der Zulieferindustrie.

Die Integration von autonomen Fahrzeugen in den Verkehr wird somit einerseits zur Entstehung neuer Arbeitsmöglichkeiten und Tätigkeitsfelder führen, andererseits auch bisher bestehende Arbeitsplätze überflüssig machen. Die Gesamtbilanz fällt dabei nicht zwangsläufig negativ aus, sondern wird gemäß der nachstehend aufgeführten Studien stattdessen eher positiv bewertet (Lenz et al, 2015). Allerdings sind die neuen Tätigkeitsfelder in der Regel nur für hoch qualifizierte Mitarbeiter zugänglich, gering qualifizierte Berufsfelder werden stattdessen weniger nachgefragt. Daher werden Qualifizierungsmaßnahmen und Umschulungen erforderlich sein, um andere Arbeitsmöglichkeiten für diejenigen Beschäftigten zu finden, deren bisheriger Arbeitsplatz von den Entwicklungen bedroht ist.

In Summe wird jedoch von einem positiven Beschäftigungseffekt ausgegangen

Im Bereich Konnektivität oder vernetzte Mobilität wird ein Beschäftigungsbedarf für die Hardware-Branche von 13.000 bis 15.000 Beschäftigten prognostiziert (CAM, 2022). Der Bereich des autonomen Fahrens verfügt hingegen über das größte Beschäftigungspotential insbesondere in der Software-Branche. Bis zum Jahr 2025 wird in Deutschland ein Bedarf von 50.000 bis 60.000 Mitarbeitern erwartet, der bis zum Jahr 2030 auf 85.000 bis 125.000 Beschäftigten zulegen könnte (CAM, 2022).

Die Hans-Böckler-Stiftung (2018) beschreibt hingegen drei Szenarien, um die Beschäftigungseffekte im deutschen Automobilsektor bis 2030 in den zwei Bereichen vernetzte Fahrzeuge und automatisierte Fahrzeuge zu berechnen. In Szenario 1 wird davon ausgegangen, dass automatisierte Fahrsysteme eine vollständig zusätzliche Zahlungsbereitschaft zur Folge haben. In Szenario 2 wird angenommen, dass durch das automatisierte Fahren Funktionen und Komponenten im Fahrzeug im Wert von 50 Prozent des automatisierten Fahrsystems substituiert werden. In Szenario 3 wird unterstellt, dass automatisierte Fahrsysteme andere Komponenten und Funktionen des Fahrzeugs wertmäßig vollständig ersetzen. In der folgenden Tabelle sind die Beschäftigungsentwicklungen in den zwei Bereichen bis zum Jahr 2030 für jedes der Szenarien zusammengefasst.

Tabelle 6: Anstieg der Beschäftigung im Jahr 2030 gemäß einer Studie der Hans-Böckler-Stiftung
differenziert nach den Bereichen vernetztes und automatisiertes Fahren, Szenarien 1 bis 3

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Vernetztes Fahren	16.534	13.245	10.474
Automatisiertes Fahren	127.503	105.217	86.441

Quelle: Hans-Böckler-Stiftung (2018), eigene Darstellung Prognos

© Prognos 2023

Die Studie von Agora (2021) weist für das zugrundeliegende Szenario bis zum Jahr 2030 auf Bundesebene einen Effekt von etwa 20.000 Arbeitsplätzen aus. Davon entfallen den Autoren zufolge aufgrund des Einbaus der zusätzlichen Technologie und Software etwa 14.000 Jobs auf die Automobilhersteller und 6.000 Jobs auf die liefernden Unternehmen für die Entwicklung und Fertigung der nötigen Komponenten wie Sensoren oder Platinen. Im Vergleich zu den beiden zuvor genannten Studien fallen die Effekte den Autoren zufolge somit zwar deutlich geringer aus, mit Blick auf die positive Wirkungsrichtung besteht jedoch Anschlussfähigkeit.

Nachfolgende Tabelle zeigt überblicksartig für jede relevante Teilbranche die anhand der Erkenntnisse der Literaturrecherche erwartete Wirkungsrichtung auf die Beschäftigungsentwicklungen (Tabelle 7). Analog zum Chancenfeld Elektrifizierung wird dabei zwischen den drei Bereichen der Kernautomobilindustrie sowie den für das Chancenfeld als besonders relevant erachteten vor- und nachgelagerten Branchen unterschieden. Ebenfalls wird bereits dargestellt, in welcher Höhe die absoluten Beschäftigungseffekte je Prozentpunkt Veränderung gegenüber dem aktuellen Stand des Jahres 2022 in Bayern ausfallen.

Tabelle 7: Für das Chancenfeld vernetzte Mobilität und autonomes Fahren sind fünf Teilbranchen besonders relevant

Relevante Teilbranchen, Wirkungsrichtung und absoluter Beschäftigungseffekt je Veränderung um 1 % ggü. 2022

Relevante Teilbranchen	Wirkungsrichtung	Effekt je Veränderung um 1 % (Personen)
Kernautomobilindustrie	WZ 291 Herstellung Kraftwagen, Kraftwagenmotoren	Positiv 1.332
	WZ 292 Herstellung Karosserie, Aufbauten, Anhänger	Positiv 93
	WZ 293 Herstellung Teile, Zubehör für Kraftwagen	Positiv 1.072
Vorgelagert	WZ 26 Herstellung Datenverarbeitungsgeräte, elektronische und optische Erzeugnisse	Positiv 1.066
Nachgelagert	WZ 45203, 45204 Instandhaltung, Reparatur von Kfz	Negativ 629

Quelle: Prognos

© Prognos AG, 2023

3.3.3 Konkrete Annahmen zur Berechnung des Szenarios

Ausgangspunkt bilden die Annahmen der Studie Agora (2021)

Bei der Szenariorechnung dienen analog zur Elektrifizierung ebenfalls die Ergebnisse der Studie von Agora (2021) als Ausgangspunkt. Den Autoren zufolge beläuft sich der auf das Autonome und vernetzte Fahren zurückzuführende Beschäftigungseffekt in Deutschland bis zum Jahr 2030 auf insgesamt 20.000 Arbeitsplätze. Davon entfallen 14.000 bei den Automobilherstellern selbst und weitere 6.000 bei den antriebsstrangunabhängigen Zulieferern, welche u. a. die benötigten Sensoren oder Platinen herstellen. Grund für den Beschäftigungszuwachs ist den Autoren zufolge, dass der Wert der durchschnittlich in den Fahrzeugen verbauten Software bis zum Jahr 2030 von etwa 280 Euro auf 765 Euro je Fahrzeug ansteigen wird. Ausgehend vom Jahr 2020 entspricht

dies einer jährlichen Steigerung von 10,6 Prozent.²¹ Auf der nachgelagerten Ebene entstehen gemäß der Agora-Studie keine Beschäftigungseffekte, auch nicht im Bereich der Reparatur und Wartung. Vor dem Hintergrund, dass es sich bis zum Jahr 2030 um einen vergleichsweise knappen Zeitraum handelt und entsprechende Fahrzeuge bis dahin nur in geringem Ausmaß auf den Straßen sein werden, ist dies nachvollziehbar.²²

Für die näherungsweise Übertragung dieser Ergebnisse auf den Kontext der Studie werden folgenden Annahmen getroffen:

Tabelle 8: Annahmen zu den Beschäftigungseffekten je Teilbranche im Chancefeld vernetzte Mobilität und autonomes Fahren

Resultierender Beschäftigungseffekt im Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 2022, in Prozent, nach Teilbranchen

Teilbranchen und getroffene Annahmen gemäß Quellen	Resultierender Beschäftigungseffekt bis 2030	
Kernautomobilindustrie	Wir unterstellen, dass alle Teilbereiche der Kernautomobilindustrie betroffen sind – auch der Teilbereich WZ292 der Karosserien, da bei diesen aufgrund der Sensorik Anpassungsbedarf besteht. Von den 14.000 bis 2030 in Deutschland entstehenden Arbeitsplätzen (Agora 2021) entfallen unter der Annahme, dass die Anteile Bayerns an der gesamtdeutschen Produktion konstant bleiben, 3.640 auf Bayern. Das entspricht einem Zuwachs von etwa 1,5%	291 Kraftwagen und Kraftwagenmotoren 1,5%
		292 Karosserien, Aufbauten, Anhänger 1,5%
		293 Teile und Zubehör für Kraftwagen 1,5%
Vorge-lagert	In vorgelagerten Industrien steigt der Arbeitskräftebedarf in Deutschland bis 2030 um 6.000 Personen (Agora 2021), bzw. in Bayern anteilig um 1.450. Das entspricht einem Zuwachs von knapp 1,4 %. Im Szenario unterstellen wir, dass diese zusätzliche Nachfrage bei solchen antriebsstrangunabhängigen Zulieferern entstehen wird, die die benötigten Sensoren, Kameras etc. produzieren.	26 Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen 1,4%
Nachge-lagert	Im Bereich der Wartung und Instandhaltung resultieren bis zum Jahr 2030 aufgrund der geringen Fahrzeugdurchdringung noch keine nennenswerten Effekte. Ab 2030 unterstellen wir jedoch einen jährlichen Rückgang der Arbeitskräftenachfrage um 1 %.	45203, 45204 Instandhaltung/Reparatur KfZ (mit 3,5t) 0%

Quelle: Prognos

© Prognos AG, 2023

Auf Ebene der Berufe profitieren insbesondere IT- und Ingenieursberufe

Besonders nachgefragte Berufsgruppen sind zum einen solche, die mit der Entwicklung und Programmierung der benötigten Software sowie mit der Bereitstellung der erforderlichen IT-Infrastruktur in Verbindung stehen. Die implizite Annahme lautet dabei, dass die Automobilhersteller die benötigte Software wie beispielsweise KI-Anwendungen überwiegend selbst entwickeln und nur in geringfügigem Umfang oder in bestimmten Teilbereichen Vorleistungen der IT-Branche eingekauft werden. Zum anderen werden für die Entwicklung und den Einbau der erforderlichen

²¹ Zur konkreten Anzahl der im Szenario unterstellten Fahrzeugproduktion je Autonomiestufe werden in der Studie von Agora (2021) hingegen keine Angaben gemacht.

²² Für den Zeitraum zwischen 2030 und 2040 gehen wir hingegen davon aus, dass diese Effekte eintreten werden (Vgl. Tabelle 8)

Kameras, Sensoren etc. verstärkt Ingenieursberufe nachgefragt. Nachstehende Tabelle fasst die konkreten Annahmen zusammen.

Tabelle 9: Berufsgruppen der IT und Ingenieursberufe gewinnen an Bedeutung

Berufsgruppen mit Anteilsgewinnen und Anteilsverlusten und unterstellter jährlicher Anteilsveränderung in Prozent

Berufsgruppen mit Anteilsgewinnen	Berufsgruppen mit Anteilsverlusten	
431 Informatik	1,0%	---
432 IT-Systemanalyse, Anwenderber, IT-Vertrieb	1,0%	
433 IT-Netzwerk, -Koord., -Administr., -Orga.	1,0%	
434 Softwareentwicklung und Programmierung	2,0%	
261 Mechatronik und Automatisierungstechnik	0,5%	
263 Elektrotechnik	0,5%	

Quelle: Prognos

© Prognos AG, 2023

Die Qualifikationsanforderungen leiten sich abermals aus den Berufen ab

Bezüglich der Entwicklung des Anteils an *Helfern, Fachkräften, Spezialistinnen und Spezialisten* sowie *Expertinnen und Experten* gehen wir aufgrund der Erkenntnisse der Literaturrecherche davon aus, dass höher qualifizierte Tätigkeiten aufgrund der steigenden Nachfrage IT- und Ingenieursberufen zukünftig an Bedeutung gewinnen werden. Da diese Entwicklung aber bereits implizit durch die gesetzte Anteilsverschiebung bei den Berufen berücksichtigt wird und nicht alle Berufsgruppen davon betroffen sind, wird darüber hinaus lediglich davon ausgegangen, dass sich die in den letzten Jahren beobachteten Trends bezüglich der Veränderung der Qualifikationsanforderungen innerhalb der einzelnen Berufsgruppen weiter fortsetzen

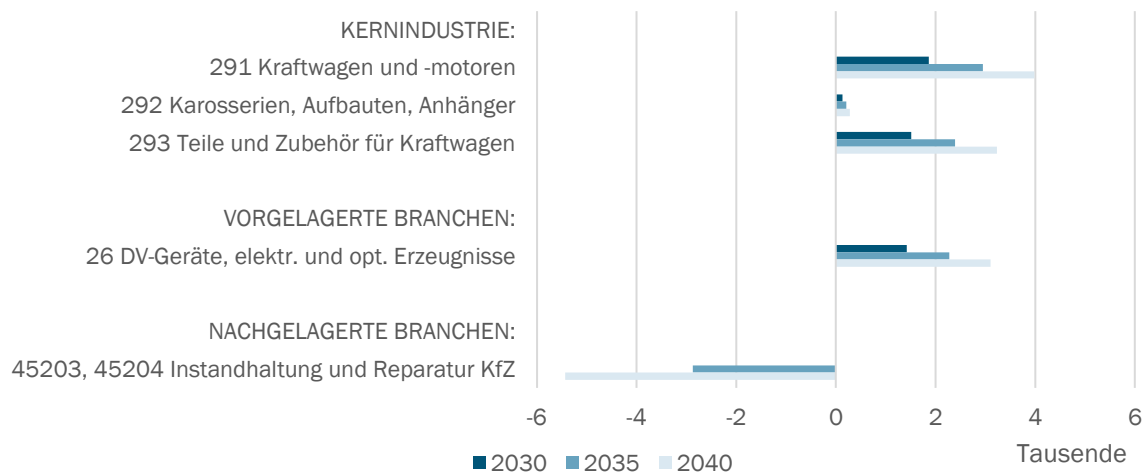
3.3.4 Szenariorechnung: Beschäftigungseffekte gegenüber dem Referenzszenario

Insgesamt steigt die Beschäftigungsnachfrage der Automobilindustrie im unterstellten Szenario aufgrund der vernetzten Mobilität und dem autonomen Fahren im Jahr 2040 gegenüber dem Referenzszenario um 5.200 Arbeitsplätze an. Im Jahr 2030 liegt der Saldo der negativen und positiven Effekte mit 4.900 auf einem ähnlich hohen Niveau.

Die Kernautomobilindustrie benötigt etwa 7.500 Arbeitsplätze mehr als in der Referenz

Der größte Anstieg gegenüber dem Referenzszenario mit Blick auf die Beschäftigungsnachfrage findet sich in der Kernautomobilindustrie. Hier werden im Jahr 2040 in Bayern 7.500 Arbeitsplätze mehr nachgefragt. Bei den vorgelagerten Unternehmen, die die benötigten elektronischen Komponenten, Sensoren und Kameras produzieren, finden sich ebenfalls positive Effekte in Höhe von 3.100 Beschäftigten. Bei der nachgelagerten Branche der *Instandhaltung und Reparatur von Kfz* gehen wir aufgrund der unterstellten Abnahme von Unfällen hingegen von einem Rückgang des Arbeitskräftebedarfs im Jahr 2040 um etwa 5.400 Beschäftigten aus. Hier treten die Effekte jedoch erst in den Jahren nach 2030 auf.

Abbildung 17: Beschäftigungseffekte gegenüber dem Referenzszenario in den betrachteten Branchen
 In Tausend Beschäftigten, 2022 bis 2040



Quelle: Eigene Berechnungen Prognos © Prognos 2023

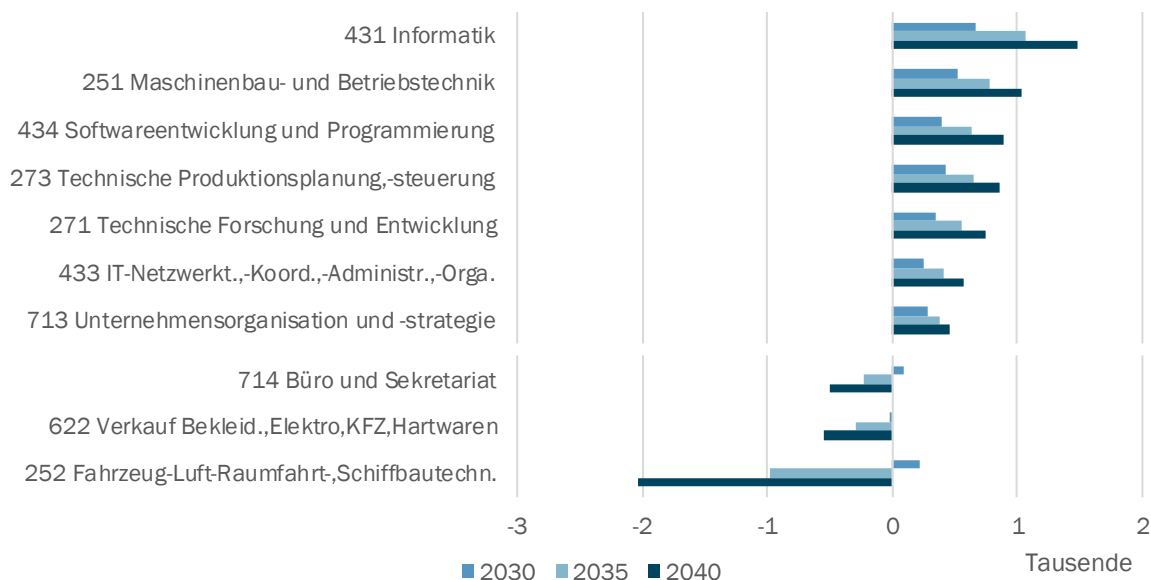
Je nach Berufsgruppe beläuft sich der Beschäftigungseffekt auf bis zu 2.000 Arbeitsplätze

Auf Ebene der Berufsgruppen zeigt sich, dass bis zum Jahr 2040 mehrheitlich positive Effekte resultieren. Das trifft insbesondere auf Berufsgruppen zu, die mit der Entwicklung von Software und der benötigten IT-Anwendungen beschäftigt sind. Dazu zählen neben weiteren die Berufsgruppen *Informatik* (+1.500) sowie *Softwareentwicklung und Programmierung* (+900). Eine weitere Gruppe mit positiven Beschäftigungseffekten von jeweils deutlich über 500 Arbeitsplätzen betreffen diejenigen Berufsgruppen, die mit den zu erbringenden Ingenieursleistungen für den Einbau und die Nutzung der erforderlichen Sensorik benötigt werden. Dazu zählen beispielsweise die *Maschinenbau- und Betriebstechnik* (+1.000), die *technische Produktionsplanung und -Steuerung* (+900) oder die *Technische Forschung und Entwicklung* (+700).

Weniger stark nachgefragt wird aufgrund des Rückgangs an nachgelagerten Dienstleistungen bezüglich der Reparatur von Kraftfahrzeugen insbesondere die Berufsgruppe *Fahrzeug-, Luft-, Raumfahrt-, Schiffbautechnik*. Hier werden die negativen Effekte jedoch erst in den Jahren nach 2030 spürbar, wenn den Annahmen zufolge eine gewisse Durchdringung an entsprechenden Fahrzeugen im Straßenverkehr eingetreten ist.

Abbildung 18: Beschäftigungseffekte gegenüber der Referenz nach ausgewählten Berufsgruppen

Als Differenz zwischen betrachtetem Szenario und Referenzszenario, Berufsgruppen mit einem Effekt von mindestens 500 Beschäftigten, in Tausend Beschäftigten, 2030, 2035, 2040



Quelle: Eigene Berechnungen Prognos

© Prognos 2023

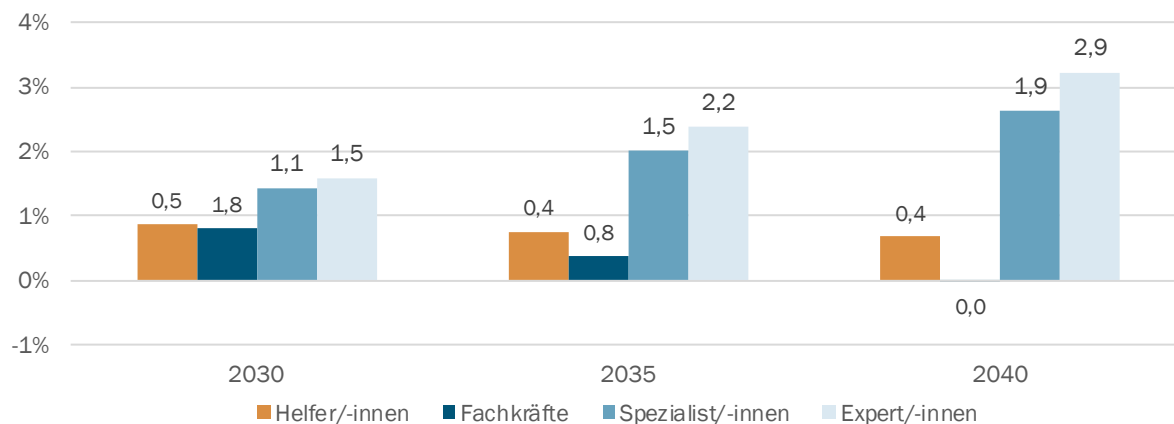
Der Bedarf an höher qualifizierten Personen nimmt gegenüber der Referenz deutlich zu

Der Nachfragezuwachs nach Berufsgruppen der IT und nach Ingenieursleistungen wirkt sich ebenfalls sichtbar auf die Nachfrage nach bestimmten Anforderungsniveaus aus. So werden 73 Prozent der in Bayern in der Berufsgruppe *Softwareentwicklung und Programmierung* Beschäftigten dem Anforderungsprofil *Expert/-in* zugeordnet, Hilfskräfte finden sich in der Berufsgruppe hingegen keine. Bei den übrigen Berufsgruppen mit direktem IT-Bezug handelt es sich ebenfalls größtenteils um Arbeitskräfte mit den Anforderungsprofilen *Spezialist/-in* oder *Expert/-in*. Gleiches gilt für die meisten der übrigen Berufsgruppen mit positiven Beschäftigungseffekten. Auch hier ist der Anteil an Helferinnen und Helfern sowie Fachkräften eher gering. Ausnahme bildet lediglich die Berufsgruppe *Maschinenbau- und Betriebstechnik*. Hier sind 70 Prozent der Beschäftigten Fachkräfte, der Anteil an Helferinnen und Helfern liegt bei 15 Prozent.

Entsprechend zeigen die über alle Berufsgruppen hinweg saldierten Ergebnisse, dass gegenüber dem Referenzszenario im Jahr 2040 insbesondere Expertinnen und Experten (+3,2 Prozent bzw. 2.900) sowie Spezialistinnen und Spezialisten (+2,6 Prozent bzw. 1.900) stärker nachgefragt werden (Abbildung 19). Bei den Fachkräften und Helferinnen und Helfern sind die Effekte hingegen vernachlässigbar gering bzw. im Falle der Fachkräfte sogar leicht negativ.

Abbildung 19: Beschäftigungseffekte gegenüber dem Referenzszenario nach Anforderungsprofil

In Prozent (Balkenlänge bzw. linke Achse) und in Tausend (Balkenbeschriftung) der Beschäftigten, 2030/2035/2040



Quelle: Eigene Berechnungen Prognos

© Prognos 2023

Bayerische Regionen mit bundesweit höchsten Beschäftigungsanteilen in den Bereichen Vernetzung und Automatisierung

Eine Studie von IW Consult und Fraunhofer IAO (BMW, 2021) zeigt, dass viele der in diesem Chancenfeld aktiven Unternehmen im Süden Deutschlands angesiedelt sind. Dabei sticht insbesondere das bayerische Ingolstadt hervor. Hier entwickelt Audi Komponenten für das vernetzte und autonome Fahren. Mit Beschäftigungsanteilen von rund 2,5 Prozent im Bereich Vernetzung und rund 3,4 Prozent im Bereich Automatisierung gehört Ingolstadt bundesweit zu den Top Regionen. Die einzige Stadt, die im Bereich der Automatisierung einen noch etwas höheren Anteil an Beschäftigten aufweisen kann, liegt ebenfalls in Bayern: In Lindau produziert der Geschäftsbereich Fahrerassistenzsysteme der Continental AG Kameras, Radar- und Lidarsensoren sowie Steuergeräte für das autonome Fahren. Der Beschäftigungsanteil liegt hier bei rund 3,5 Prozent. Aber auch in zahlreichen weiteren bayerischen Städten und Landkreisen liegt der Anteil der Beschäftigten im Bereich der Automatisierung deutlich über dem Bundesdurchschnitt. Dazu zählen u. a. die Landkreise Oberallgäu, Donau-Ries und Traunstein sowie die Stadt Regensburg. Letztere zwei zählen auch im Bereich des vernetzten Fahrens zu den Top drei Regionen in Bayern.



Gelingensbedingungen für vernetztes und autonomes Fahren: Forschung, Regulierung und die passende Infrastruktur

Die erfolgreiche Umsetzung der vernetzten Mobilität und des autonomen Fahrens erfordert eine Vielzahl von Voraussetzungen und Maßnahmen, damit diese Technologien effizient, sicher und nachhaltig eingesetzt werden können.

An erster Stelle stehen dabei hochqualifizierte Fachkräfte. Sie sind entscheidend, um die entsprechenden Technologien zu entwickeln, zu warten und sicherzustellen, dass sie den geltenden Vorschriften und Sicherheitsstandards entsprechen. Darüber hinaus muss ein rechtlicher Rahmen geschaffen werden, der den Betrieb autonomer

Fahrzeuge regelt. Klare Regelungen zur Haftung bei Unfällen, zum Datenschutz und zur Sicherheit von Insassen und anderen Verkehrsteilnehmern sind dabei unabdingbar.

Um die neuen Technologien umzusetzen, braucht es zudem eine gut ausgebaute Infrastruktur. Dazu gehören nicht nur gut instand gehaltene Straßen und Autobahnen, sondern auch die flächendeckende Bereitstellung leistungsfähiger Kommunikationsnetze, sei es 5G oder fortschrittlichere Technologien. Diese Netze sind entscheidend für die Vernetzung von Fahrzeugen sowie für die Gewährleistung einer schnellen und zuverlässigen Datenübertragung, die für das autonome Fahren unerlässlich ist. In diesem Zusammenhang spielen auch Forschungs- und Pilotprojekte sowie Testumgebungen eine wichtige Rolle (vgl. Anhang A2 für eine Übersicht ausgewählter Forschungsprojekte). Sie ermöglichen die praktische Erprobung und Validierung der Technologien in kontrollierten und realen Umgebungen, wodurch Herausforderungen erkannt und das Vertrauen in die Innovation gestärkt werden kann.

3.4 Szenario zum Chancenfeld Produktivitätsgewinne durch Industrie 4.0

Die Hypothese für das zugrundeliegende Chancenfeld lautet, dass die Umstellung der Produktionsprozesse in Richtung Industrie 4.0 zu deutlichen Produktivitätsgewinnen führt und gegenüber dem Referenzszenario insgesamt weniger Beschäftigte nachgefragt werden. Gleichwohl werden Beschäftigte mit bestimmten Qualifikationen auch verstärkt nachgefragt, was unter anderem auf IT-Fachkräfte zutrifft. Einfache Routinetätigkeiten, die oft von ungelernten Helferinnen und Helfern durchgeführt werden, verlieren aufgrund der verstärkten Automatisierung hingegen an Bedeutung.

3.4.1 Hintergrund und mögliche übergreifende Entwicklungen

Die Produktionsweise der Automobilindustrie befindet sich in der digitalen Transformation

Digitale Trends erfassen nicht nur das Fahrzeug, sondern auch die automobiler Fertigung. Die Einführung digitaler Technologien in der Produktion und die damit einhergehende Automatisierung repetitiver manueller Tätigkeiten werden dabei von der Elektrifizierung, der Vernetzung sowie der zunehmenden Individualisierung angetrieben (VDA, 2021; Fraunhofer IAO, 2020). Sie beeinflussen insbesondere die Flexibilität, Effizienz, Qualität und Kosten der Produktion und stellen damit einen zentralen Wettbewerbsfaktor für die Automobilindustrie dar. Um die bisweilen analogen Teile wie Maschinen oder auch Werkzeuge über digitale Plattformen zu vernetzen, werden sie sukzessiv mit Sensoren und Aktoren versehen. Eine Vielzahl an unterschiedlichen Technologien kommen dabei zum Einsatz, u. a. aus den Bereichen Mechanik, IKT, Elektronik, Sensorik, Optik, Mikrosystemtechnik und Nanotechnologie (vbw, 2019). Die damit einhergehende steigende Komplexität von Produktionssystemen erhöht die Kompetenzanforderungen auf nahezu allen Qualifikationsstufen.

In erster Linie konzentrieren sich die Entwicklungen auf die Automatisierung und die Einführung ressourceneffizienter Technologien in Prozessen, Geräten und Anwendungen. Dies beinhaltet

auch die intelligente Vernetzung und Digitalisierung von industriellen Produktionsabläufen und -prozessen im Kontext von Industrie 4.0 sowie additive Fertigungsverfahren. Im Wesentlichen ermöglichen beide Anwendungen erhebliche Einsparungen bei Kosten, Zeit und Ressourcen. Zwar werden durch die Automatisierung von Routine-Aufgaben im Produktionsprozess weniger Arbeitskräfte als zuvor benötigt. Dafür entstehen jedoch neue Aufgaben, um die direkte Kommunikation der Maschinen und Werkzeuge untereinander zu orchestrieren und zu optimieren. Damit steigt die Nachfrage nach digitalen Fachkenntnissen und spezifischen IT-Anwenderkenntnissen stark an.

Industrie 4.0 und additive Fertigungsverfahren bringen eine Reihe an Vorteilen mit sich

Eine Schlüsseltechnologie zur Umsetzung der Industrie 4.0 stellt das Internet der Dinge (englisch: Internet of Things, kurz: IoT) dar. Im IoT werden physische Objekte und Geräte über das Internet miteinander vernetzt. Dazu werden Gegenstände und Maschinen mit Sensoren, Aktuatoren und Kommunikationsfähigkeiten ausgestattet, die es ihnen ermöglichen, Daten zu sammeln, zu senden und zu empfangen. Somit werden im IoT kontinuierlich große Datenmengen generiert, die als „Big Data“ bezeichnet werden. Data Analytics, einschließlich Data Mining, Künstlicher Intelligenz und maschinellem Lernen, spielen eine entscheidende Rolle dabei, diese Daten zu verarbeiten und wertvolle Erkenntnisse zu gewinnen. Durch Data Analytics können Muster, Trends und Zusammenhänge in den IoT-Daten entdeckt werden. Dies ermöglicht u. a. eine Echtzeitüberwachung (Condition Monitoring) und eine vorausschauende Wartung (Predictive Maintenance) von Anlagen und Maschinen.

Das IoT ermöglicht darüber hinaus die Schaffung sogenannter „Digitaler Zwillinge“. Ein digitaler Zwilling ist eine virtuelle Repräsentation einer physischen Produktionsanlage, die es ermöglicht, den gesamten Lebenszyklus eines Produkts oder einer Anlage zu simulieren, zu überwachen und zu optimieren. Als digitale Schnittstelle für den digitalen Zwilling kann Virtual Reality (VR) fungieren. Der Einsatz von VR ermöglicht es, den digitalen Zwilling in einer immersiven und dreidimensionalen Umgebung zu erleben und damit zu interagieren. Erste Automobilhersteller haben auf Basis von VR in Kombination mit 3D-Gebäudescans und maschinellem Lernen bereits Fahrzeugmodelle ohne physische Prototypen geplant (Audi, 2020). Neben VR soll auch AR (Augmented Reality) dabei helfen, menschliche Fehler zu vermeiden und Instandhaltungen zu erleichtern.

Neben IoT-Anwendungen prägen auch autonome Technologien wie Roboter oder fahrerlose Transportsysteme (FTS) die automobilen Produktion zunehmend. So werden in Montage- und Fertigungslinien vermehrt kollaborierende Roboter, sogenannte Cobots, eingesetzt. Im Gegensatz zu Industrierobotern sind sie darauf ausgelegt, sicher und effizient mit Menschen zusammenzuarbeiten. Auch Exoskelette, tragbare Roboterstrukturen, die von Menschen getragen werden, sollen Arbeiterinnen und Arbeiter beispielsweise beim Heben schwerer Werkzeuge oder Komponenten unterstützen und somit die körperliche Belastung reduzieren. FTS spielen hingegen eine zentrale Rolle im Kontext Smart Logistics.

Die additive Fertigung an sich ist hingegen nichts Neues: bereits in den frühen 1980er Jahren wurden erste 3D-Druckversuche durchgeführt. Doch erst seit den 2010er Jahren findet die Technologie auch in der Praxis zunehmend Anwendung. Dies ist auf eine Reihe an Vorteilen zurückzuführen, die die additive Fertigung gegenüber klassischen Produktionsverfahren aufweist. Dazu zählen u. a. die Möglichkeit einer dezentralen und individualisierten Produktion, schnellere Reaktionszeiten sowie verkürzte Entwicklungszeiten. Darüber hinaus sinken Entwicklungs- und Produktionskosten und die Produktion wird durch Material- und Gewichtseinsparungen bei Bauteilen nachhaltiger (Plattform Industrie 4.0, 2020). Die Druckverfahren werden stetig weiterentwickelt, wodurch die Spannweite druckbarer Materialien wächst. Konnten anfangs lediglich Kunststoffe

mittels additiver Fertigung gedruckt werden, können heute auch Bauteile aus Metall oder Kunststoffen gedruckt werden. Zukünftig sollen sogar verschiedene Werkstoffe zu Multimaterial-Bauteilen mittels 3D-Druck kombiniert werden (Universität Paderborn, 2023).

Der 3D-Druck und die Industrie 4.0 ermöglichen Unternehmen aus der Automobilindustrie und aus anderen Branchen, neben einer Flexibilisierung und Individualisierung, zahlreiche Anknüpfungspunkte für innovative Geschäftsmodelle und Dienstleistungen. Start-ups und kleine sowie mittlere Unternehmen können von den vielfältigen Daten profitieren, die intelligente Produkte und Maschinen sammeln. Dadurch können neue Angebote entwickelt und Produktionsprozesse standortübergreifend optimiert werden. Zusätzlich fördert die Industrie 4.0 im Kontext der Automobilindustrie unternehmens- und branchenübergreifende Kooperationen und Netzwerke, ermöglicht Smart Services und die geteilte Nutzung von Produktionsmitteln (VDA, 2021).

Zahlreiche Technologien kommen in der automobilen Fertigung bereits zum Einsatz

Mit Blick auf die Digitalisierung der Produktion befindet sich die deutsche Industrie dank ihrer langjährigen Erfahrung in den Bereichen Industrieautomatisierung, Sensorsysteme und Mechatronik in einer vielversprechenden Ausgangsposition (IPE, 2020). Bei der Einführung digitaler Technologien in der Fertigung hat die Automobilindustrie eine Vorreiterrolle eingenommen und wird häufig zusammen mit der Halbleiterindustrie als führend angesehen, wenn es um die Implementierung dieser Technologien geht (Roland Berger, 2023). Die Covid-19-Pandemie hat die Notwendigkeit der digitalen Transformation in der Industrie noch einmal deutlich gemacht: Um unabhängiger zu globalen Lieferketten zu sein, ist es für die Automobilindustrie entscheidend, flexibel zu reagieren und Bauteile selbst dezentral fertigen zu können (MHP, 2023; Handelsblatt, 2020). Die zunehmende Vernetzung digitaler Fertigungsprozesse im Rahmen von Industrie 4.0 erleichtert es, an unterschiedlichen Orten zu produzieren. Weitere Treiber stellen die Dekarbonisierung der Wirtschaft, welche sich auf die Energieeffizienz der Produktion auswirkt, sowie die Globalisierung dar. Letztere erfordert von Automobilherstellern beispielsweise die Bedienung vieler bzw. großer Absatzmärkte und zugleich die Berücksichtigung länderspezifischer Vorgaben sowie individueller Präferenzen (vbw, 2019).

Viele Einzeltechnologien wie Predictive Maintenance, autonome FTS oder kognitive Assistenzsysteme sind bereits vielfach Stand der Technik (Fraunhofer IPT, 2019; MHP, 2023). Auch der 3D-Druck sowie digitale Prototypen kommen, insbesondere bei Automobilherstellern, vermehrt zum Einsatz (IPE, 2020). Eine zukünftig weitgehend selbstorganisierte und optimierte Produktion erfordert jedoch die Integration der verschiedenen Einzeltechnologien (Digitalisierung für Mittelfranken, 2021). So gibt es trotz der fortschrittlichen Position der deutschen Automobilindustrie noch Verbesserungspotenzial, insbesondere im IT-Bereich. Im weltweiten Vergleich ist der deutsche IT-Sektor eher schwach ausgeprägt, obwohl IT-Kompetenzen für den Erfolg von Industrie 4.0 von zentraler Bedeutung sind (MHP, 2023). Zu den notwendigen IT-Lösungen zählen Cloud-Lösungen, Big Data und IT-Sicherheit. Die Nachfrage nach IT-Fachkräften verschiedenster Art, darunter KI-, Software- und Elektronik-Expertinnen und -Experten steigt rapide (ETA, 2023). Weiteres Potenzial besteht ebenfalls in der Nutzung von Data Analytics, beispielsweise für das Monitoring von Emissionen. Dieses wird insbesondere bei kleinen Zulieferern oft noch nicht vollständig umgesetzt und könnte potenziell deren Berichtspflichten beeinträchtigen (Hans-Böckler-Stiftung, 2022). Die steigende Nachfrage nach IT-Lösungen lockt viele Neueinsteiger aus dem Tech-Bereich auf den Markt, die der Automobilbranche Konkurrenz machen (Proff, H. et al., 2021). Als Reaktion darauf bauen Automobilhersteller und vermehrt auch Zulieferunternehmen eigene IT-Kompetenzen auf oder gehen Kooperationen mit Start-Ups oder großen IT-System- und Cloud-Serviceanbietern ein (ETA, 2023; Hans-Böckler-Stiftung, 2022).

Obwohl die Automobilindustrie bereits von digitalen Technologien profitiert, ist die Entwicklung bisher sehr heterogen (Hans-Böckler-Stiftung, 2022). Zwar gibt es nicht nur bei Automobilherstellern, sondern auch bei Zulieferern Beispiele für die erfolgreiche Implementierung von Industrie 4.0-Technologien, allerdings liegen insbesondere kleinere Zulieferer häufig noch zurück (IPE, 2020). Der Grund: Die Digitalisierung erfordert hohe Investitionen, was insbesondere für kleine Zulieferer eine Herausforderung darstellt (Hans-Böckler-Stiftung, 2022). Denn neben dem Mangel an Fachkräften und internen Kompetenzen gestaltet sich die Nachrüstung bestehender Produktionsanlagen während des laufenden Betriebs häufig als sehr aufwendig (Hans-Böckler-Stiftung, 2022; IPE, 2020). Dagegen kann ein Neubau von Produktionshallen, die von Beginn an auf die Vernetzung der Anlagen ausgelegt sind, ein sogenanntes „Greenfield-Werk“, die Umsetzung deutlich erleichtern.

Auch Verwaltungstätigkeiten werden zunehmend digitalisiert

Die Digitalisierung automatisiert nicht nur manuelle und sich wiederholende Produktionsprozesse, sondern auch allgemeine Verwaltungs- und andere Bürotätigkeiten in Unternehmen. Dadurch können viele Aufgaben schneller und präziser erledigt werden. Das spart Zeit, entlastet Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und verringert zudem die Fehleranfälligkeit. Gleichzeitig bedeutet die zunehmende Digitalisierung von Abläufen aber auch, dass viele Arbeitsplätze überflüssig werden können.

Förderung und Etablierung von Industrie 4.0 und 3D-Druck in Bayern

Die Industrie 4.0 sowie die additive Fertigung spielen auch in Bayern eine zentrale Rolle. Eine aktuelle Studie analysiert den Industrie 4.0-Reifegrad nordbayerischer Unternehmen und zeigt, dass sich die Industrie 4.0 etabliert hat (IHK Nordbayern, 2023). So haben inzwischen mehr als die Hälfte der Unternehmen bereits erste Schritte zur Umsetzung von Industrie 4.0-Technologien unternommen. Während sich weniger als fünf Prozent der großen Unternehmen bisher noch nicht mit Industrie 4.0 befasst haben, fehlt insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen das Know-how um Digitalisierungspotenziale zu erkennen und umzusetzen (Automation Valley Nordbayern, 2021). Um die Diffusion der Technologien in der Automobilindustrie anzutreiben, wurde von der Bayerischen Staatsregierung im Rahmen der Hightech Agenda Bayern u. a. die Gründung eines Automobilfonds angekündigt (Bayerische Staatsregierung, 2019). Auch im Digitalplan Bayern spielen digitale Produktionstechnologien eine prominente Rolle (Bayerisches Staatsministerium für Digitales, 2023).

Neben der finanziellen Unterstützung, spielt auch der Aufbau von entsprechenden Kompetenzen eine wichtige Rolle für die erfolgreiche Umsetzung von Digitalisierungsvorhaben. Künftig werden von den Mitarbeitenden im Kontext Industrie 4.0 verstärkt interdisziplinäres Denken und Handeln sowie ein starkes Prozess-Know-how gefragt werden. Zudem werden auch Problemlösungs- und Optimierungskompetenzen zunehmend relevant (acatech, 2016). Um die Weiterbildung und Forschung rund um den 3D-Druck voranzutreiben, hat beispielsweise die BMW Group im Jahr 2020 ihren „Additive Manufacturing Campus“ in Oberschleißheim eröffnet. Hier sind sowohl die additive Fertigung von Prototypen- und Serienbauteilen als auch die Qualifizierung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern unter einem Dach gebündelt (BMW Group, 2020).

Zudem profitieren Industrie und Forschung in Bayern von einer breit aufgestellten Hochschullandschaft sowie der räumlichen Nähe zur Industrie. Im Freistaat sind mehrere Bachelor- und Masterstudiengängen ausschließlich der Produktionstechnik gewidmet, welche den Aufbau der benötigten Kompetenzen und Qualifikationen ermöglichen. Darüber hinaus bieten das Cluster „Mechatronik und Automation“, die Koordinierungsstelle „Additive Fertigung“ sowie das Zentrum

„Digitalisierung, Bayern“ Unternehmen die Möglichkeit, sich untereinander zu vernetzen.²³ Eine Übersicht ausgewählter Forschungsaktivitäten in Bayern im Chancenfeld Produktivitätsgewinne durch Industrie 4.0 findet sich im Anhang A3.

3.4.2 Hypothese: Auswirkungen auf Teilbranchen und relevante Berufe der Automobilindustrie

Hypothese: Insbesondere Produktionsberufe sind aufgrund des hohen Automatisierungspotenzials von Beschäftigungsrückgängen betroffen

Zahlreiche einfache, routinebasierte Tätigkeiten werden durch die zunehmende Digitalisierung und Automatisierung der Produktion überflüssig. Dies ist das Ergebnis zahlreicher Studien, die die Auswirkungen digitaler Technologien auf die Beschäftigung untersuchen (BMFSFJ, 2022; IAB, 2016). So wird das Automatisierungspotenzial bei Produktionsberufen für etwa jede zweite Tätigkeit als hoch eingestuft, bei Fertigungsberufen liegt der Anteil sogar bei über 80 Prozent (BMFSFJ, 2022).

Gleichzeitig steigt im Zuge der Digitalisierung in Bereichen wie der IT die Nachfrage nach Fachkräften stark an, wobei Expertinnen und Experten in den Bereichen Software, Elektronik und Künstlicher Intelligenz besonders gefragt sind (ETA, 2023; IAB, 2016). Betrachtet man also den Effekt der digitalen Transformation auf die Gesamtbeschäftigung, erwarten zahlreiche Studien vielmehr eine Verschiebung als einen Rückgang der Arbeitskräftenachfrage (BMFSFJ, 2022; ZEW, 2016; OECD, 2016). Geringqualifizierte werden dabei die Hauptlast der Anpassungskosten tragen, während ein Trend hin zur Höherqualifizierung zu beobachten ist (OECD, 2016). So prognostiziert auch das Fraunhofer IAO (2018) positive Beschäftigungseffekte in den Bereichen technische Entwicklung, IT sowie Vertrieb und Marketing und nur sehr geringe Effekte in den Bereichen Beschaffung, Finanzen und Personal. Trotz des Beschäftigungsabbaus, insbesondere in der Industrie bzw. Produktion, bekräftigen viele der Studien, dass der Mensch trotz des zunehmenden Einsatzes von automatisierten Prozessen auch zukünftig ein integraler, unabdingbarer Bestandteil der Produktion bleiben wird (Fraunhofer). Denn: Automatisierung bedeutet nicht immer den Ersatz von Beschäftigten, sondern auch die Unterstützung des Menschen durch Maschinen.

Bzgl. der konkreten Auswirkungen der zunehmend automatisierten Produktion auf die Automobilindustrie rechnet Agora (2021) bis zum Jahr 2030 gleichwohl mit deutlichen Produktivitätssteigerungen. Diese fallen bei jüngeren Branchen wie der Batterieherstellung mit drei bis fünf Prozent jährlich höher aus als bei Automobilherstellern mit Steigerungen von durchschnittlich ein bis zwei Prozent pro Jahr. Durch die Automatisierung und Digitalisierung sinkt der Arbeitsaufwand pro Fahrzeug. In diesem Zuge erwarten die Expertinnen und Experten von Agora (2021) bei Automobilherstellern einen Rückgang der Arbeitskräftenachfrage in Höhe von 41.000 Jobs. Auch bei Zulieferunternehmen werden Rückgänge erwartet: bei antriebsstrangabhängigen in Höhe von 17.000 und bei antriebsstrangunabhängigen Zulieferern in Höhe von 34.000. Der Anlagenbau und Dienstleistungen sind ebenfalls betroffen. Hier wird ein Rückgang von 6.000 Arbeitskräften erwartet.

Auch das Fraunhofer IAO (2020) untersucht in einer Studie u.a. die Auswirkungen der Digitalisierung auf die Beschäftigung bei Volkswagen. Die Autoren erwarten im Zuge der digitalen Transformation ebenfalls Beschäftigungsrückgänge in der Produktion. Diese fallen bei operativen Beschäftigten in der Produktion bis zu 20 Prozent am höchsten aus. Doch auch in der operativen

²³ vgl. Bayern Innovativ. Link: <https://www.bayern-innovativ.de/de/seite/netzwerke-thinknet-bayern> (online, abgerufen am 07.08.2023)

Logistik und in der Anlagenbedienung rechnet das Fraunhofer IAO mit Rückgängen von zehn bzw. fünf Prozent.

Aufgrund der Steigerungen der Arbeitsproduktivität, die bei einer erfolgreichen Umsetzung des Chancenfeldes einhergehen, ist demnach mit einem sinkenden Bedarf an Arbeitskräften je produziertem Fahrzeug zu rechnen. Dies gilt sowohl für die Kernautomobilindustrie selbst, den Autoren der Studie Agora (2021) zufolge aber auch für antriebsstrangabhängige und -unabhängige Zulieferer sowie insbesondere für diejenigen vor- und nachgelagerten Branchen, bei denen die Produktionstechnologien noch vergleichsweise jung sind und entsprechende Effizienzpotenziale bieten (Batterieherstellung, Recycling). Analog zu den bereits betrachteten Chancenfeldern wird in nachstehender Tabelle 10 überblicksartig für jede als besonders relevant erachtete Teilbranche die erwartete Wirkungsrichtung auf die Beschäftigungsentwicklungen dargestellt. Ebenfalls wird erneut aufgezeigt, in welcher Höhe die absoluten Beschäftigungseffekte je Prozentpunkt Veränderung gegenüber dem aktuellen Stand des Jahres 2022 in Bayern ausfallen.

Tabelle 10: Für das Chancenfeld Produktivitätsgewinne durch Industrie 4.0 sind fünf Teilbranchen besonders relevant

Relevante Teilbranchen, Wirkungsrichtung und absoluter Beschäftigungseffekt je Veränderung um 1 % ggü. 2022

Relevante Teilbranchen		Wirkungsrichtung	Effekt je Veränderung um 1 % (Personen)
Kernautomobilindustrie	WZ 291 Herstellung Kraftwagen, Kraftwagenmotoren	Negativ	1.332
	WZ 292 Herstellung Karosserie, Aufbauten, Anhänger	Negativ	93
	WZ 293 Herstellung Teile, Zubehör für Kraftwagen	Negativ	1.072
Vorgelagert	WZ 272 Herstellung Batterien und Akkumulatoren*	Negativ	27
	WZ 2811 Verbrennungsmotoren und Turbinen*	Negativ	89
	WZ 2813 Herstellung Pumpen, Kompressoren a. n. g.*	Negativ	96
	WZ 2815 Lager, Getriebe, Zahnräder und Antriebselemente*	Negativ	280
Nachgelagert	WZ 38 Sammlung, Behandlung, Beseitigung Abfälle; Rückgewinnung*	Negativ	71

* Bei diesen Teilbranchen handelt es sich bei den für Bayern ausgewiesenen Beschäftigungseffekten je Prozent um eigene Schätzungen. Grund hierfür ist, dass in der zugrundeliegenden Statistik der Bundesagentur für Arbeit auf Bundesland-Ebene lediglich Daten für die übergeordnete Berufshauptgruppe vorliegen.

Quelle: Prognos

© Prognos AG, 2023

3.4.3 Konkrete Annahmen zur Berechnung des Szenarios

Produktivitätsfortschritte führen in allen Teilbranchen zu abnehmenden Arbeitskräftebedarfen

Um die im vorigen Abschnitt dargestellten Wirkungsrichtungen (positiv, konstant, negativ) der Beschäftigungseffekte für die bayerische Automobilindustrie zu konkretisieren, werden die in der

Studie von Agora (2021) unterstellten und nach Teilindustrien differenzierten Produktivitätssteigerungen bis 2030 ebenfalls auf Bayern übertragen (vgl. Agora 2021, S.11). Dabei wird berücksichtigt, dass bereits im Referenzszenario leichte Produktivitätsgewinne unterstellt werden, sodass der hier unterstellte, zusätzliche Produktivitätszuwachs nicht ganz so hoch ausfällt wie in der Studie von Agora. Gleichwohl führen die unterstellten Produktivitätsgewinne in jeder der betrachteten Teilbranchen zu einem gegenüber dem Referenzszenario negativen Beschäftigungseffekt. Die konkret getroffenen Annahmen sind in nachstehender Tabelle dargestellt.

Tabelle 11: Annahmen zu den Beschäftigungseffekten je Teilbranche im Chancefeld Produktivitätsgewinne durch Industrie 4.0

Resultierender Beschäftigungseffekt im Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 2022, in Prozent, nach Teilbranchen

Teilbranchen und getroffene Annahmen gemäß Quellen		Resultierender Beschäftigungseffekt bis 2030	
Kernautomobilindustrie	Wir unterstellen im Szenario, dass durch die Industrie 4.0 in der Kernautomobilindustrie ein gegenüber dem Referenzszenario zusätzlicher Produktivitätszuwachs von jährlich etwa 0,75 % erzielt werden kann. Bis zum Jahr 2030 geht der Arbeitskräftebedarf gegenüber dem Referenzszenario entsprechend um 6 % zurück.	291 Kraftwagen und Kraftwagenmotoren	-6,0%
		292 Karosserien, Aufbauten, Anhänger	-6,0%
		293 Teile und Zubehör für Kraftwagen	-6,0%
Vorgelegt	Für die vorgelagerte Branche der Batterieproduktion unterstellen wir analog zu den Annahmen der Agora-Studie einen höheren Produktivitätszuwachs als bei den Automobilherstellern. Grund hierfür ist, dass es sich um eine noch junge Industrie mit viel Effizienzpotenzial handelt (Agora 2021). Entsprechend unterstellen wir hier zusätzliche Produktivitätsgewinne von 2 % je Jahr, was bis 2030 einem Rückgang der Arbeitskräftenachfrage von 16 % entspricht. Bei den weiteren vorgelagerten Branchen unterstellen wir analog zur Kernautomobilindustrie, dass der Arbeitskräftebedarf gegenüber dem Referenzszenario bis 2030 um 6 % sinkt.	272 Herstellung Batterien und Akkumulatoren	-16,0%
		WZ 2811 Verbrennungsmotoren und Turbinen	-6,0%
		WZ 2813 Herstellung Pumpen, Kompressoren a. n. g	-6,0%
		WZ 2815 Lager, Getriebe, Zahnräder und Antriebselemente	-6,0%
Nachgelagert	Für die nachgelagerte Branche des Recyclings gehen wir auf Basis der Agora-Studie ebenfalls von einem höheren Produktivitätszuwachs als bei den Automobilherstellern aus. Grund ist erneut das Vorhandensein einer jungen Industrie mit hohen Effizienzpotenzialen (Agora 2021). Entsprechend unterstellen wir ebenfalls hier zusätzliche Produktivitätsgewinne von 2 % je Jahr, bzw. 16 Prozent bis 2030.	383 Rückgewinnung	-16,0%

Quelle: Prognos

© Prognos AG, 2023

Fertigungs(technische) Berufe und automatisierbare Verwaltungsberufe verlieren anteilig

Auf Ebene der Berufe werden im Rahmen der Szenariorechnung konkrete Annahmen zu zwei Aspekten getroffen. Der erste Aspekt umfasst die branchenspezifischen Produktionsabläufe in der Fertigung, wie beispielsweise technische Veränderungen der Produktionsanlagen und Fertigungsstraßen. Der zweite Aspekt bezieht sich hingegen auf Digitalisierungsgewinne, die

branchenübergreifend zutage treten werden und insbesondere die Abläufe in der „Büroarbeit“, also der Verwaltung und Steuerung eines Unternehmens betreffen.

Bei den branchenspezifischen Produktionsabläufen unterstellen wir, dass klassische Fertigungsberufe negativ betroffen sind und Anteilsverluste von jährlich einem Prozent erfahren. Hierzu gehören beispielsweise die Berufsgruppen *Metallerzeugung, Metallbearbeitung, Metalloberflächenbehandlung, Metallbau und Schweißtechnik* sowie die *Feinwerk- und Werkzeugtechnik*. Bezüglich der genannten Tätigkeiten, bei denen (branchenübergreifend) aufgrund der Digitalisierung mit Produktivitätsgewinnen zu rechnen ist, unterstellen wir ebenfalls anteilige Verluste von jährlich zwischen 0,5 und einem Prozent. Hierzu zählen beispielsweise Berufsgruppen wie *Büro- und Sekretariatsarbeiten, Rechnungswesen, Controlling, Revision* aber auch *Versicherungs- und Finanzdienstleistungen*.

Diesen Berufsgruppen mit Anteilsverlusten stehen ebenfalls Berufsgruppen mit Anteilsgewinnen gegenüber. Hier gehen wir im Szenario davon aus, dass Berufsgruppen mit konkretem IT-Bezug anteilig stark an Bedeutung gewinnen werden. In nachstehender Tabelle sind die konkreten Annahmen zusammengefasst.

Tabelle 12: Berufsgruppen aus dem IT-Bereich werden stärker nachgefragt

Berufsgruppen mit Anteilsgewinnen und Anteilsverlusten und unterstellter jährlicher Anteilsveränderung in Prozent

Berufsgruppen mit Anteilsgewinnen		Berufsgruppen mit Anteilsverlusten	
431 Informatik	2,0%	241 Metallerzeugung	-1,0%
432 IT-Systemanalyse, Anwenderber, IT-Vertrieb	2,0%	242 Metallbearbeitung	-1,0%
433 IT-Netzwerk, -Koord., -Administr., -Orga.	2,0%	243 Metalloberflächenbehandlung	-1,0%
434 Softwareentwicklung und Programmierung	2,0%	244 Metallbau und Schweißtechnik	-1,0%
		245 Feinwerk- und Werkzeugtechnik	-1,0%
		714 Büro und Sekretariat	-1,0%
		715 Personalwesen und -dienstleistung	-0,5%
		721 Versicherungs- u. Finanzdienstleistungen	-0,5%
		722 Rechnungswesen, Controlling, Revision	-1,0%
		723 Steuerberatung	-0,5%
		731 Rechtsberatung, -sprechung und -ordnung	-1,0%
		732 Verwaltung	-1,0%

Quelle: Prognos

© Prognos AG, 2023

Die Qualifikationsanforderungen resultieren aus der veränderten Nachfrage nach Berufen

Bezüglich der Entwicklung des Anteils an *Helfern, Fachkräften, Spezialistinnen und Spezialisten* sowie *Expertinnen und Experten* gehen wir aufgrund der Erkenntnisse der Literaturrecherche davon aus, dass die Nachfrage nach (ungelernten) Hilfskräften sinken und eine Verschiebung hin zu höher qualifizierten Fachkräften stattfinden wird. Im Szenario unterstellen wir daher für alle

Berufsgruppen, dass die aktuell beobachteten, berufsspezifischen Anteile der Nachfrage an Helferinnen und Helfern jährlich um ein Prozent rückläufig sind. Die Anteile nach Arbeitskräften in den übrigen Anforderungsprofilen steigen entsprechend an.

3.4.4 Szenariorechnung: Beschäftigungseffekte gegenüber dem Referenzszenario

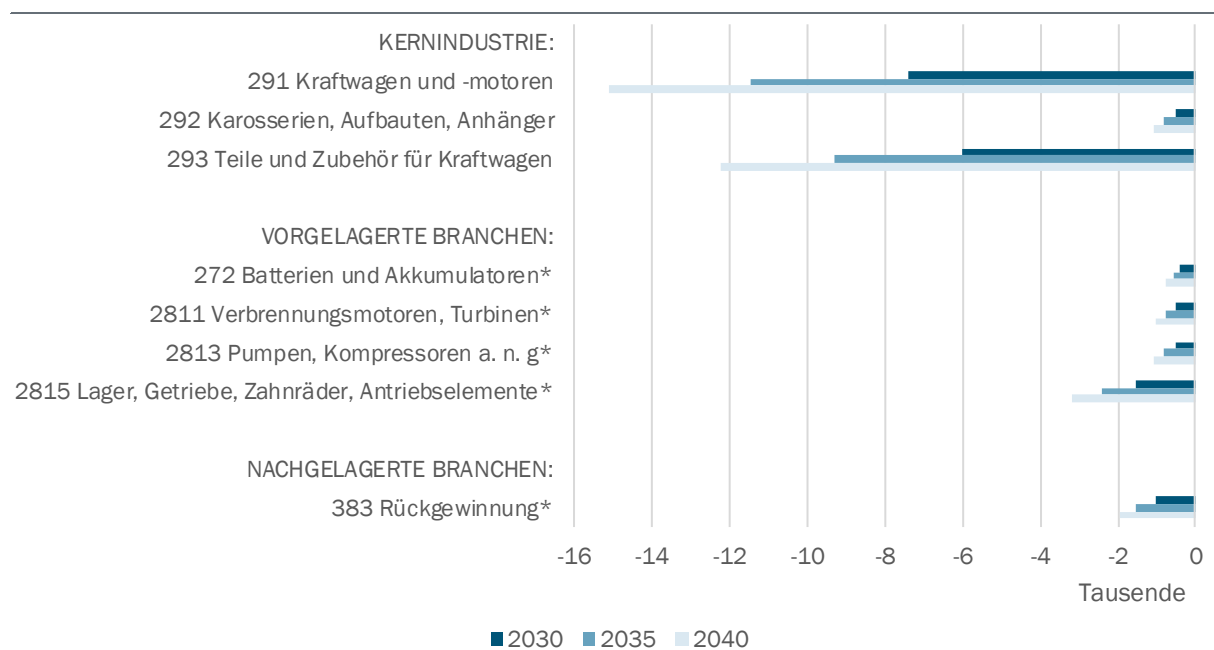
Können die Produktivitätspotenziale des Chancenfelds Produktivitätsgewinne durch Industrie 4.0 gehoben werden und treffen die im Szenario gesetzten Annahmen ein, führt dies im Jahr 2040 gegenüber der Referenz zu einer Reduktion des Arbeitskräftebedarfs um 36.500 Arbeitsplätze.

In den betrachteten vor- und nachgelagerten Branchen sind die absoluten Effekte gering

Der Großteil der Beschäftigungseffekte entfällt mit 28.500 Arbeitsplätzen auf die Kernautomobilindustrie (Abbildung 20). Vor dem Hintergrund, dass die unterstellten Produktivitätssteigerungen in den vor- und nachgelagerten Branchen der Batteriefertigung und dem Recycling deutlich höher ausfallen als in der Kernautomobilindustrie, ist das zunächst überraschend. Der Grund hierfür liegt in der im Vergleich zur Kernautomobilindustrie geringen absoluten Arbeitskräftenachfrage in diesen beiden Branchen. Obwohl die prozentuale Abweichung gegenüber dem Referenzszenario hier höher ausfällt als in der Kernautomobilindustrie, ist der absolute Effekt entsprechend deutlich geringer. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund, dass hier der isolierte Effekt des Chancenfeldes gegenüber dem Referenzszenario betrachtet wird und die Arbeitskräftenachfrage sowohl im Recycling als auch in der Batteriefertigung im Referenzszenario deutlich unterhalb des Szenarios für das Chancenfeld Elektrifizierung liegt.

Abbildung 20: Beschäftigungseffekte gegenüber dem Referenzszenario in den betrachteten Branchen

In Tausend Beschäftigten, 2022 bis 2040



* Für diese Branchen wurde die Anzahl der in Bayern Beschäftigten für das Jahr 2022 geschätzt. Für die Schätzung wurde der gleiche Anteil der Beschäftigten an der jeweils übergeordneten WZ-Klassifikation angenommen wie für Deutschland.

Quelle: Eigene Berechnungen Prognos

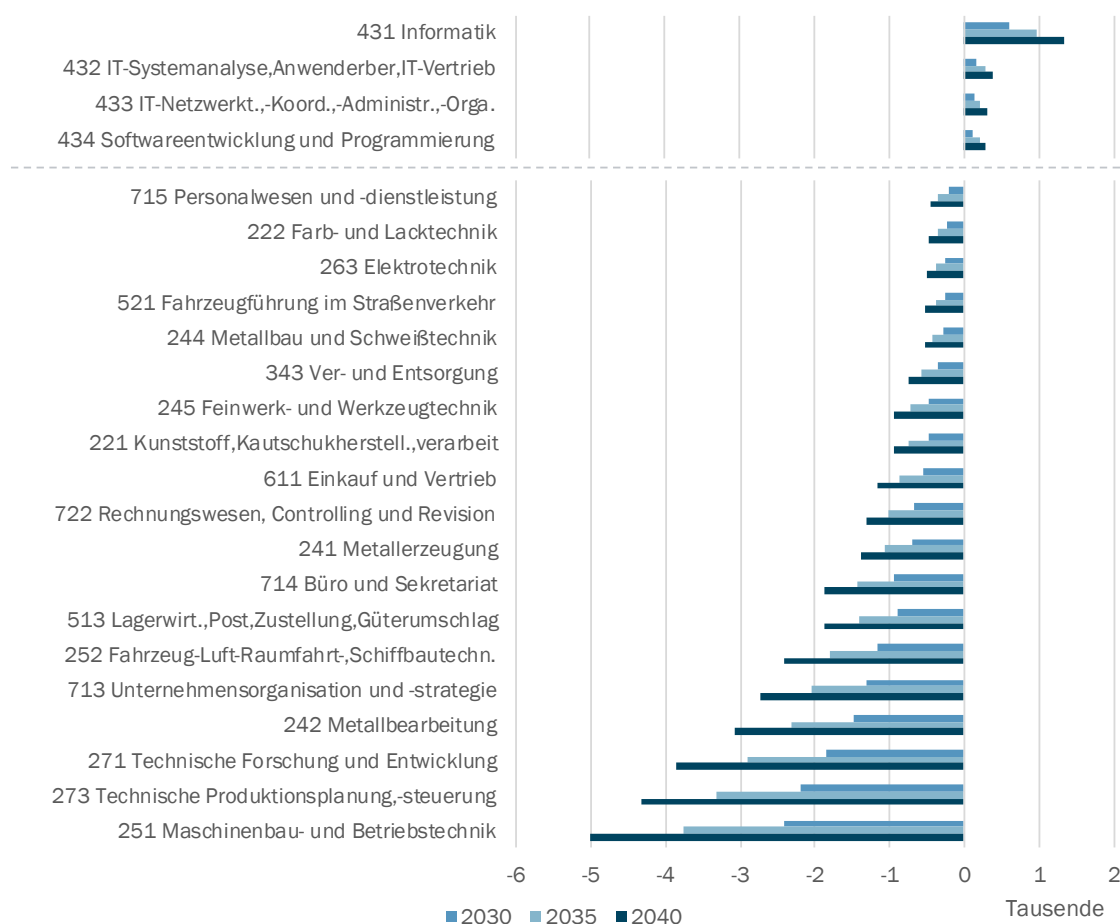
© Prognos 2023

Außer in den IT-Berufen fallen die berufsspezifischen Beschäftigungseffekte negativ aus

Entsprechend der gesetzten Annahmen ergeben sich positive Beschäftigungseffekte gegenüber der Referenz lediglich für die Berufsgruppen mit konkretem IT-Bezug (Abbildung 21). Insgesamt belaufen sich diese positiven Effekte im Jahr 2040 auf etwa 2.300 Arbeitsplätze, davon entfallen 1.300 auf die *Informatik*. In den übrigen Berufsgruppen sind die Beschäftigungseffekte entweder konstant oder negativ.

Abbildung 21: Beschäftigungseffekte gegenüber der Referenz nach ausgewählten Berufsgruppen

Als Differenz zwischen betrachtetem Szenario und Referenzszenario, Berufsgruppen mit einem Effekt von mindestens 500 Beschäftigten, in Tausend Beschäftigten, 2030, 2035, 2040



Quelle: Eigene Berechnungen Prognos

© Prognos 2023

Zu den Berufsgruppen mit den absolut betrachtet größten negativen Effekten gehören neben den in den Annahmen bereits dargestellten klassischen Fertigungsberufen auch Berufsgruppen wie die *Maschinenbau- und Betriebstechnik* oder die *Technische Produktionsplanung und -steuerung*. Grund für diese absolut betrachtet hohen Effekte von etwa 5.000 bzw. 4.300 Arbeitsplätzen ist insbesondere, dass es sich hierbei auch um die absolut betrachtet häufigsten Berufsgruppen der Kernautomobilindustrie handelt. Auch wenn die prozentuale Abweichung der Beschäftigungsnachfrage gegenüber der Referenz geringer ausfällt als bei den klassischen

Fertigungsberufen, entsteht aufgrund der insgesamt hohen Nachfrage nach Arbeitskräften dieser Berufsgruppen dennoch ein absolut betrachtet höherer Beschäftigungseffekt.

Die nach Anforderungsprofilen betrachteten Beschäftigungseffekte sind durchgehend negativ

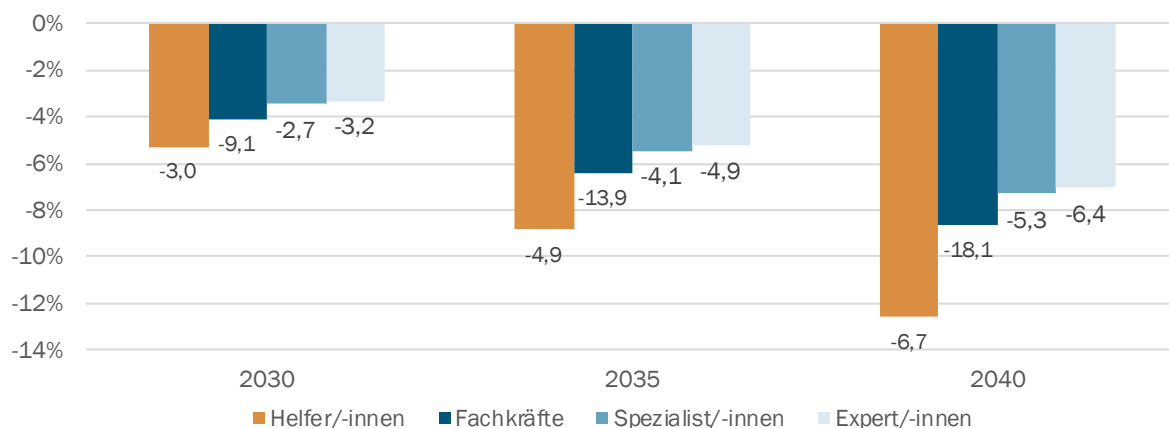
Die Auswertung der Beschäftigungseffekte auf Ebene von Berufsgruppen hat gezeigt, dass abgesehen von minimalen positiven Effekten in den IT-Berufen die zukünftige Nachfrage im Chancensfeld durchgängig geringer ausfällt als im Referenzszenario. Da sich die Nachfrage nach bestimmten Anforderungsprofilen primär als Saldo der Entwicklung der einzelnen Berufsgruppen ergibt, fallen die Beschäftigungseffekte auch in keinem der Anforderungsprofile positiv aus – auch unter der gesetzten Annahme, dass die Anteile an Helfertätigkeiten zukünftig rückläufig sind.

Der relativ betrachtet größte negative Effekt entfällt im Jahr 2040 mit einem Rückgang von 13 Prozent gegenüber des Referenzszenarios auf die Helferinnen und Helfer (Abbildung 22). Bei den Fachkräften fällt der relative Beschäftigungsrückgang gegenüber des Referenzszenarios mit 9 Prozent ebenfalls sehr deutlich aus. Auch bei den beiden übrigen Anforderungsprofilen ist die negative Abweichung mit jeweils etwa 7 Prozent eher hoch.

In absoluten Zahlen betrachtet zeigen sich die größten negativen Effekte mit 18.100 Arbeitsplätzen im Jahr 2040 bei den Fachkräften. Grund hierfür ist, dass die meisten Beschäftigten der Berufsgruppen mit hohen negativen Effekten über dieses Anforderungsprofil verfügen. Das gilt beispielsweise für die Berufsgruppe *Maschinenbau- und Betriebstechnik*. In den anderen Anforderungsprofilen liegt die Nachfrage nach entsprechenden Arbeitskräften im Jahr 2040 um jeweils etwa 5.300 bis 6.700 Personen unterhalb der Referenz.

Abbildung 22: Beschäftigungseffekte gegenüber dem Referenzszenario nach Anforderungsprofil

In Prozent (Balkenlänge bzw. linke Achse) und in Tausend (Balkenbeschriftung) der Beschäftigten, 2030/2035/2040



Quelle: Eigene Berechnungen Prognos

© Prognos 2023

Beschäftigungseffekte konzentrieren sich auf OEM-Standorte

Es ist zu erwarten, dass die rückläufigen Beschäftigungseffekte, die auf Produktivitätsgewinne durch die Industrie 4.0 zurückzuführen sind, insbesondere in Regionen zu spüren sind, in denen einer der acht großen in Deutschland produzierenden Hersteller präsent ist. Die Hersteller ziehen zudem oftmals Zulieferunternehmen an ihre Standorte, was die Effekte noch weiter verstärken

kann. In Bayern liegen die großen Werke in Ingolstadt, Dingolfing-Landau, Regensburg, Landshut sowie München. Einer Analyse von IW Consult und Fraunhofer IAO (BMW, 2021) zufolge, erreichen Ingolstadt und der LK Dingolfing-Landau mit 46,7 bzw. 43,7 Prozent nach Wolfsburg (47,3 Prozent) die bundesweit höchsten Beschäftigungsanteile in der produktionsnahen Automobilwirtschaft. Dementsprechend wird auf diese Regionen voraussichtlich auch ein großer Anteil der ausgewiesenen Beschäftigungseffekte entfallen.

i

Erfolgsfaktoren für Produktivitätsgewinne durch Industrie 4.0 in der Automobilindustrie: Innovation, Qualifikation und Rechtsrahmen

Die erfolgreiche Umsetzung der Industrie 4.0 in der bayerischen Automobilindustrie ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Von besonderer Bedeutung ist eine offene und innovative Unternehmenskultur. Die Unternehmen der Branche müssen bereit sein in die Erforschung neuer Technologien zu investieren, diese zu implementieren und kontinuierlich zu verbessern. Die erfolgreiche Umsetzung innovativer Technologien erfordert entsprechend qualifizierte Fachkräfte, insbesondere in relevanten Bereichen wie Datenanalyse, künstliche Intelligenz, Robotik und IoT.

Darüber hinaus ist die Bereitstellung einer leistungsfähigen IT-Infrastruktur, die die Verarbeitung großer Datenmengen ermöglicht und gleichzeitig sicher ist, unerlässlich. Die erhobenen und verarbeiteten Daten müssen gemäß den gesetzlichen und regulatorischen Anforderungen gespeichert werden, um den Datenschutz zu gewährleisten, insbesondere wenn es sich um personenbezogene Daten handelt.

Um den Zugang zu den neuesten Technologien und den Wissenstransfer zu erleichtern, können Partnerschaften oder Kooperationen mit Unternehmen der IT-Branche, Forschungseinrichtungen oder auch Zulieferern vorteilhaft sein.

4 Gemeinsame Betrachtung der Hypothesen und Szenarien

In Kürze:

Im vorangegangenen Kapitel wurden die Beschäftigungseffekte der für die einzelnen Chancenfelder relevanten Branchen isoliert dargestellt. In Summe resultiert bei gemeinsamer Betrachtung ein negativer Gesamteffekt in Höhe von 57.000 Arbeitsplätzen, die in Bayern bis 2040 gegenüber dem kontrafaktischen Referenzszenario im gleichen Jahr weniger nachgefragt werden. Der Großteil entfällt dabei auf die Kernautomobilindustrie. Auf Ebene der Berufsgruppen sinkt die Arbeitskräftenachfrage insbesondere in fertigungsnahen Berufen, während Beschäftigte aus dem IT-Bereich zukünftig verstärkt nachgefragt werden. Auch höher qualifizierte Arbeitskräfte gewinnen in allen Szenarien an Bedeutung.

Gleichzeitig sinkt das Arbeitskräfteangebot in Bayern aufgrund des Rückgangs der Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter bis 2040 um etwa 400.000 Personen. Eine Verringerung der Arbeitskräftenachfrage muss für Bayern daher keine problematische Entwicklung sein. Vielmehr können dadurch in einigen Berufsgruppen potenzielle Arbeitskräfteengpässe abgemildert werden. Geeignete Weiterbildungs- und Qualifizierungsmaßnahmen gewinnen gleichwohl an Bedeutung.

4.1 Insgesamt resultierende Beschäftigungseffekte

In den vorigen Abschnitten 3.2 bis 3.4 wurden mögliche Beschäftigungseffekte der einzelnen Chancenfelder isoliert betrachtet. Dabei hat sich erstens gezeigt, dass von den jeweils unterstellten Entwicklungen oft die gleichen Berufsgruppen besonders betroffen sind, wie beispielsweise im Fall der *Maschinenbau- und Betriebstechnik* oder der *Softwareentwicklung und Programmierung*. Zweitens wurde deutlich, dass sich die Wirkungsrichtung der Beschäftigungseffekte für eine bestimmte Berufsgruppe durchaus zwischen den einzelnen Chancenfeldern sowie zwischen den einzelnen Teilbranchen unterscheiden kann. Vor diesem Hintergrund bietet eine gemeinsame Betrachtung der resultierenden Beschäftigungseffekte über alle Chancenfelder hinweg einen deutlichen Mehrwert. So lässt sich näherungsweise feststellen, in welchen Berufsgruppen aufgrund der Szenariorechnungen in Summe mit positiven und negativen Beschäftigungseffekten gerechnet werden muss.²⁴

In Summe werden im Jahr 2040 57.000 Arbeitsplätze weniger nachgefragt als in der Referenz

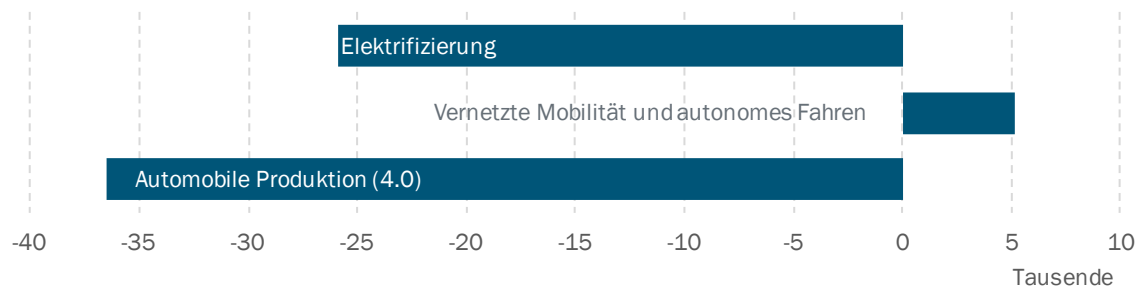
Werden die Beschäftigungseffekte der einzelnen Chancenfelder saldiert, resultiert für das Jahr 2040 gegenüber dem kontrafaktischen Referenzszenario ein negativer Effekt in Höhe von 57.000 Arbeitsplätzen. Auf das Chancenfeld Produktivitätsgewinne durch Industrie 4.0 entfallen mit minus 36.000 Arbeitsplätzen dabei die größten Effekte, das Chancenfeld Elektrifizierung liegt mit minus 26.000 Arbeitsplätzen in einem ähnlichen Bereich (Abbildung 23). Im Chancenfeld

²⁴ Bei der Interpretation der Ergebnisse gilt es zu beachten, dass die Saldierung der isoliert betrachteten Effekte vernachlässigt, dass sich diese Einzelentwicklungen in der Realität gegenseitig beeinflussen. Da das Erkenntnisinteresse in der vorliegenden Studie allerdings primär auf den isoliert betrachteten Effekten liegt, wurde von einer simultanen Abschätzung der Effekte abgesehen.

Vernetzte Mobilität weisen die Ergebnisse hingegen leicht positive Beschäftigungseffekte in Höhe von 5.000 Arbeitsplätzen auf.

Abbildung 23: Gesamte Beschäftigungseffekte gegenüber dem Referenzszenario je Chancenfeld

In Tausend Beschäftigten, 2040



Quelle: Eigene Berechnungen Prognos

© Prognos 2023

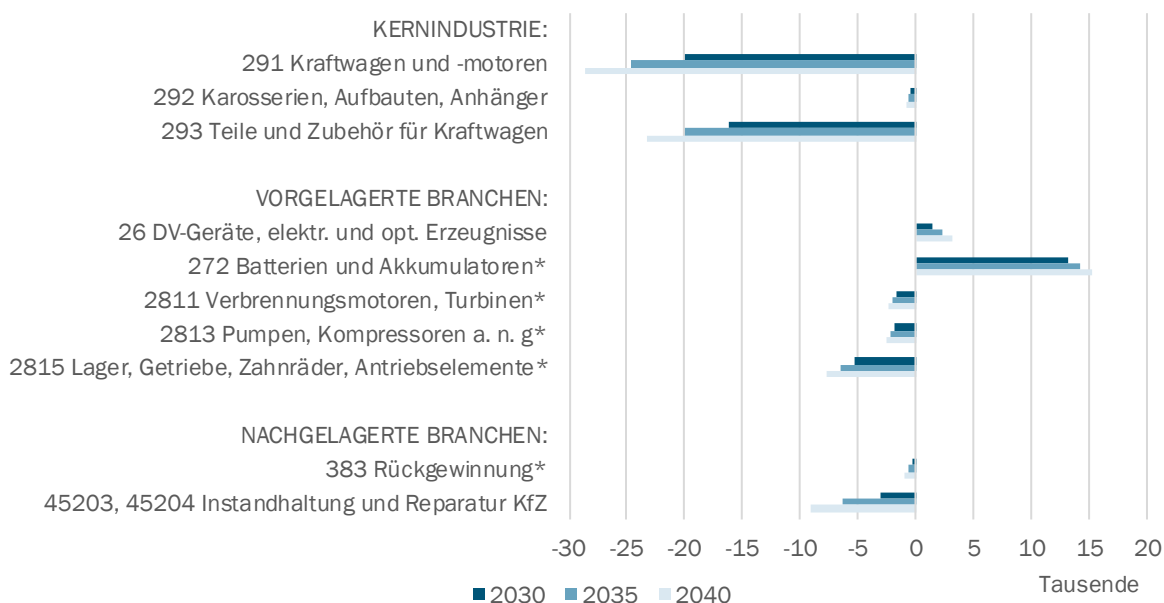
In Abschnitt 3.1.2 wurde gezeigt, dass im kontrafaktischen Referenzszenario die Nachfrage nach Arbeitskräften im Jahr 2040 um etwa 49.000 Personen geringer sein wird als im Jahr 2022. Da bei Realisierung der Chancenfelder im Jahr 2040 ein zusätzlicher Beschäftigungseffekt von minus 57.000 Arbeitsplätzen gegenüber der Referenz entsteht, wird die Nachfrage im Jahr 2040 dann um insgesamt etwa 106.000 Arbeitskräfte geringer sein als heute. Bezogen auf die insgesamt 475.000 in den betrachteten Branchen Beschäftigten entspricht dies einem rechnerischen Rückgang von etwa 22 Prozent und damit gut jedem fünften Arbeitsplatz.

Der Großteil der negativen Effekte entsteht in der Kernautomobilindustrie

Nachstehende Abbildung 24 macht deutlich, dass der Großteil der in absoluten Zahlen gemessenen negativen Beschäftigungseffekte auf die Kernautomobilindustrie entfällt. Hier beläuft sich der negative Effekt im Jahr 2040 auf knapp 53.000 Arbeitsplätze. Bezogen auf die heutige Beschäftigungssituation bedeutet dies ebenfalls einen Rückgang. So wird bereits im kontrafaktischen Referenzszenario mit eingefrorenem Technologiemix die Beschäftigung in der Kernautomobilindustrie im Jahr 2040 um 26.000 Arbeitsplätze geringer sein als im Jahr 2022. Bei zusätzlicher Berücksichtigung der genannten Effekte durch die Realisierung der Chancenfelder hat dies entsprechend zur Folge, dass im Jahr 2040 insgesamt etwa 79.000 Arbeitskräfte weniger in der Kernautomobilindustrie benötigt werden als heute. Bezogen auf die aktuell 249.000 in der bayerischen Kernautomobilindustrie Beschäftigten bedeutet dies einen Rückgang von 32 Prozent bzw. drei von zehn Arbeitsplätzen.

Bei den in der Studie betrachteten vor- und nachgelagerten Branchen sind die Effekte ebenfalls überwiegend negativ, fallen jedoch nicht ganz so hoch aus. Nennenswerte positive Beschäftigungseffekte gegenüber der Referenz finden sich mit etwa 15.000 Arbeitsplätzen lediglich für den vorgelagerten Teilbereich der Batteriefertigung. Dieser Effekt ist insbesondere auf das Chancenfeld Elektrifizierung zurückzuführen.

Abbildung 24: Beschäftigungseffekte gegenüber dem Referenzszenario in den betrachteten Branchen
 In Tausend Beschäftigten, 2022 bis 2040



* Für diese Branchen wurde die Anzahl der in Bayern Beschäftigten für das Jahr 2022 geschätzt. Für die Schätzung wurde der gleiche Anteil der Beschäftigten an der jeweils übergeordneten WZ-Klassifikation angenommen wie für Deutschland.
 Quelle: Eigene Berechnungen Prognos © Prognos 2023

Bei der Interpretation der saldierten Effekte muss berücksichtigt werden, dass - abgesehen von der Kernautomobilindustrie - die meisten der dargestellten Branchen lediglich in einzelnen Chancenfeldern untersucht wurden. So wurden anfallende Effekte beispielsweise für die antriebsstrangabhängige Teilbranche 2811 Verbrennungsmotoren, Turbinen im Chancenfeld vernetzte Mobilität und autonomes Fahren nicht als besonders relevant eingestuft.

In sieben Berufsgruppen fallen die Beschäftigungseffekte positiv aus

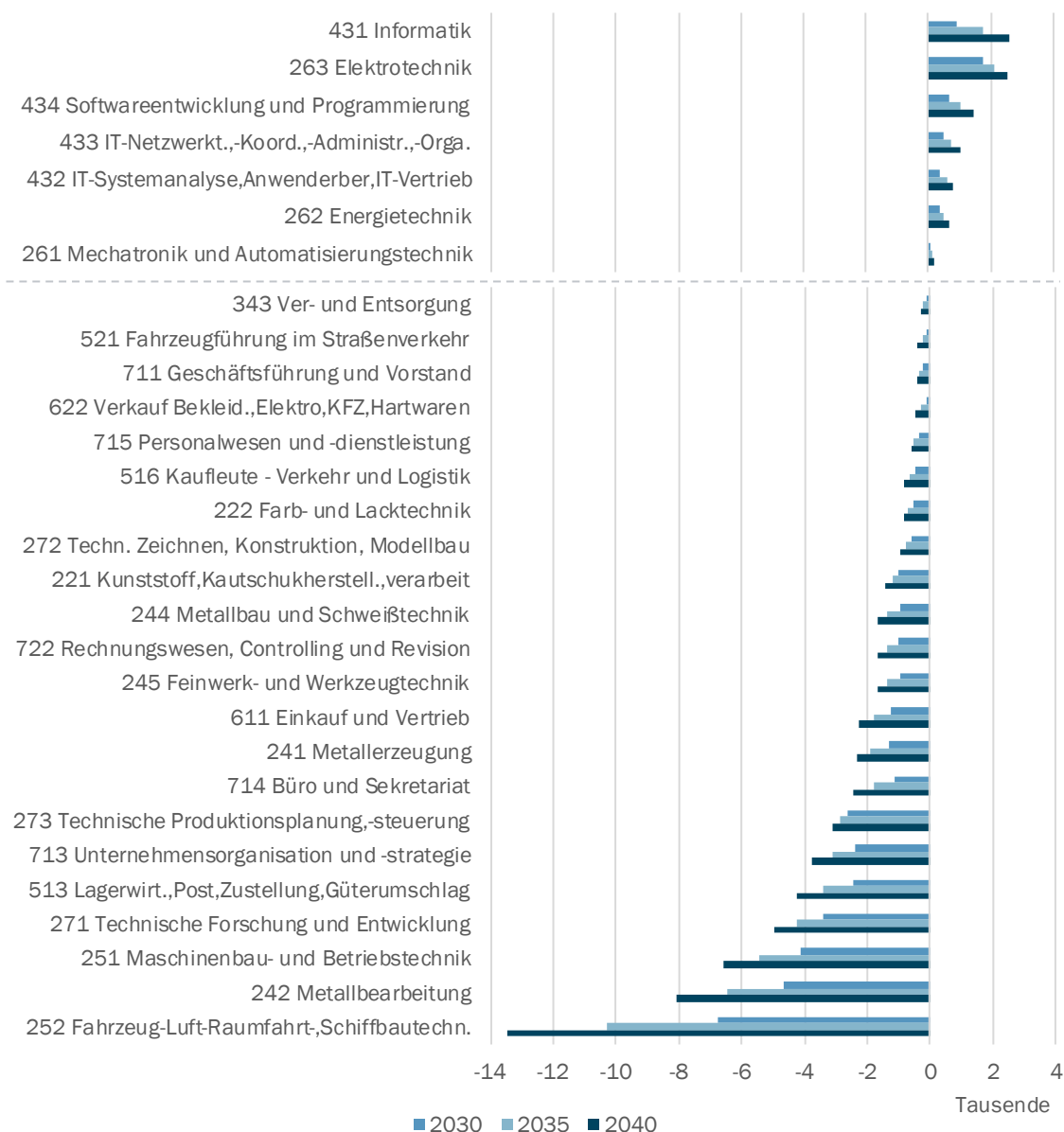
Auf Ebene der Berufsgruppen zeigt sich ein etwas gemischteres Bild. Zwar sind die Effekte für die Mehrheit der Berufsgruppen hier ebenfalls negativ. Positive Gesamteffekte finden sich jedoch insbesondere in solchen Berufsgruppen, die eng mit den Chancenfeldern Elektrifizierung (Berufsgruppen Elektrotechnik, Energietechnik) und Industrie 4.0 und Digitalisierung zusammenhängen. Bei den IT-Berufen gilt allerdings, dass diese in allen Szenarien (anteilig) stärker nachgefragt werden.

Negative Beschäftigungseffekte von jeweils deutlich mehr als 6.000 Arbeitsplätzen finden sich hingegen in den Berufsgruppen *Fahrzeug-, Luft-, Raumfahrt- und Schiffbautechnik* sowie der *Metallbearbeitung* und der *Maschinenbau- und Betriebstechnik*. In der *Fahrzeug-, Luft-, Raumfahrt- und Schiffbautechnik* ist dies vor allem auf das Chancenfeld Elektrifizierung zurückzuführen. Bei einigen Berufsgruppen ergeben sich die negativen Effekte jedoch auch im Zusammenspiel verschiedener Faktoren. So sind die Rückgänge der Berufsgruppe *Büro- und Sekretariat* zum einen auf die unterstellten Produktivitätsgewinne im Chancenfeld Industrie 4.0 und Digitalisierung zurückzuführen. Zum anderen sinkt der Bedarf aber ebenfalls indirekt aufgrund der im Chancenfeld Elektrifizierung unterstellten Entwicklungen. Hier werden die mit der Berufsgruppe verbundenen

Tätigkeiten aufgrund des insgesamt geringeren Personalbedarfs der Unternehmen nicht mehr in gleichem Umfang benötigt.

Abbildung 25: Beschäftigungseffekte gegenüber der Referenz nach ausgewählten Berufsgruppen

Als Differenz zwischen betrachtetem Szenario und Referenzszenario, Berufsgruppen mit einem Effekt von mindestens 200 Beschäftigten, in Tausend Beschäftigten, 2030, 2035, 2040



Quelle: Eigene Berechnungen Prognos

© Prognos 2023

Höher qualifizierte Arbeitskräfte gewinnen anteilig an Bedeutung

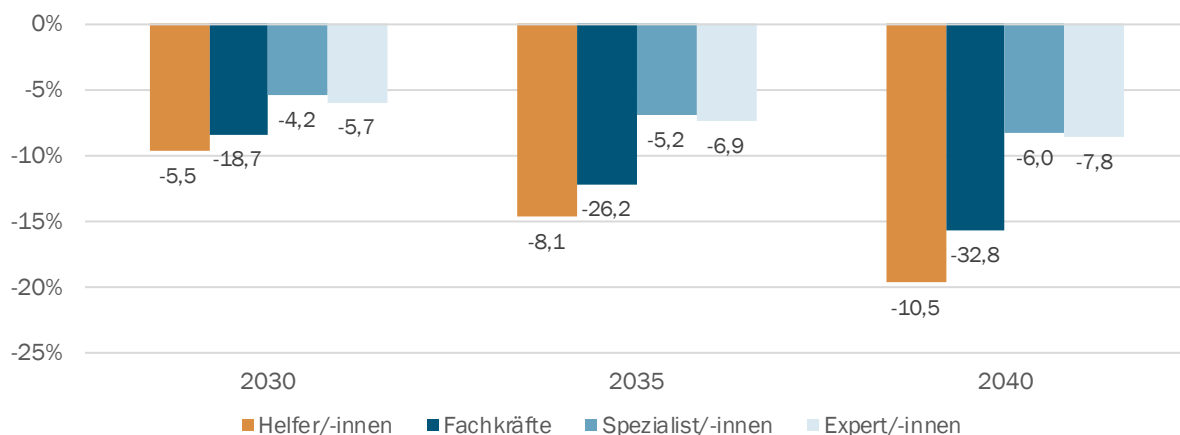
Auf Beschäftigte mit dem Anforderungsprofil Fachkräfte entfällt im Jahr 2040 mit 32.800 Arbeitsplätzen der absolut betrachtet größte Beschäftigungsrückgang gegenüber dem kontrafaktischen

Referenzszenario (Abbildung 26). Aufgrund der Tatsache, dass die Mehrheit der Beschäftigten in den Berufsgruppen mit den größten absoluten negativen Effekten über eine berufliche Ausbildung verfügt, ist dies wenig überraschend. Gleichwohl fällt auch der anteilig betrachtete Rückgang mit knapp 16 Prozent vergleichsweise hoch aus. Lediglich bei den Helferinnen und Helfern mit ist der relativ betrachtete Effekt mit minus 20 Prozent noch deutlich stärker ausgeprägt. In absoluten Zahlen betrachtet entspricht dies einem Nachfragerückgang in Höhe von 10.500 Arbeitsplätzen.

Bei den Specialistinnen und Spezialisten und Expertinnen und Experten ist der gesamte Nachfragerückgang im Vergleich zum Referenzszenario mit lediglich 6.000 bzw. 7.800 Arbeitsplätzen hingegen deutlich geringer. Auch relativ betrachtet fällt der Beschäftigungseffekt mit 8 bzw. 9 Prozent deutlich geringer aus als bei den Fachkräften und Helferinnen und Helfern. Anteilig gewinnen die höher qualifizierten Arbeitsplätze bei der Realisierung der Chancenfelder somit an Bedeutung. Grund hierfür ist insbesondere der zusätzliche Bedarf an hochqualifizierten IT-Kräften, der den Nachfragerückgang an höher qualifizierten Beschäftigten in Berufsgruppen wie der *Fahrzeug-, Luft-, Raumfahrt- und Schiffbautechnik* teilweise kompensieren kann.

Abbildung 26: Beschäftigungseffekte gegenüber dem Referenzszenario nach Anforderungsprofil

In Prozent (Balkenlänge bzw. linke Achse) und in Tausend (Balkenbeschriftung) der Beschäftigten, 2030/2035/2040



Quelle: Eigene Berechnungen Prognos

© Prognos 2023

Die in diesem Abschnitt durchgeführten Analysen zeigen erstens, dass die Nachfrage nach Beschäftigten einzelner Berufsgruppen abhängig vom Chancenfeld variiert. Zweitens kann der Bedarf an einer bestimmten Berufsgruppe für einzelne Teilbereiche der Automobilwirtschaft unterschiedlich ausfallen, sodass in einzelnen Teilbranchen weniger und in anderen Teilbranchen mehr Arbeitskräfte der gleichen Berufsgruppe benötigt werden. Das bedeutet, dass für einzelne aktuell in der Automobilindustrie beschäftigten Arbeitskräfte Weiterbildungsbedarfe und gegebenenfalls Wechsel in andere Teilbranchen anstehen werden.

Bei diesen Überlegungen gilt es zu beachten, dass diese Arbeitskräfte in vielen Fällen auch in anderen Branchen als der Automobilindustrie anteilig verstärkt nachgefragt werden. Das gilt insbesondere auch für die IT-Berufe. Ob dieser branchenübergreifende Bedarf an diesen Arbeitskräften in Bayern dann auch vom zukünftigen Angebot gedeckt werden kann oder ob gegebenenfalls

Ungleichgewichte entstehen, kann erst der Abgleich mit der Entwicklung des berufsspezifischen Arbeitskräfteangebots aufzeigen. Dies erfolgt im nachstehenden Kapitel.

4.2 Abgleich mit dem regional zur Verfügung stehenden Arbeitskräfteangebot

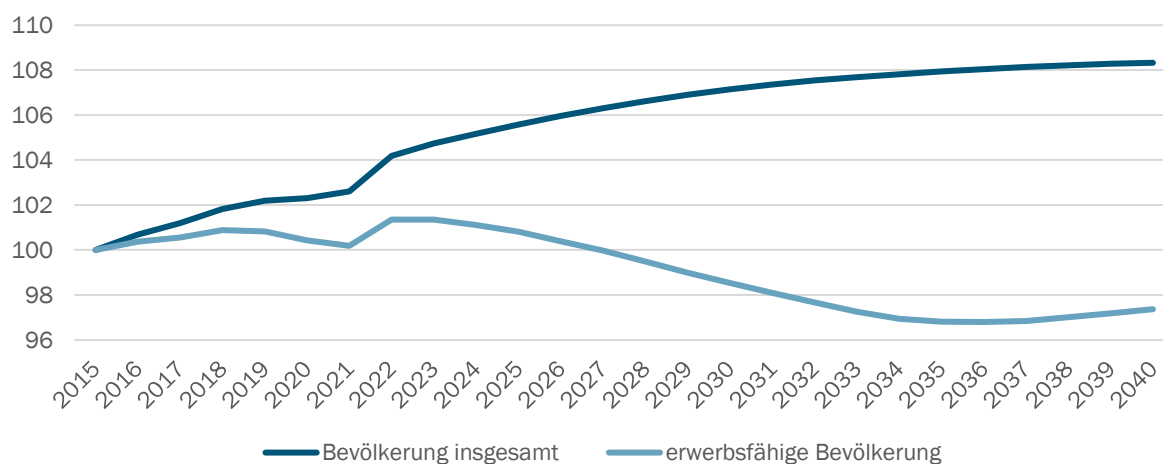
In den bisherigen Abschnitten wurde betrachtet, wie sich der berufsspezifische Bedarf an Arbeitskräften aufgrund der Chancenfelder verändern wird. Inwiefern diese Entwicklungen aus Arbeitsmarktperspektive problematisch sein können, wird erst im Zusammenspiel mit der zukünftigen Entwicklung des Arbeitskräfteangebots deutlich. Ein Szenario zur Entwicklung des zukünftigen Arbeitskräfteangebots in Bayern bis zum Jahr 2035 wurde kürzlich von Prognos im Auftrag der Vereinigung der bayerischen Wirtschaft e.V. erstellt (vbw/Prognos 2023). Im Rahmen der vorliegenden Studie wird auf diese Ergebnisse zurückgegriffen, die Modellierung bis zum Jahr 2040 erweitert und die resultierenden Ergebnisse nachstehend dargestellt. Neben aktuellen statistischen Rahmendaten ist insbesondere die Bevölkerungsvorausberechnung für die Modellierung des Angebots entscheidend.

Die Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter geht im Betrachtungszeitraum deutlich zurück

Die Entwicklung der Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter ist die wichtigste Determinante der Entwicklung des zukünftigen Arbeitskräfteangebots. Gemäß der 15. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung²⁵ für Deutschland und die Bundesländer wird die Höhe der Gesamtbevölkerung in Bayern bis zum Jahr 2040 weiter ansteigen (Abbildung 27).

Abbildung 27: Verlauf der 15. Bevölkerungsvorausberechnung bis 2040 für Bayern

Bevölkerung insgesamt und Erwerbsfähige Bevölkerung, indexiert (Index = 2015)



Quelle: Statistisches Bundesamt 2021, eigene Berechnungen Prognos

© Prognos 2023

In absoluten Zahlen entspricht dies einem Bevölkerungszuwachs von etwa 13,4 Millionen Personen im Jahr 2022 auf 13,9 Millionen im Jahr 2040. Aufgrund des demografischen Wandels

²⁵ Dabei wird auf die mittlere Variante (G2L2W2) bezüglich der Annahmen zu Geburtenhäufigkeit, Lebenserwartung und Wanderungssaldo zurückgegriffen.

kommt es dennoch bereits in der kurzen Frist zu einem Rückgang der erwerbsfähigen Bevölkerung mit einem Alter zwischen 20 bis 67 Jahren. Ab 2035 bis 2040 bleibt die Anzahl der Personen im erwerbsfähigen Alter in Bayern dann in etwa konstant. In absoluten Zahlen entspricht dies einem Rückgang der Bevölkerung im erwerbsfähigen von 8,7 Millionen Personen im Jahr 2022 auf 8,3 Millionen im Jahr 2040.

Das Arbeitskräfteangebot in Bayern sinkt bis 2040 von 6,6 auf 6,2 Millionen Personen

Neben der Entwicklung der erwerbsfähigen Bevölkerung spielen weitere Determinanten wie die Erwerbsquote oder die Bildungspräferenzen für die Modellierung eine wichtige Rolle. Im Szenario zur Angebotsentwicklung werden die aktuellen Präferenzen analog zu der Studie von vbw/Prognos (2023) über den gesamten Betrachtungszeitraum hinweg konstant gehalten. Das betrifft sowohl die Wahl des ausgeübten Berufes als auch die alters- und geschlechtsspezifischen Erwerbsquoten und Arbeitszeiten. Im Ergebnis resultiert ein Szenario, das beschreibt "was passiert, wenn nichts passiert".²⁶ Unter diesen Annahmen geht das bayerische Arbeitskräfteangebot von etwa 6,6 Millionen Personen im Jahr 2022 zurück auf ungefähr 6,2 Millionen Personen im Jahr 2040.

Zwischen den Berufsgruppen finden sich deutliche Unterschiede bezüglich der Altersstruktur

Mit Blick auf einzelne Berufsgruppen ist die Entwicklung des Arbeitskräfteangebots dabei verschieden. Maßgeblich für die zukünftige Entwicklung des berufsspezifischen Arbeitskräfteangebots ist neben dem Berufswahlverhalten der zukünftig auf den Arbeitsmarkt kommenden Absolventinnen und Absolventen der (Hoch-)schulen insbesondere die aktuelle Altersstruktur der in der Berufsgruppe Beschäftigten. Diese gibt zum einen Aufschluss darüber, wie viele der Beschäftigten im Betrachtungszeitraum das Renteneintrittsalter erreichen und aus dem Erwerbsleben ausscheiden werden. Zum anderen wird auch sichtbar, wie viele Nachwuchskräfte den älteren Beschäftigten gegenüberstehen.

Nachstehende Abbildung zeigt, dass die Altersstruktur der im Jahr 2022 Beschäftigten in denjenigen Berufsgruppen, die bei Realisierung der Chancenfelder gegenüber der Referenz stärker nachgefragt werden, vergleichsweise günstig ausfällt. So sind in der Berufsgruppe *Mechatronik und Automatisierungstechnik* nur 11 Prozent der aktuell Beschäftigten älter als 50 Jahre (Abbildung 28). Diese Altersgrenze ist insofern relevant, als dass die aktuell 50 Jahre alten Beschäftigten bis zum Jahr 2040 - und damit zum Ende des Betrachtungszeitraums der vorliegenden Studie - das Renteneintrittsalter erreichen werden. Diesen älteren Beschäftigten steht mit 60 Prozent ein überdurchschnittlich hoher Anteil an Nachwuchskräften unter 30 Jahren gegenüber. Unter der gesetzten Annahme, dass das aktuelle Berufswahlverhalten konstant bleibt, werden zukünftig also deutlich mehr Arbeitskräfte diesen Beruf neu ergreifen als altersbedingt verlassen, sodass das Arbeitskräfteangebot in dieser Berufsgruppe zukünftig ansteigen wird. Ähnlich günstige Konstellationen und damit ein steigendes Angebot an Arbeitskräften finden sich ebenfalls bei der Mehrheit der durch Realisierung der Chancenfelder stärker nachgefragten Berufsgruppen der IT.

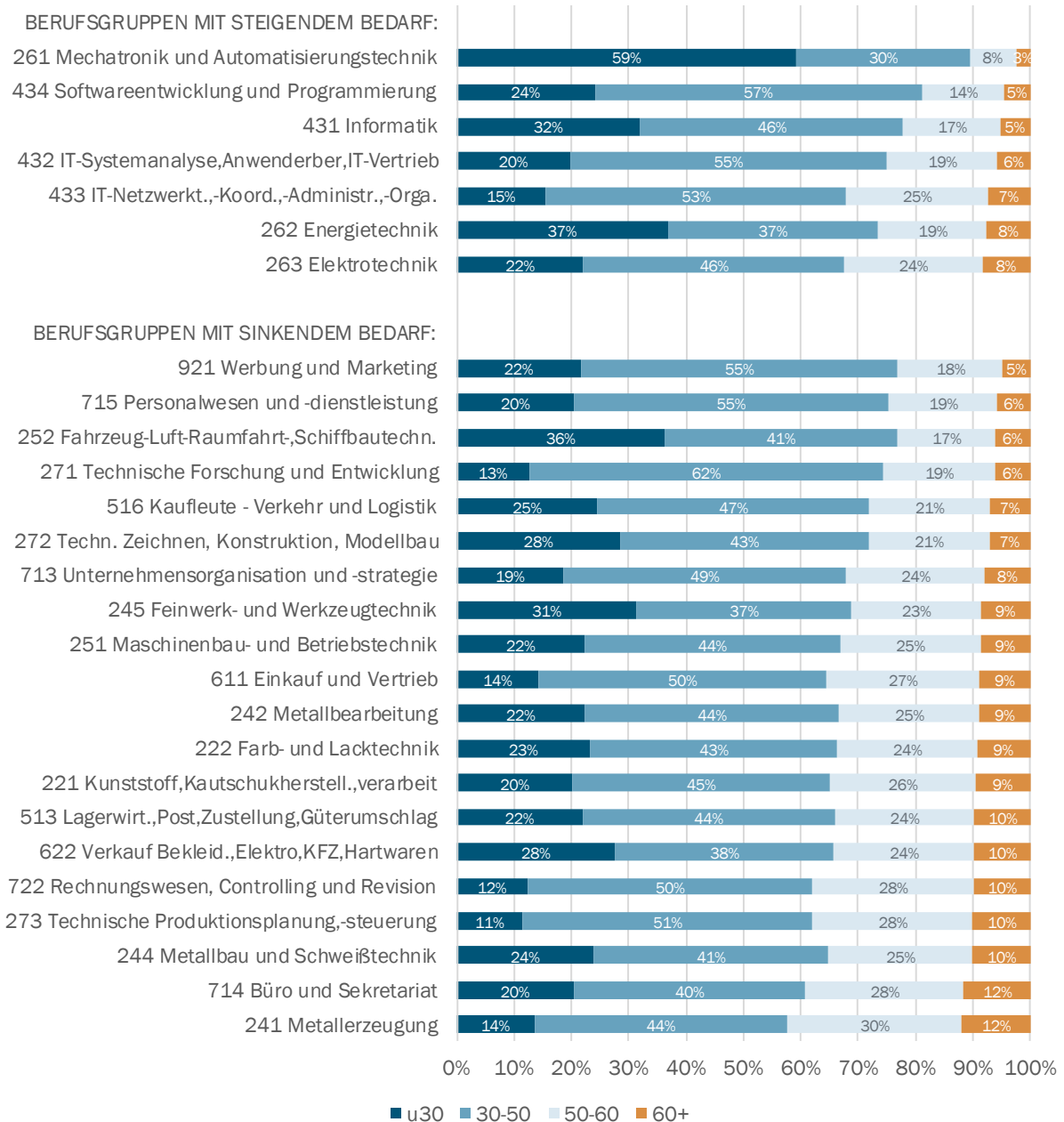
Bei den Berufsgruppen, in denen aufgrund der Chancenfelder gegenüber der Referenz mit sinkenden Bedarfen gerechnet wird, findet sich im Durchschnitt eine eher ältere Belegschaft. Dies gilt insbesondere für die weniger stark nachgefragten Fertigungsberufe der *Metallerzeugung* oder der *Metallbau- und Schweißtechnik*. Hier sind bis zu etwa 40 Prozent der Beschäftigten bereits über 50 Jahre alt und werden entsprechend im Betrachtungszeitraum das Renteneintrittsalter erreichen. Ähnliches gilt ebenfalls für einige Berufsgruppen, bei denen mit sinkenden Bedarfen

²⁶ Anhand dieser Ergebnisse können Handlungsfelder und Maßnahmen identifiziert werden, um potenziell entstehende Ungleichgewichte zwischen Arbeitskräfteangebot und Arbeitskräftenachfrage abzumildern.

aufgrund von Digitalisierungsbedingten Produktivitätssteigerungen zu rechnen ist, wie beispielsweise *Büro und Sekretariat* oder *Rechnungswesen, Controlling, Revision*.

Abbildung 28: Altersstruktur der Beschäftigten im Jahr 2022 nach ausgewählten Berufsgruppen

Nach steigendem bzw. sinkendem Bedarf ggü. der Referenz, sortiert nach Anteil der älteren Beschäftigten



Quelle: Eigene Berechnungen Prognos

© Prognos 2023

Übergreifend zeigt diese Auswertung der Altersstruktur, dass zukünftig sinkende Bedarfe in einigen Berufsgruppen aufgrund der im Betrachtungszeitraum anstehenden Renteneintritte aus Sicht der Belegschaft nicht zwangsläufig problematisch sein müssen. Grund ist, dass in vielen Fällen

keine Stellen abgebaut, sondern lediglich nach dem Renteneintritt nicht neu besetzt werden müssen. Ebenfalls wird deutlich, dass die Altersstruktur bei Berufsgruppen mit steigendem Bedarf gegenüber der Referenz in vielen Fällen günstig ausfällt.

Ein steigender Bedarf ist nur problematisch für Berufsgruppen mit Arbeitskräfteengpässen

Ob die Angebotsentwicklung einer Berufsgruppe ausreichend ist, um die zukünftigen Bedarfe zu decken, lässt sich erst durch den Abgleich mit der branchenübergreifenden Nachfrage nach Beschäftigten dieser Berufe feststellen. In der Studie von vbw/Prognos (2023) wurde eine solche Analyse auf Ebene der übergeordneten Berufshauptgruppen²⁷ für Bayern durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass in der Mehrheit der 36 betrachteten Berufshauptgruppen in Bayern zukünftig mit teilweise deutlichen Engpässen gerechnet werden muss. Lediglich in 10 Berufshauptgruppen wird im Jahr 2035 ein Arbeitskräfteüberangebot erwartet.

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei Betrachtung der 13 für die Automobilindustrie besonders relevanten Berufshauptgruppen. Hier zeigen sich in nur drei Fällen zukünftig keine rechnerischen Arbeitskräfteengpässe (Abbildung 29). Zur Einordnung der dargestellten Ergebnisse sind neben dem relativen Arbeitskräftesaldo auch die absoluten Zahlen zu betrachten. So erscheint ein negativer Saldo von beispielsweise minus 20 Prozent der Nachfrage zunächst besonders problematisch. Ist damit jedoch nur eine geringe Anzahl an Arbeitskräften verbunden, kann dies für einzelne Unternehmen zwar problematisch sein, muss aber für die bayerische Wirtschaft insgesamt nicht unbedingt ein Problem darstellen.

Für die Einschätzung der Bedeutung dieser potenziell auftretenden Arbeitskräfteengpässe sind im Kontext der vorliegenden Studie zudem zwei unterschiedliche Aspekte relevant.

Erstens gibt es diejenigen Berufshauptgruppen, bei denen durch die Realisierung der Chancenfelder zukünftig mehr Nachfrage entsteht als im Referenzszenario (vgl. Abbildung 25). Dazu gehören vor allem die *Informatik- und andere IKT-Berufe*²⁸ und die *Mechatronik-, Energie- u. Elektroberufe*²⁹. Für die erstgenannte Berufshauptgruppe wird der Studie von vbw/Prognos (2023) zufolge im Jahr 2035 aufgrund der jungen Altersstruktur der aktuell Beschäftigten mit einem nahezu ausgeglichenen Arbeitsmarkt gerechnet. So liegt das Angebot hier nur knapp über der Nachfrage (vgl. Abbildung 29). Eine zusätzliche Steigerung der Arbeitskräftenachfrage in der Automobilindustrie durch die Realisierung der Chancenfelder kann daher gegebenenfalls nicht vom in Bayern zur Verfügung stehenden Arbeitskräfteangebot gedeckt werden. Gleiches gilt für die Berufshauptgruppe *Mechatronik-, Energie- u. Elektroberufe*. Hier liegt die Lücke im Jahr 2035 der Studie zufolge bei etwa sieben Prozent der Nachfrage bzw. etwa 15.000 fehlenden Beschäftigten. Ohnehin bestehende Probleme in diesem Bereich können sich durch die zusätzliche Nachfrageresteigerung bei Realisierung der Chancenfelder somit verschärfen.

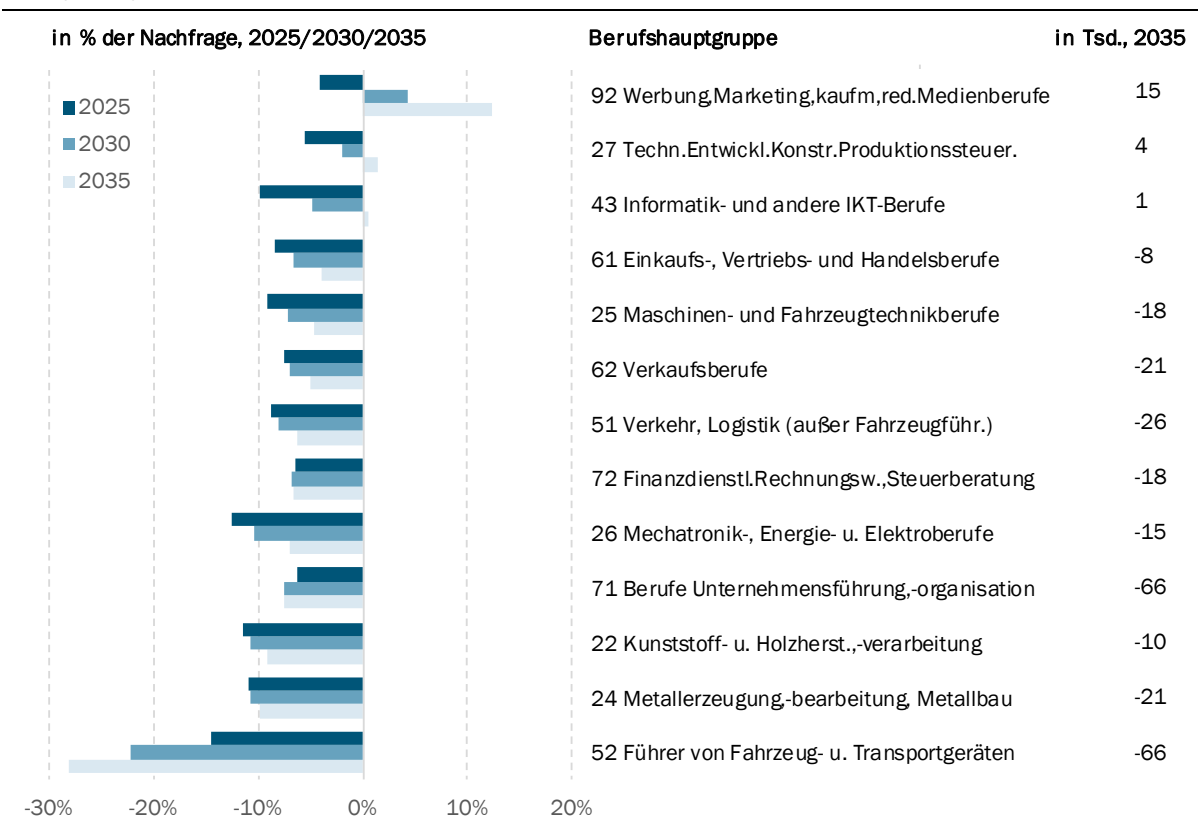
²⁷ Gemäß der Systematik der Klassifikation der Berufe 2010 werden die 144 Berufsgruppen nach einem bestimmten Schlüssel zu 37 Berufshauptgruppen zusammengefasst.

²⁸ Die Berufshauptgruppe 43 *Informatik- und andere IKT-Berufe* umfasst die Berufsgruppen 431 *Informatik*, 432 *IT-Systemanalyse, IT-Anwendungsberatung und IT-Vertrieb* und 433 *IT-Netzwerktechnik, IT-Koordination, IT-Administration und IT-Organisation*.

²⁹ Die Berufshauptgruppe 26 *Mechatronik-, Energie- u. Elektroberufe* umfasst die Berufsgruppen 261 *Mechatronik und Automatisierungstechnik*, 262 *Energietechnik* und 263 *Elektrotechnik*.

Abbildung 29: Arbeitskräftesaldo* als Differenz von Angebot und Nachfrage

In Prozent der Nachfrage und absolut in Tsd., nach für die Automobilindustrie relevanten Berufshauptgruppen, 2025/2030/2035



* Der Arbeitskräftesaldo ergibt sich aus der Differenz zwischen Arbeitskräfteangebot und -nachfrage. Der Arbeitskräftesaldo wird in Prozent der Arbeitskräftenachfrage dargestellt, um relative Engpässe und Überschüsse sichtbar zu machen. Ein positiver Saldo bedeutet, dass das Arbeitskräfteangebot die Arbeitskräftenachfrage übersteigt und damit ein Angebotsüberschuss vorliegt. Umgekehrt bedeutet ein negativer Saldo, dass ein Arbeitskräftemangel vorliegt.

Quelle: vbw/Prognos 2023

© Prognos 2023

In Berufsgruppen mit sinkendem Bedarf können potenzielle Arbeitskräfteengpässe durch Realisierung der Chancenfelder hingegen verhindert werden

Zweitens gilt es diejenigen Berufe zu betrachten, bei denen die Arbeitskräftenachfrage gegenüber dem Referenzszenario sinkt (vgl. Abbildung 25). Wie bereits erwähnt handelt es sich dabei unter anderem um Unterkategorien der mit der Fertigung in Zusammenhang stehenden Berufshauptgruppen *Metallerzeugung, -bearbeitung, Metallbau*³⁰ und *Maschinen- und Fahrzeugtechnikberufe*³¹. In diesen Berufshauptgruppen liegt die rechnerische Arbeitskräftelücke im Jahr 2035 bei 9,9 beziehungsweise 4,7 Prozent der Nachfrage (vgl. Abbildung 29). Das bedeutet, dass jede zehnte beziehungsweise zwanzigste Stelle in diesen Berufshauptgruppen in Bayern nicht besetzt

³⁰ Die Berufshauptgruppe 24 *Metallerzeugung, -bearbeitung, Metallbau* umfasst neben den in den vorherigen Abschnitten bereits betrachteten Berufsgruppen 241 *Metallerzeugung*, 242 *Metallbearbeitung*, 244 *Metallbau und Schweißtechnik*, 245 *Feinwerk- und Werkzeugtechnik* auch die Berufsgruppe 243 *Metalloberflächenbehandlung*.

³¹ Die Berufshauptgruppe 25 *Maschinen- und Fahrzeugtechnikberufe* umfasst die Berufsgruppen 251 *Maschinenbau- und Betriebstechnik* sowie 252 *Fahrzeug-, Luft-, Raumfahrt- und Schiffbautechnik*.

werden kann. Grund hierfür ist insbesondere die bereits aufgezeigte ungünstige Altersstruktur der Beschäftigten.

Eine durch die Realisierung der Chancenfelder sinkende Arbeitskräftenachfrage kann für solche Berufsgruppen somit eine Chance zur Problemlösung darstellen und ist – auch aus Arbeitnehmersicht – daher zunächst nicht als problematisch zu betrachten. In diesen Fällen kann die Reduzierung der Nachfrage dazu beitragen, den Druck auf den Arbeitsmarkt zu mildern und die verfügbaren Arbeits- und Fachkräfte effizienter einzusetzen. Eine solche Entlastung des Arbeitsmarktes kann ebenfalls dazu beitragen, den steigenden Wettbewerb um Arbeits- und Fachkräfte zu verringern.

Geeignete Weiterbildungs- und Qualifizierungsmaßnahmen gewinnen somit an Bedeutung

Die aufgezeigten Ergebnisse machen deutlich, dass Maßnahmen zur Weiterbildung und Qualifizierung zunehmend an Bedeutung gewinnen, sollen die beschriebenen Chancenfelder realisiert und die damit verbundenen Potenziale gehoben werden. So entstehen angesichts der verstärkten Nachfrage nach Elektrofahrzeugen oder der Integration neuer Technologien wie dem autonomen Fahren den Szenariorechnungen zufolge teilweise deutliche Beschäftigungseffekte, von denen die für die Automobilindustrie relevanten Berufsgruppen unterschiedlich betroffen sind.

Daher ist es entscheidend, dass die Arbeitskräfte in der Branche über die für die Realisierung der Chancenfelder erforderlichen Fähigkeiten und Qualifikationen verfügen. Durch gezielte Weiterbildungs- und Qualifizierungsprogramme müssen ihre Kenntnisse aktualisiert und an die sich wandelnden Anforderungen angepasst werden. Dies sichert nicht nur die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie, sondern stärkt auch die Innovationskraft und trägt zur Bewältigung der spezifischen Herausforderungen in der Automobilindustrie bei. Investitionen in die Weiterbildung und Qualifizierung der Arbeitskräfte sind daher von entscheidender Bedeutung für die Realisierung der betrachteten Chancenfelder und damit auch für die langfristige Zukunft dieser für das Bundesland Bayern besonders wichtigen Schlüsselbranche.

5 Fazit

Die bayerische Automobilindustrie befindet sich aktuell auf verschiedenen Ebenen in einem Transformationsprozess und mit verschiedenen Herausforderungen konfrontiert. Mit den betrachteten Chancenfeldern *Elektrifizierung, vernetzte Mobilität und autonomes Fahren* sowie *Produktivitätsgewinne durch Industrie 4.0* stehen in der vorliegenden Studie drei entscheidende Treiber für die zukünftige Entwicklung der Beschäftigungsnachfrage im Fokus. Der Mehrwert der vorliegenden Studie gegenüber anderen durchgeführten Analysen besteht darin, dass für jedes der drei Chancenfelder die nach Berufen und Qualifikationen differenzierten Beschäftigungseffekte bis zum Jahr 2040 anhand von Szenariorechnungen abgeschätzt und vor dem Hintergrund der in Bayern zunehmenden Fachkräfteengpässe eingeordnet werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Beschäftigungsnachfrage zum einen quantitativ verändern wird. Je nach betrachtetem Chancenfeld unterscheiden sich die Effekte, in Summe ist jedoch davon auszugehen, dass in den betrachteten Branchen im Jahr 2040 etwa 57.000 weniger Beschäftigte benötigt werden als im kontrafaktischen Referenzszenario mit eingefrorenem Technologiemix. Da bereits in diesem Referenzszenario die Nachfrage bis zum Jahr 2040 um 49.000 Beschäftigte sinken wird, entspricht dies in Summe einem Rückgang von insgesamt 106.000 bzw. 22 Prozent der Beschäftigungsnachfrage des Jahres 2022.

Darüber hinaus treten durch die Realisierung der Chancenfelder auch strukturelle Veränderungen bzgl. der Beschäftigungsnachfrage auf - sowohl mit Blick auf die Branchen- und Berufsstruktur als auch auf die benötigten Qualifikationsanforderungen. Zu den (anteiligen) Gewinnern dieser Entwicklung gehören auf Ebene der Berufe insbesondere die eng mit dem Chancenfeld Elektrifizierung verbundenen Berufsgruppen *Elektrotechnik* oder *Energietechnik* sowie verschiedene IT-Berufe. Dagegen verlieren klassische Fahrzeugbauberufe wie die *Fahrzeug-, Luft-, Raumfahrt- und Schiffbautechnik, Metallbearbeitung* oder die *Maschinenbau- und Betriebstechnik* eher an Bedeutung. Unter anderem aufgrund dieser Entwicklungen werden höher qualifizierte Arbeitskräfte wie Spezialist/-innen und Expert/-innen zukünftig anteilig stärker nachgefragt, Helfer/-innen sind anteilig betrachtet hingegen die größten Verlierer der anstehenden Transformationen.

Der Abgleich mit der Entwicklung des zur Verfügung stehenden Arbeitskräfteangebots macht deutlich, dass die negativen Beschäftigungseffekte für Bayern keinesfalls eine problematische Entwicklung darstellen müssen. Vielmehr ist eine Verringerung der Arbeitskräftenachfrage vor dem Hintergrund des im gleichen Zeitraum von 6,6 auf 6,2 Millionen Personen sinkenden Arbeitskräfteangebots als positiv zu betrachten. Das gilt insbesondere vor dem Hintergrund der aufgezeigten Zunahme von Arbeitskräfteengpässen in einigen der für die Automobilindustrie relevanten Berufsgruppen.

Aus Sicht der Unternehmen bietet sich durch die Realisierung der Chancenfelder somit u. a. die Chance, potenziell entstehende Arbeitskräfteengpässe abzumildern. Gleichwohl sind diese Entwicklungen keine Selbstläufer. Neben den erforderlichen technischen Investitionen werden zielgerichtete Weiterbildungs- und Qualifizierungsmaßnahmen aufgrund der sich verändernden Berufs- und Qualifikationsstruktur für die betroffenen Unternehmen immer wichtiger. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, welche Berufsgruppen und Anforderungsprofile zukünftig weniger oder stärker nachgefragt werden und geben so Hinweise darauf, auf welche Tätigkeitsbereiche die Weiterbildungs- und Qualifizierungsmaßnahmen abzielen sollten. Daneben gilt es für

Berufsgruppen, in denen auch zukünftig mit Arbeits- und Fachkräfteengpässen gerechnet werden muss, zusätzliche Maßnahmen zur Arbeitskräftesicherung zu prüfen. Dazu gehören bspw. die Steigerung der Attraktivität für jüngere Mitarbeiter oder die längere Bindung von älteren Beschäftigten an die Unternehmen.

Da es sich bei der Automobilindustrie um eine der zentralen Schlüsselindustrien Bayerns handelt, stellt die Transformation eine wichtige gesellschafts- und industriepolitische Herausforderung dar. Hierfür gilt es zum einen, die bei den einzelnen Chancenfeldern dargestellten (technischen) Gelin- gensbedingungen umzusetzen, wie bspw. den Ausbau der Ladeinfrastruktur. Zum anderen ist die Entwicklung und erfolgreiche Umsetzung von passenden Maßnahmen zur Weiterbildung und Qua- lifizierung von Arbeits- und Fachkräften eine weitere zwingende Voraussetzung dafür, um die mit der Transformation einhergehenden Chancen bestmöglich zu nutzen und mögliche negative Aus- wirkungen auf die Wirtschaft und Gesellschaft abzufedern.

Anhang

A1 Ausgewählte Forschungsaktivitäten im Bereich Elektrifizierung

Institut/Hochschule <i>(alphabetische Sortierung)</i>	Forschung und Entwicklung im Bereich Elektromobilität
Bayerisches Zentrum für Batterietechnik (BayBatt)	Sichere High-Performance Materialien Grenzflächenphänomene und Transportprozesse in Batterien Intelligente Batterie Vernetzte Batteriespeicher Nachhaltigkeit
Fraunhofer-Forschungs- und Entwicklungszentrum Elektromobilität Bayern (FZEB)	Entwicklung und Optimierung von Batteriematerialien <ul style="list-style-type: none">■ Elektrodenmaterialien, Elektrolyte und andere Zellkomponenten■ Recyclinggerechte Materialentwicklungen■ Digitalisierung in der Batteriematerial- und Batteriezellenproduktion
Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB	Testzentrum Elektrofahrzeuge Batterieladegeräte Projekt „YESvGaN“
Fraunhofer-Institut ISC (Würzburg)	Batterieforschung und -entwicklung Batterietests und -analysen
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS)	Elektromaschinenbau <ul style="list-style-type: none">■ Elektromechanik■ magnetische Werkstoffe■ elektrische Leiter■ Veranstalter der E DPC (International Electric Drives Production Conference)
Technische Universität München – Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik	Lab: Electric Vehicle <ul style="list-style-type: none">■ Optimierung von Batteriesystemen (Batteriedegradation, Batteriesicherheit, ultraschnelles Laden)■ Entwicklung von Lösungen zum skalierbaren Einsatz von Elektrofahrzeugen

A2 Ausgewählte Forschungsaktivitäten im Bereich vernetzte Mobilität und autonomes Fahren

Institut/Hochschule (alphabetische Sortierung)	Forschung und Entwicklung im Bereich vernetzte Mobilität und autonomes Fahren
Cluster Mobility & Logistics	<p>Projekt „transform.r.“: Aufbau neuer Qualifizierungsangebote für die Fahrzeug- und Zulieferindustrie in der Region Regensburg</p> <p>Projekt „NiEMob“: Entwicklung von KI-trainierten Energiemanagementsystemen</p> <p>Projekt „EmDeNetz“: Entwicklung eines Energiemanagementsystems, das durch den Einsatz von Künstlicher Intelligenz den Eigenbedarf an Wärme und Strom optimiert</p> <p>Autonome People Mover Regensburg</p>
e:fs Techhub GmbH	<p>Forschungsprojekt SAVeNoW</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Aufbau und Betrieb eines digitalen Zwillings für urbanen Verkehr am Beispiel von Ingolstadt <p>Analyse von Verkehrssituationen, individuellem Verkehrsverhalten, neuen Mobilitätskonzepten</p>
Fraunhofer-Institut für Elektronische Mikrosysteme und Festkörper-Technologien EMFT	<p>Bordnetztechnologie</p> <p>Sensorlösungen</p> <p>Mikropumpen</p> <p>Sichere Elektronik</p>
Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS	<p>5G-Bavaria-Testbed »Automotive«</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Connected-Car-Szenarien ■ Automatisiertes Fahren ■ Machine-Learning-Ansätze <p>Hybride Vernetzungstechnologie</p> <p>Breitbandige Fahrzeug-Bordnetzkonzepte</p> <p>Breitbandversorgung mobiler Nutzer</p>
Hochschule Kempten – Institut für Fahrerassistenz und vernetzte Mobilität (IFM)	<p>Assistenzsysteme</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Virtualisierung von Tests ■ Cybersicherheit ■ Künstliche Intelligenz <p>Vernetzte Mobilität</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Satellitenortung und Satellitennavigation ■ Car2X Kommunikation <p>IKT-Infrastruktur zwischen Fahrzeugen, Ladeinfrastruktur und Routenplanung</p>
Technische Hochschule Ingolstadt	<p>Almotion Bavaria</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Anwendungscluster „Autonomes Fahren“

Forschungs- und Testzentrum CARISSMA

- Aktive Sicherheit und Fahrerassistenz
- Car2X-Kommunikation
- Sicherheit autonomer Systeme

Technische Universität München – Lehrstuhl
für Fahrzeugtechnik

Lab: Autonomous Vehicle

- ganzheitliche Simulationsumgebung
- systematische Bewertung von autonomen Fahrfunktionen
- künstliche Intelligenz für autonome Fahrzeuge
- Angewandte Softwareentwicklung
- Unfallforschung

ZD.B-Themenplattform Vernetzte Mobilität
(bayern innovativ)

Konnektivität (V2X, 5G/6G, NTN)

Automatisierung (Robo-Taxis, People-Mover, autonome Shuttles)

- Geschäftsmodelle für neue Mobilitätsservices (Shared Mobility, MaaS)

A3 Ausgewählte Forschungsaktivitäten im Bereich Produktivitätsgewinne durch Industrie 4.0

Institut/Hochschule (alphabetische Sortierung)	Forschung und Entwicklung im Bereich Produktivitätsgewinne durch Industrie 4.0
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. – Institut für Robotik und Mechatronik	Mechanische Konstruktion Elektronik-Entwicklung Regelung und dynamische Simulation Perzeption und Kognition Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz Anwendungsentwicklung
DLR Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik Systems and Control Innovation Lab (SCIL)	Digitaler Zwilling und virtuelle Produktentwicklung Virtuelle Inbetriebnahme und physikalisch exakte Anlagensimulatoren Modellbildung und multiphysikalische Systemsimulation Fahrsimulationen auf Bewegungsplattformen Fahrzeugtechnik
fortiss GmbH	Landesforschungsinstitut des Freistaats Bayern für softwareintensive Systeme fortiss Mittelstand: Unterstützung von KMU bei der Umsetzung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Software & Systems Engineering AI Engineering IoT Engineering
Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite und Verarbeitungstechnik IGCV	Intelligente Vernetzung der Produktion Flexibilisierung der Produktion Künstliche Intelligenz in der Produktion Additive Fertigung
Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS	5G-Testbed »Industrie 4.0« <ul style="list-style-type: none"> ■ Echtzeitfähige Prozesssteuerung ■ Einsatz von autonomen mobilen Robotern (AMR) ■ Lokalisierung von Waren und Transportfahrzeugen Critical-IoT-Lösungen für die Steuerung industrieller Prozesse in Echtzeit Telemetriesysteme für Massive-IoT-Anwendungen Industriekommunikation: Ultra-reliable low-latency communication (URLLC) Intelligente RFID-Antenne (Mutlibeam-Antenne)
Fraunhofer-Projektgruppe Prozessinnovation Bayreuth	Additive Fertigung Intelligente Wertschöpfungsketten Effiziente Wertschöpfungssysteme Künstliche Intelligenz für eine nachhaltig optimierte Wertschöpfung

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS)	<p>Robotik Engineering-Systeme Automatisierungstechnik</p>
Hochschule Augsburg	<p>Künstliche Intelligenz Digitaler Zwilling modellbasierte, robotergestützte Prüfkonzepte</p>
Hochschule für angewandte Wissenschaften Kempten	<p>Operational Business Intelligence im Bereich Smart Factory (IDF) Digitaler Zwilling und virtuelle Inbetriebnahme von Produkt und Produktion (IPI)</p>
Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt - Technologietransferzentrum Elektromobilität (TTZ-EMO)	<p>Batteriesysteme Elektrische Maschinen Leistungselektronik Regelungstechnik</p>
Institut für Software & Systems Engineering (ISSE) Universität Augsburg	<p>Softwareengineering Robotik und Automation Selbstorganisierende und adaptive Systeme Künstliche Intelligenz</p>
KI-Produktionsnetzwerk Augsburg	<p>Angewandte KI in digitalisierten Produktionssystemen Selbstorganisierende Prozessroutenplanung Digitale Zwillinge für Produkt, Werkstoff, Prozess und Produktionsnetzwerk Lernende Fertigungsprozesse und Closed-Loop Produktion</p>
Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden	<p>Virtuelle Inbetriebnahme Motion Control Technologien Digitale Fabrik</p>
Technische Hochschule Aschaffenburg	<p>Intelligent Systems <ul style="list-style-type: none"> ■ Robotik ■ Fertigungsprozesse hochschuleigene Forschungs- und Transfereinrichtung ZeWiS (Zentrum für Wissenschaftliche Services und Transfer)</p>
Technologie Campus Grafenau	<p>Materialflussanalysen optimierte Einsatzplanung und Steuerung von Flurförderzeugen KI-basierte Systeme</p>
Technische Universität München	<p>Munich Institute of Robotics and Machine Intelligence (MIRMI) <ul style="list-style-type: none"> ■ KI.FABRIK BAYERN Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften</p>

- additive Fertigung
- Montagetechnik und Robotik
- Produktionsmanagement und Logistik
- Nachhaltige Produktion

Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme (AIS)

- Intelligente Fabrik/Digitaler Zwilling
- Mensch-Maschine-Interaktion
- Smart Data
- Machine Learning
- agentengesteuerte CPPS

ZD.B-Themenplattform Digital Production & Engineering (bayern innovativ)

Digitaler Zwilling
 Datenökosysteme
 Digitale Transformation
 Ökologische Nachhaltigkeit durch Digitalisierung

Technische Hochschule Ingolstadt

Almotion Bavaria

- Anwendungscluster „Digitale Produktion“
-

A4 Beschäftigte der Automobilindustrie nach Berufsgruppen

Abbildung 30: In der bayerischen Kernautomobilwirtschaft (WZ 29) Beschäftigte

2022, nach Berufsgruppen, absteigend sortiert und gerundet auf 100 Personen

Berufsgruppe	Besch.	Berufsgruppe	Besch.
251 Maschinenbau- und Betriebstechnik	37.300	341 Gebäudetechnik	800
273 Technische Produktionsplanung,-steuerung	32.600	613 Immobilienwirtschaft, Facility-Management	700
271 Technische Forschung und Entwicklung	26.100	633 Gastronomie	600
252 Fahrzeug-Luft-Raumfahrt-, Schiffbautechn.	20.700	731 Rechtsberatung, -sprechung und -ordnung	500
713 Unternehmensorganisation und -strategie	20.300	721 Versicherungs- u. Finanzdienstleistungen	400
513 Lagerwirt., Post, Zustellung, Güterumschlag	14.400	621 Verkauf (ohne Produktspezialisierung)	400
242 Metallbearbeitung	13.200	842 Leht.berufsb.Fächer, betr. Ausb., Betr.päd	400
611 Einkauf und Vertrieb	8.300	243 Metalloberflächenbehandlung	300
221 Kunststoff, Kautschukherstell., verarbeit	7.500	521 Fahrzeugführung im Straßenverkehr	300
431 Informatik	5.600	541 Reinigung	300
241 Metallerzeugung	5.200	712 Angeh. gesetzgeb. Körp., Interessenorg.	300
714 Büro und Sekretariat	5.100	844 Lehtätigk. außerschul. Bildungseinricht.	300
722 Rechnungswesen, Controlling und Revision	5.000	723 Steuerberatung	200
222 Farb- und Lacktechnik	3.500	343 Ver- und Entsorgung	200
516 Kaufleute - Verkehr und Logistik	3.300	913 Gesellschaftswissenschaften	200
245 Feinwerk- und Werkzeugtechnik	3.000	515 Überwachung u. Steuerung Verkehrsbetrieb	200
263 Elektrotechnik	2.900	333 Aus-, Trockenbau. Iso. Zimmer. Glas. Roll. bau	100
262 Energietechnik	2.700	623 Verkauf von Lebensmitteln	100
715 Personalwesen und -dienstleistung	2.400	342 Klempnerei, Sanitär, Heizung, Klimatechnik	100
272 Techn. Zeichnen, Konstruktion, Modellbau	2.400	293 Speisenzubereitung	100
244 Metallbau und Schweißtechnik	2.300	232 Technische Mediengestaltung	100
921 Werbung und Marketing	2.200	612 Handel	100
711 Geschäftsführung und Vorstand	1.800	732 Verwaltung	100
261 Mechatronik und Automatisierungstechnik	1.800	822 Ernährungs-, Gesundheitsberatung, Wellness	100
223 Holzbe- und -verarbeitung	1.400	924 Redaktion und Journalismus	100
531 Obj.-, Pers.-, Brandschutz, Arbeitssicherh.	1.400	332 Maler., Stuckat., Bauwerksabd, Bautenschutz	100
414 Physik	1.100	311 Bauplanung u. -überwachung, Architektur	100
432 IT-Systemanalyse, Anwenderber, IT-Vertrieb	1.000	811 Arzt- und Praxishilfe	100
433 IT-Netzwerk., -Koord., -Administr., -Orga.	900	231 Papier- und Verpackungstechnik	100
931 Produkt- und Industriedesign	900	813 Gesundh., Krankenpfl., Rettungsd. Geburtsh.	100
922 Öffentlichkeitsarbeit	900	622 Verkauf Bekleid., Elektro, KFZ, Hartwaren	100
434 Softwareentwicklung und Programmierung	900	923 Verlags- und Medienwirtschaft	100
525 Bau- und Transportgeräteführung	900	733 Medien-Dokumentations- Informationsdienst	100
282 Textilverarbeitung	800	283 Leder-, Pelzherstellung u. -verarbeitung	100
413 Chemie	800		

Quelle: Statistik der Bundesagentur für Arbeit, eigene Darstellung Prognos

© Prognos 2023

Literaturverzeichnis

acatech (2016): Kompetenzen für Industrie 4.0. Qualifizierungsbedarfe und Lösungsansätze. Link: https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/161202_POS_Kompetenz_Industrie40_Web.pdf (online, abgerufen am 08.09.2023)

ADAC (2022): Wasserstoffautos: Technik, Modelle, Tests, Tankstellen. Link: <https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/alternative-antriebe/wasserstoffauto-so-funktioniert-es/> (online, abgerufen am 07.08.2023)

Agora Verkehrswende (2021): Autojobs unter Strom. Link: https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2021/BCG-Jobstudie/64_Jobeffekte.pdf (online, abgerufen am 29.06.2023)

Audi (2020): Virtual Reality und 3D-Scans: Die digital geplante Fertigung des Audi e-tron GT (Audi TechFocus Newsletter #08). Link: <https://www.audi-mediacyber.com/de/pressemitteilungen/virtual-reality-und-3d-scansdie-digital-geplante-fertigung-des-audi-e-tron-gt-13508> (online, abgerufen am 07.08.2023)

Automation Valley Nordbayern (2021): Industrie 4.0: Forschungsprojekt entwickelt Technologien und Lösungen für den Mittelstand. Link: <https://automation-valley.de/industrie4-0-mittelstand/> (online, abgerufen am 07.08.2023)

Barbara Lenz, J. Christian Gerdes und Markus Maurer (2015): Autonomes Fahren: Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte. Link: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-45854-9> (online, abgerufen am 04.08.2023)

Bayerische Staatsregierung (2019): Hightech Agenda Bayern. Link: https://www.bayern.de/wp-content/uploads/2019/10/hightech_agenda_bayern.pdf (online, abgerufen am 29.06.2023)

Bayerische Staatsregierung (2019a): Hightech Agenda Bayern: Auf was wartet unser Land? Link: https://www.bayern.de/politik/hightech_agenda/#:~:text=Mit%20der%20Hightech%20Agenda%20Bayern%20und%20der%20Hightech%20Agenda%20Plus,Menschen%20C3%BCberall%20in%20Bayern%20profitieren. (online, abgerufen am 08.08.2023)

Bayerische Staatsregierung (2020): Bayern in allen vier Kompetenzclustern Forschungsfabrik Batterie stark vertreten (Pressemitteilung). Link: <https://www.bayern.de/bayern-in-allen-vier-kompetenzclustern-forschungsfabrik-batterie-stark-vertreten/> (online, abgerufen am 29.06.2023)

Bayerisches Landesamt für Statistik (2023): Genesis-online (Bayern). <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online> (online, abgerufen am 17.05.2023)

Bayerisches Landesamt für Statistik (2023a): Verarbeitendes Gewerbe – Statistische Berichte. https://www.statistik.bayern.de/statistik/wirtschaft_handel/verarbeitendes_gewerbe/index.html#modSidebarSubjectContent-E1500C (online, abgerufen am 03.07.2023)

Bayerisches Staatsministerium für Digitales (2023): Digitalplan Bayern – Zukunftsstrategie für unsere Heimat. Link: <https://digitalplan.bayern/bayern/de/home/file/fileId/489/name/Digitalplan%20Bayern.pdf> (online, abgerufen am 07.08.2023)

Bayerisches Staatsministerium für Digitales (2023): Mobilitätsprojekte in Bayern. Link: <https://www.stmd.bayern.de/themen/mobilitaetsprojekte-in-bayern/?filter=Autonomes%20Fahren> (online, abgerufen am 08.08.2023)

Bayern Innovativ (2022): Nicht öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Bayern. Link: <https://www.bayern-innovativ.de/de/seite/foerderprogramm-nicht-oeffentliche-ladepunkte> (online, abgerufen am 29.06.2023)

BayernLB Research (2023): Sektoranalyse: Automobilindustrie: Batterien „Made in Europe“ als Erfolgsgeschichte? Link: https://www.bayernlb.de/internet/media/de/ir/downloads_1/bayernlb_research/sektoer_publikationen/Automobilindustrie-Batterien-Made_in_Europe-_als_Erfolgsgeschichte_20230504.pdf (online, abgerufen am 29.06.2023)

BDEW – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (2023): Intelligente Netze für Elektromobilität. Link: <https://www.bdew.de/energie/elektromobilitaet-dossier/intelligente-netze-fuer-elektromobilitaet/> (online, abgerufen am 29.06.2023)

BMAS – Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2022): Die Auswirkungen von Digitalisierung und Dekarbonisierung auf Arbeitsinhalte und Arbeitsqualität. Link: https://www.denkfabrik-bmas.de/fileadmin/Downloads/Publikationen/Deep-Dive_Dekarbonisierung-und-Digitalisierung.pdf (online, abgerufen am 06.09.2023)

BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (2023): BMBF-Dachkonzept Batterieforschung. Link: https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/downloads/files/bmbf-dachkonzept-batterieforschung-2023.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (online, abgerufen am 29.06.2023)

BMFSFJ – Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend (2022): Gewinnung von Fachkräften in der frühkindlichen Bildung. Link: <https://www.recht-auf-ganztage.de/resource/blob/198560/01a2c884d3a965ee99d19bbeea8d7c92/studie-des-bmfsfj-zur-gewinnung-von-fachkraeften-in-der-fruehkindlichen-bildung-pdf-data.pdf> (online, abgerufen am 07.08.2023)

BMUV – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2021a): Bundes-Klimaschutzgesetz. Link: <https://www.bmuv.de/gesetz/bundes-klimaschutzgesetz> (online, abgerufen am 29.06.2023)

BMUV – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2021b): Mit wenig Energie viele Kilometer zurücklegen. Link: <https://www.bmuv.de/themen/luft-laerm-mobilitaet/verkehr/elektromobilitaet/effizienz-und-kosten> (online, abgerufen am 29.06.2023)

BMUV – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2020): Strombedarf und Netze: Ist das Stromnetz fit für die Elektromobilität? Link: <https://www.bmuv.de/themen/luft-laerm-mobilitaet/verkehr/elektromobilitaet/strombedarf-und-netze> (online, abgerufen am 29.06.2023)

BMW Group (2020): Der Additive Manufacturing Campus: Fahrzeugteile aus dem Drucker. Link: <https://www.bmwgroup.com/de/news/allgemein/2020/additive-manufacturing.html> (online, abgerufen am 07.08.2023)

BMW Group (2023): Unser Herz schlägt bayerisch. Und ganz stark für elektrisch. Link: <https://www.bmwgroup-werke.com/de/general/irlbach-strasskirchen.html> (online, abgerufen am 28.09.2023)

BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz der Bundesrepublik Deutschland (2021): IPCEIs in der Batteriezellfertigung. Link: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/I/infopapier-ipcei-batteriezellfertigung.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (online, abgerufen am 29.06.2023)

BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz der Bundesrepublik Deutschland (2022): Bekanntmachung der Richtlinie zur Förderung des Absatzes von elektrisch betriebenen Fahrzeugen (Umweltbonus). Vom 17. November 2022. Link: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/B/bundesanzeiger-foerderrichtlinie-umweltbonus-elektroautos.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (online, abgerufen am 29.06.2023)

BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2021): Wirtschaftliche Bedeutung regionaler Automobilnetzwerke in Deutschland. Link: https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Gutachten/PDF/2021/IW_Consult_BMWi_Autonetze.pdf (online, abgerufen am 10.10.2023)

Bundesanzeiger (2022): Förderaufruf Forschung und Entwicklung für eine erfolgreiche Transformation zur Elektromobilität und Systemintegration. Link: <https://www.bundesanzeiger.de/pub/publication/LODg3BC2te6aNjv7LGL/content/LODg3BC2te6aNjv7LGL/BAanz%20AT%2001.07.2022%20B3.pdf?inline> (online, abgerufen am 29.06.2023)

Bundesregierung (2020): Klimafreundliche, bezahlbare Mobilität. Link: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/kfz-steuer-1759368> (online, abgerufen am 29.06.2023)

Bundesregierung (2021): Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDB. Link: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1990812/1f422c60505b6a88f8f3b3b5b8720bd4/2021-12-10-koav2021-data.pdf?download=1> (online, abgerufen am 29.06.2023)

CAM (2022): Der Automotive- und Mobilitätssektor in München in der Transformation. Link: <https://www.wirtschaft-muenchen.de/produkt/automotive-und-mobilitaetssektor-muenchen-transformation/> (online, abgerufen am 04.08.2023)

Digitalisierung für Mittelfranken (2019): Industrie 4.0. Link: <https://digitalisierung-mittelfranken.de/enzyklopaedie/industrie-4-0/> (online, abgerufen am 07.08.2023)

e-mobil BW (2019): Strukturstudie BW^e mobil 2019: Transformation durch Elektromobilität und Perspektiven der Digitalisierung. Link: <https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Strukturstudie2019.pdf> (online, abgerufen am 29.06.2023)

e-mobil BW (2021): Wirtschaftsfaktor Ladeinfrastruktur – Potenziale für Wertschöpfung in Baden-Württemberg. Link: <https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e->

[mobilbw/Publikationen/Studien/e-mobil_BW-Studie-Wirtschaftsfaktor-Ladeinfrastruktur.pdf](#)
(online, abgerufen am 29.06.2023)

EnBW (2023): Energierückgewinnung durch Rekuperation: So funktioniert's. Link: <https://www.enbw.com/blog/elektromobilitaet/laden/energieerueckgewinnung-durch-rekuperation-so-funktioniert> (online, abgerufen am 29.06.2023)

ETA – Expertenkreis Transformation der Automobilwirtschaft (2023): Diagnose der Beschäftigungseffekte und Qualifizierungsbedarfe in der Automobilwirtschaft. Link: https://expertenkreis-automobilwirtschaft.de/media/pages/home/8664a12ace-1684314992/expertenkreis-transformation-automobilwirtschaft_diagnosepapier_beschaeftigung.pdf (online, abgerufen am 07.08.2023)

ETA (2023): Potenziale zur Zusammenarbeit im Bereich der Automotive-Softwareentwicklung. Link: https://expertenkreis-automobilwirtschaft.de/media/pages/home/ab2a6220d1-1673512649/expertenkreis-transformation-automobilwirtschaft_kurzpapier_softwareentwicklung.pdf (online, abgerufen am 04.08.2023)

EU-Kommission (2017): European Battery Alliance. Link: https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/industrial-alliances/european-battery-alliance_en (online, abgerufen am 29.06.2023)

EU-Kommission (2019): Der europäische Grüne Deal. Link: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0021.02/DOC_1&format=PDF (online, abgerufen am 29.06.2023)

EU-Kommission (2021a): „Fit für 55“: auf dem Weg zur Klimaneutralität – Umsetzung des EU-Klimaziels für 2030. Link: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0550> (online, abgerufen am 29.06.2023)

EU-Kommission (2021b): Staatliche Beihilfen: Kommission genehmigt öffentliche Förderung von 2,9 Mrd. EUR für ein zweites, die gesamte Batterie-Wertschöpfungskette betreffendes pan-europäisches Forschungs- und Innovationsvorhaben von zwölf Mitgliedstaaten (Pressemitteilung). Link: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/IP_21_226 (online, abgerufen am 29.06.2023)

EU-Kommission (2023): Batteries – Ensuring that batteries placed on the EU market are sustainable and circular throughout their whole life cycle. Link: https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/batteries_en (online, abgerufen am 29.06.2023)

Europäischer Rat (2023): „Fit für 55“: Rat nimmt Verordnung über CO₂-Emissionen für neue Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge an (Pressemitteilung). Link: <https://www.consilium.europa.eu/de/press/press-releases/2023/03/28/fit-for-55-council-adopts-regulation-on-co2-emissions-for-new-cars-and-vans/> (online, abgerufen am 29.06.2023)

ffe – Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (2022): Bidirektionales Lademanagement (BDL) – Intelligentes Zusammenspiel von Elektrofahrzeugen, Ladeinfrastruktur und Energiesystem. Link: <https://www.ffe.de/projekte/bdl/> (online, abgerufen am 29.06.2023)

Fraunhofer (2023): Bidirektionales Induktives Laden. Link: https://www.elektromobilitaet.fraunhofer.de/de/bauweisen_infrastruktur/bidirektionales_induktives_laden.html (online, abgerufen am 29.06.2023)

Fraunhofer IAO; Horváth & Partners (2016): The Value of Time. Nutzerbezogene Service-Potenziale durch autonomes Fahren. Link: https://blog.iao.fraunhofer.de/images/blog/studie-value_of_time.pdf (online, abgerufen am 28.09.2023)

Fraunhofer IAO (2018): ELAB 2.0: Wirkungen der Fahrzeugelektrifizierung auf die Beschäftigung am Standort Deutschland. Link: <https://www.muse.iao.fraunhofer.de/content/dam/iao/images/iao-news/elab20.pdf> (online, abgerufen am 29.06.2023)

Fraunhofer IAO (2020): Beschäftigung 2030. Auswirkungen von Elektromobilität und Digitalisierung auf die Qualität und Quantität der Beschäftigung bei Volkswagen. Link: <https://publicrest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/c024ab94-b0c0-4fd8-a69f-902aa9bfc9cd/content> (online, abgerufen am 07.08.2023)

Fraunhofer IFAM (2023): Elektrofahrzeuge als quasistationäre Energiespeicher. Link: <https://www.ifam.fraunhofer.de/de/magazin/elektrofahrzeuge-als-quasistationaere-energiespeicher.html> (online, abgerufen am 29.06.2023)

Fraunhofer IPT (2019): Eine Branche im Umbruch – Den technologischen Wandel in der Automobilindustrie gestalten. Link: <https://www.ipt.fraunhofer.de/content/dam/ipt/de/documents/whitepaper/Whitepaper-Eine-Branche-im-Umbruch-Automobil.pdf> (online, abgerufen am 07.08.2023)

Fraunhofer ISE (2023): Thermomanagement für eine nachhaltige Mobilität. Link: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/nachhaltige-mobilitaet/thermomanagement.html> (online, abgerufen am 29.06.2023)

Fraunhofer ISI (2020): Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf. Link: <https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cct/2020/Faktencheck-Batterien-fuer-E-Autos.pdf> (online, abgerufen am 29.06.2023)

Fraunhofer ISI (2021): Recycling von Lithium-Ionen-Batterien: Chancen und Herausforderungen für den Maschinen- und Anlagenbau. Link: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cct/2021/VDMA_Kurzstudie_Batterierecycling.pdf (online, abgerufen am 29.06.2023)

Fraunhofer IST (2022): Energieeffizient und CO₂-neutral: Geschlossener Rohstoffkreislauf und mehrfaches Recycling von Batterien (Pressemitteilung). Link: <https://www.ist.fraunhofer.de/de/presse-publikationen/2022/geschlossener-rohstoffkreislauf-mehrfaches-recycling-von-batterien.html> (online, abgerufen am 29.06.2023)

Handelsblatt (2020): Warum die Coronakrise der 3D-Druck-Technologie einen Schub gegeben hat. Link: <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/industrie-4-0-warum-die-coronakrise-der-3d-druck-technologie-einen-schub-gegeben-hat/26658442.html> (online, abgerufen am 07.08.2023)

Handelsblatt (2023): BMW wagt einen besonderen Schritt. Link: <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/autonomes-fahren-bmw-wagt-einen-besonderen-schritt/29405572.html> (online, abgerufen am 28.09.2023)

Hans-Böckler-Stiftung (2018): Beschäftigungswirkungen der Fahrzeugdigitalisierung: Wirkungen der Digitalisierung und Fahrzeugautomatisierung auf Wertschöpfung und Beschäftigung. Link: https://www.boeckler.de/pdf/p_study_hbs_406.pdf (online, abgerufen am 04.08.2023)

Hans-Böckler-Stiftung (2021): Betrieblicher Wandel bei Automobilzulieferern durch Elektromobilität. Link: https://www.boeckler.de/fpdf/HBS-008209/p_fofoe_WP_234_2021.pdf (online, abgerufen am 29.06.2023)

Hans-Böckler-Stiftung (2022): Transformation der Wertschöpfung in der Automobilbranche (Teilbericht Arbeitspaket 4: Entwicklungen im Regime). Link: https://www.boeckler.de/fpdf/HBS-008335/p_fofoe_WP_249_2022.pdf (online, abgerufen am 07.08.2023)

IAB - Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (2018): Elektromobilität 2035 Effekte auf Wirtschaft und Erwerbstätigkeit durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs von Personenkraftwagen. Link: <https://doku.iab.de/forschungsbericht/2018/fb0818.pdf> (online, abgerufen am 29.06.2023)

IAB (2016): Wirtschaft 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Ökonomie – Szenario-Rechnungen im Rahmen der BIBB-IAB- Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen. Link: <https://doku.iab.de/forschungsbericht/2016/fb1316.pdf> (online, abgerufen am 07.08.2023)

ifo Institut – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München e.V. (2019): Fahrzeugbau – wie verändert sich die Wertschöpfungskette? Link: https://www.ifo.de/DocDL/ifo-Studie_Fahrzeugbau_IHK_Impulse.pdf (online, abgerufen am 29.06.2023)

IHK Nordbayern (2023): Industrie 4.0 in Nordbayern – Reifegrad-Messung 2022. Link: https://www.ihk-nuernberg.de/de/media/PDF/Innovation-Umwelt/automation-vernetzte-produktion-industrie-4.0-kuenstliche-intelligenz/broschueren-und-publikationen/industrie_4_0_reifegrad_messung-2022.pdf (online, abgerufen am 07.08.2023)

IPE (2020): Automobile Wertschöpfung 2030/2050. Studie im Auftrag des BMWK. Link: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/automobile-wertschoepfung-2030-2050.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (online, abgerufen am 29.06.2023)

juicify (2023). E-Mobilität: Wie Autonomes Fahren unsere Mobilität verändern kann? Link: <https://juicify.green/wie-autonomes-fahren-unsere-mobilitaet-veraendern-kann/> (online, abgerufen am 08.08.2023)

KBA - Kraftfahrt-Bundesamt (2023): Bestand. Link: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand_node.html (online, abgerufen am 29.06.2023)

KfW Research (2022): Elektromobilität in Deutschland: Ausbau der Ladeinfrastruktur muss Schritt halten. Link: <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Fokus-Volkswirtschaft/Fokus-2022/Fokus-Nr.-379-April-2022-Ladeinfrastruktur.pdf> (online, abgerufen am 29.06.2023)

MHP (2023): Industrie 4.0 Barometer 2023. Link: https://www.mhp.com/fileadmin/www.mhp.com/downloads/studien/MHPStudie_Industrie_4.0_Barometer_2023_DE.pdf (online, abgerufen am 07.08.2023)

NPM - Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (2021): Batterierecyclingmarkt Europa: Chance für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft. Link: https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2021/10/NPM_AG4_Batterierecycling.pdf (online, abgerufen am 29.06.2023)

OECD (2016): The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis. Link: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/5jlz9h56dvq7-en.pdf?expires=1691415725&id=id&accname=guest&checksum=A72782F0D76F4B33AB0E0A1F1CD0DOCD> (online, abgerufen am 07.08.2023)

Plattform Industrie 4.0 (2020): Nachhaltige Produktion: Mit Industrie 4.0 die Ökologische Transformation aktiv gestalten. Link: https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Nachhaltige-Produktion.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (online, abgerufen am 07.08.2023)

Proff, H. et al. (2021): Accelerating Digitalization - Chancen der Digitalisierung erkennen und nutzen. Link: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-658-31456-9.pdf?pdf=button> (online, abgerufen am 07.08.2023)

Roland Berger (2023): The current state of "Industry 4.0" | What can other industries learn from leading automotive manufacturers? Link: https://content.rolandberger.com/hubfs/07_presse/22_2164_FOC_Industry_4.0-09.pdf (online, abgerufen am 07.08.2023)

RWTH und VDMA (2021): Recycling von Lithium-Ionen-Batterien. Link: https://www.pem.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaabdqfase (online, abgerufen am 07.08.2023)

Sommer und Vance (2021): Do more chargers mean more electric cars? Link: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac05f0/pdf> (online, abgerufen am 29.06.2023)

Stan, C. (2021). Automobile mit Antrieb durch Verbrennungsmotor und Elektromotor(en). In: Automobile der Zukunft. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-64116-3_16

Statistisches Bundesamt (2023): Genesis online. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (online, abgerufen am 17.05.2023)

StMWi - Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (2021): Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Bayern. Link: <https://www.stmwi.bayern.de/foerderungen/ladeinfrastruktur/> (online, abgerufen am 29.06.2023)

Strategy& und RWTH (2023): EU recycling market. The EU recycling market – a viable and sustainable business. Link: <https://www.strategyand.pwc.com/de/en/industries/automotive/recycling-european-battery.html> (online, abgerufen am 17.08.2023)

SZ – Süddeutsche Zeitung (2023): Überwiegend Freude über das Ja zur Batteriefabrik in Niederbayern. Link: <https://www.sueddeutsche.de/bayern/bayern-buergerentscheid-strasskirchen-bmw-batteriefabrik-freude-wirtschaft-1.6254390> (online, abgerufen am 28.09.2023)

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change (2015): The Paris Agreement. Link: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement> (online, abgerufen am 29.06.2023)

Universität Paderborn (2023): „MADE-3D“: Multimaterial-Bauteile aus dem 3D-Drucker. Link: <https://www.uni-paderborn.de/nachricht/100106> (online, abgerufen am 07.08.2023)

vbw - Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V. (2021): Auto-Cluster Bayern Entwicklung und Zukunftsperspektiven. Link: <https://www.vbw-bayern.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Wirtschaftspolitik/2021/Downloads/Studie-Auto-Cluster-Bayern-M%C3%A4rz-2021.pdf> (online, abgerufen am 29.06.2023)

vbw - Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V. (2019): TechCheck 2019. Erfolgsfaktor Mensch. Link zum Download: <https://www.vbw-zukunftsrat.de/TechCheck-2019/Analyse> (online, abgerufen am 07.08.2023)

vbw/Prognos (2023): Arbeitslandschaft Bayern: Entwicklungen in den kreisfreien Städten und Landkreisen. Link zum Download: <https://prognos-vbw.webmag.io/vbw-regionale-arbeitslandschaft-bayern/cover> (online, abgerufen am 11.09.2023)

VDA - Verband der Automobilindustrie (2021): Die Automobilität der Zukunft. Chancen für eine zukunftsweisende Forschungs- und Innovationspolitik. Link: <https://www.vda.de/dam/jcr:b961d8e6-b8a9-42e1-a71c-e6f9ad33d810/Die%20Automobilit%C3%A4t%20der%20Zukunft%20-%20Strategiepapier%20zu%20Forschung%20und%20Innovation.pdf> (online, abgerufen am 07.08.2023)

VDMA - Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (2022): Antrieb im Wandel – die besten Lösungen entstehen im Wettbewerb. Link: <https://www.vdma.org/viewer/-/v2article/render/1212912> (online, abgerufen am 29.06.2023)

ZEW (2016): Herausforderungen der Digitalisierung für die Zukunft der Arbeitswelt. Link: <https://ftp.zew.de/pub/zew-docs/policybrief/pb08-16.pdf> (online, abgerufen am 07.08.2023)