SPECIALISTS IN
EMPIRICAL ECONOMIC
RESEARCH

GWS Research Report 2024/04

Fachkräftebedarf für den zukünftigen EE-Ausbau

Quantitative Abschätzungen bis zum Jahr 2030

Philip Ulrich

Dietmar Edler

Gerd Ahlert

Impressum

Autor:innen

Philip Ulrich

Tel.: +49 (0) 541 40933-200, E-Mail: ulrich@gws-os.com

Dietmar Edler

Uhlandstr. 127, 10717 Berlin, dietmar.edler@gmail.com

Gerd Ahlert

Tel.: +49 (0) 541 40933-170, E-Mail: ahlert@gws-os.com

Titel

Fachkräftebedarf für den zukünftigen EE-Ausbau – Quantitative Abschätzungen bis zum Jahr 2030

Veröffentlichungsdatum

© GWS mbH Osnabrück, September 2024

Haftungsausschluss

Die in diesem Papier vertretenen Auffassungen liegen ausschließlich in der Verantwortung der Verfasser und spiegeln nicht notwendigerweise die Meinung der GWS mbH wider.

Förderhinweis

Die Ergebnisse wurden im Rahmen des Forschungsprojekts 44/19 „Ökonomische Indikatoren des Energiesystems“ im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) erarbeitet.

Bildnachweise Titelbild: ArtistGNDphotography

HERAUSGEBER DER GWS RESEARCH REPORT SERIES

Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) mbH

Heinrichstr. 30

49080 Osnabrück

ISSN 2196-4262

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis **5**

Tabellenverzeichnis **7**

Abkürzungsverzeichnis **8**

1 Einleitung **1**

2 Grundlagen und Methodik **2**

2.1 Arbeitskräftebedarf insgesamt 2

2.2 Abschätzung der Bedarfsstruktur 8

3 Ausbaupfade und zentrale Annahmen **10**

3.1 Allgemeine Annahmen 10

3.2 Politische Zielvorgaben zur Stromerzeugung 10

3.3 Politische Zielvorgaben für die Bereitstellung von Raumwärme 11

3.4 Photovoltaik 12

3.5 Windenergie an Land 14

3.6 Windenergie auf See 16

3.7 Übrige Stromtechnologien 18

3.8 Wärmepumpen 19

3.9 Übrige Wärmetechnologien 21

4 Von den Investitionen zum Arbeitskräftebedarf **26**

4.1 Investitionen 26

4.2 Im Inland wirksame Nachfrage aus Investitionen und Exporten 28

4.3 Nachfrage durch Betrieb und Wartung von EE-Anlagen 31

4.4 Entwicklung der Nachfrage nach Arbeitskräften bis zum Jahr 2030 32

5 Arbeits- und Fachkräftebedarf 2026 und 2030 **39**

5.1 Überblick zur Struktur nach Berufen und Anforderungsniveaus 39

5.2 Die wichtigsten Berufe 44

5.3 Abgleich mit der Engpasssituation nach Berufen 49

6 Resümee **53**

Anhang **56**

Entwicklungen der Bruttobeschäftigung im Jahr 2022 64
Details zu den wichtigsten Berufen 66

Literaturverzeichnis 69

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland seit dem Jahr 2000 3

Abbildung 2: Übersicht methodische Vorgehensweise zur Abschätzung des Arbeitskräftebedarfs durch den Ausbau erneuerbarer Energien 6

Abbildung 3: Jährliche Veränderung der Arbeitsproduktivität je Erwerbstätigen zum Vorjahr in ausgewählten Hauptgruppen im Zeitraum 2020 bis 2022 in Prozent 7

Abbildung 4: Übersicht zur Methode der Erfassung des Bedarfs des EE-Ausbaus an Berufen 9

Abbildung 5: Zielausbaupfad für Photovoltaik und Entwicklung des Bestands 13

Abbildung 6: Investitionen in Photovoltaik-Anlagen im Zielszenario 14

Abbildung 7: Zielausbaupfad für Wind onshore und Entwicklung des Bestands 15

Abbildung 8: Investitionen in Windenergie-an-Land-Anlagen im Zielszenario 16

Abbildung 9: Zielausbaupfad für Wind offshore und Entwicklung des Bestands 17

Abbildung 10: Investitionen in Windenergie-auf-See-Anlagen im Zielszenario 18

Abbildung 11: Zubau und Bestand an Wärmepumpen im Zeitraum 2020 bis 2030 in 1.000 Einheiten 20

Abbildung 12: Investitionen in Wärmepumpen im Zeitraum 2020 bis 2030 in Mrd. Euro 21

Abbildung 13: Investitionen in Solarthermie in Mrd. Euro im Zeitraum 2020 bis 2030 23

Abbildung 14: Anteil unterschiedlicher Typen von Biomassekleinanlagen in Prozent im Jahr 2022 24

Abbildung 15: Investitionen für Biomassekleinanlagen in Mrd. Euro im Zeitraum 2020 bis 2030 25

Abbildung 16: Investitionen in erneuerbare Energien in Millionen Euro im Zeitraum 2018 bis 2030 27

Abbildung 17: Schematische Darstellung der Berechnungsschritte zur Ableitung der im Inland wirksamen Nachfrage und der Bruttoproduktion 28

Abbildung 18: Saldo im Außenhandel differenziert nach EE-Technologien in Millionen Euro im Zeitraum 2018 bis 2030 29

Abbildung 19: Aus Investitionen und Exporten resultierende im Inland wirksame Nachfrage in Millionen Euro Im Zeitraum 2018 bis 2030 30

Abbildung 20: Ausgaben für Betrieb und Wartung in Millionen Euro im Zeitraum 2018 bis 2030 32

Abbildung 21: Im Inland wirksame Nachfrage für den Ausbau und Betrieb von EE-Anlagen in Millionen Euro im Zeitraum 2018 bis 2030 33

Abbildung 22: Induzierte Bruttoproduktion (Investitionen, Exporte und Betrieb) in Millionen Euro im Zeitraum 2018 bis 2030 34

Abbildung 23: Entwicklung des Arbeitskräftebedarfs durch erneuerbare Energien nach Technologien in Personen im Zeitraum 2018 bis 2030 35

Abbildung 24: Entwicklung des Arbeitskräftebedarfs in Personen in den vier großen Bereichen der erneuerbaren Energien im Zeitraum 2018 bis 2030 36

Abbildung 25: Bedeutung von Investitionen und Exporte sowie Betrieb und Wartung für die Entwicklung des Arbeitskräftebedarfs in Personen im Zeitraum 2018 bis 2030 36

Abbildung 26: Zunahme/Abnahme der Nachfrage nach Arbeitskräften in den Perioden 2026/2022 und 2030/2026 37

Abbildung 27: Zunahme/Abnahme der Nachfrage nach Arbeitskräften in den Perioden 2026/2022 und 2030/2026 nach Technologien 38

Abbildung 28: Verteilung der Anforderungsniveaus auf die EE-Beschäftigten nach Segmenten und im Zeitverlauf 40

Abbildung 29: Entwicklung des Bedarfs nach Anforderungsniveaus 43

Abbildung 30: Verteilung der Arbeitskräfte auf neun Berufsbereiche nach KdlB im Jahr 2030 – direkt, indirekt und Vergleichswert 44

Abbildung 31: Übersicht zu den zehn wichtigsten Berufen innerhalb des EE-Arbeitskräftebedarfs 46

Abbildung 32: Entwicklung der zehn höchsten Rangplätze der Berufsgruppen 47

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ziele aus dem Erneuerbare-Energien-Gesetz sowie Windenergie-auf-See-Gesetzes, installierte Leistung in GW	11
Tabelle 2:	Übersicht zu zentralen Indikatoren zu Berufsstruktur und Konzentration	42
Tabelle 3:	Entwicklungen in einzelnen Berufen im Detail und relative Bedeutung	48
Tabelle 4:	Bedarf nach Fokusberufen, Entwicklungen und Bedeutung insgesamt	51
Tabelle 5:	Berufsgruppen mit dem höchsten Bedarf im Jahr 2030, Windenergie an Land	58
Tabelle 6:	Berufsgruppen mit dem höchsten Bedarf im Jahr 2030, Windenergie auf See	58
Tabelle 7:	Berufsgruppen mit dem höchsten Bedarf im Jahr 2030, Photovoltaik	59
Tabelle 8:	Berufsgruppen mit dem höchsten Bedarf im Jahr 2030, Wärmepumpe	60

Abkürzungsverzeichnis

BA	Bundesagentur für Arbeit
BMAS	Bundesministerium für Arbeit und Soziales
CSP	Concentrated Solar Power
EE	Erneuerbare Energien
EMAS	Eco-Management and Audit Scheme
KldB	Klassifikation der Berufe
PV	Photovoltaik
WZ	Wirtschaftszweige

1 Einleitung

Die Bundesrepublik Deutschland hat sich auf die Erreichung der Klimaneutralität im Jahr 2045 zum Ziel gesetzt. Zur Erreichung dieses Ziels wurden – neben einem Bündel anderer Maßnahmen – ambitionierte Ziele für den Ausbau der erneuerbaren Energien festgelegt. Bei der Ausarbeitung politischer Programme, mit denen in hohen Ausmaß Investitionen angestoßen werden sollen, wird verstärkt die Frage zu beantworten sein, welcher zusätzliche Bedarf an Fachkräften für die Durchführung der Maßnahmen und die Erreichung der Ziele entsteht. Denn jede gesellschaftliche Aufgabe hat, wie auch die Transformation des Energiesystems, einen spezifischen Bedarf an Arbeitskräften. Den spezifischen Bedarf für die Energiewende abzuschätzen, stellt dabei eine wichtige Grundlage dar, um begleitende Maßnahmen einzuleiten und politische Programme so auszulegen, dass sie auch aus Sicht des Arbeitsmarktes, z. B. im Hinblick auf die Verfügbarkeit der erforderlichen Arbeitskräfteprofils, realistisch sind. Eine solche Abschätzung muss immer auch die Zukunft in den Blick nehmen und auf Grundlage eines oder mehrere Szenarien wichtige Veränderungen und Unterschiede herausarbeiten. Nicht zuletzt bietet eine Quantifizierung des Bedarfs auch Ansatzpunkte zur Ausgestaltung von Qualifizierungsmaßnahmen und Vermittlungsprojekte[1].

Die Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien ist ein stark beachteter Indikator, um die ökonomischen und gesellschaftlichen Fortschritte bei der Energiewende zu analysieren. Vor dem Hintergrund der „Zeitenwende“ durch den Angriffskrieg Russlands auf die Ukraine und die damit verbundenen Notwendigkeiten einer Beschleunigung der Transformation des Energiesystems hat der Indikator noch an Bedeutung gewonnen. Mit der Aktualisierung der Bruttobeschäftigung wird eine kontinuierliche Darstellung der Bruttobeschäftigung gewährleistet, um damit die aktuelle politische Analyse und Diskussion kompetent begleiten zu können. Aufbauend auf Vorarbeiten im laufenden Vorhaben (erstmalige Vorlage von Ergebnissen für die Berichtsjahre 2018 bis 2021 sowie insbesondere Aktualisierung der Berechnungsgrundlagen für die Herstellung von EE-Anlagen) sowie unter Berücksichtigung der Erfahrungen aus bereits abgeschlossenen Vorgängerstudien (Lehr et al. 2015; O'Sullivan et al. 2019) wird die etablierte Zeitreihe zur Beschäftigung durch erneuerbare Energien am aktuellen Rand fortgesetzt.

Um den zukünftigen Bedarf in Anzahl und Struktur abzuschätzen, wird eine Fortschreibung der EE-Bruttobeschäftigung vorgenommen. Das dafür notwenige Szenario nimmt zentrale Zielpfade aus politischen Programmen und Gesetzen auf, um notwendige Investitionen bis 2030 zu quantifizieren und die Entwicklung des Anlagenparks fortzuschreiben. Auf Grundlage dieser Abschätzungen wird die Bruttobeschäftigung des Ausbaus erneuerbarer Energien modelliert.

Für die Abschätzung des Bruttobedarfs nach Berufen und Anforderungsniveaus wird das vorliegende Modell weiterentwickelt und angewendet. Im Ergebnis liegen für die Jahre 2026 und 2030 Mengengerüste Strukturen vor und hochrelevante Arbeitsplatzprofile für die Realisierung der politischen Ziele werden ausgearbeitet.

---

[1] Beispielsweise https://10000tage.org/

2 Grundlagen und Methodik

Im Folgenden werden die Arbeitsschritte und die methodische Vorgehensweise ausgeführt, die notwendig sind, um zu einer quantitativen Abschätzung des Fachkräftebedarfs durch den Ausbau erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2030 entlang eines zielerreichenden Ausbaupfades zu gelangen.

Die Ausgestaltung des Ausbaupfades, der Deutschland auf den Weg der Klimaneutralität bis zum Jahr 2045 bringen soll, ergibt sich aus vorliegenden Studien und Szenarien, die die Grundlage für die aktuelle Zielbildung der Bundesregierung bilden. In Abschnitt 3 werden die sich ergebenden Zielszenarien für den Ausbau der erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2030 ausführlich beschrieben und die daraus resultierenden Zielgrößen in physischen Einheiten und in ökonomischen Größen (Investitionen) abgeleitet.

Die sich ergebenden Investitionserfordernisse werden – anknüpfend an vorliegende Daten am aktuellen Rand – bis zum Jahr 2030 quantitativ dargestellt. Untersucht werden alle beim Ausbau genutzten Erneuerbare Energietechnologien (EE-Technologien), ein besonderer Fokus wird jedoch auf die vier Technologien gelegt, die für die Zielerreichung und für den Ausbau entscheidend sind:

- Windenergie an Land (Wind onshore)
- Windenergie auf See (Wind offshore)
- Photovoltaik (PV) und
- Wärmepumpen.

Die abgeleiteten Investitionspfade bilden die Grundlage, um die mit diesen Investitionen verbundene notwendige (Brutto-)Produktion zu bestimmen. Aus diesen Produktionserfordernissen lässt sich der hierfür notwendige Bedarf an Arbeitskräften ableiten. Hinzu kommt noch der Arbeitskräftebedarf, der sich aus dem Betrieb und der Wartung des bestehenden und weiter wachsenden EE-Anlagenbestandes ergibt. Dieser so abgeleitete Arbeitskräftebedarf (differenziert nach Produktionsbereichen) bildet wiederum die Grundlage, um die im Zentrum des Interesses stehende Analyse des Fachkräftebedarfs nach Berufsgruppen und Anforderungsniveaus durchzuführen.

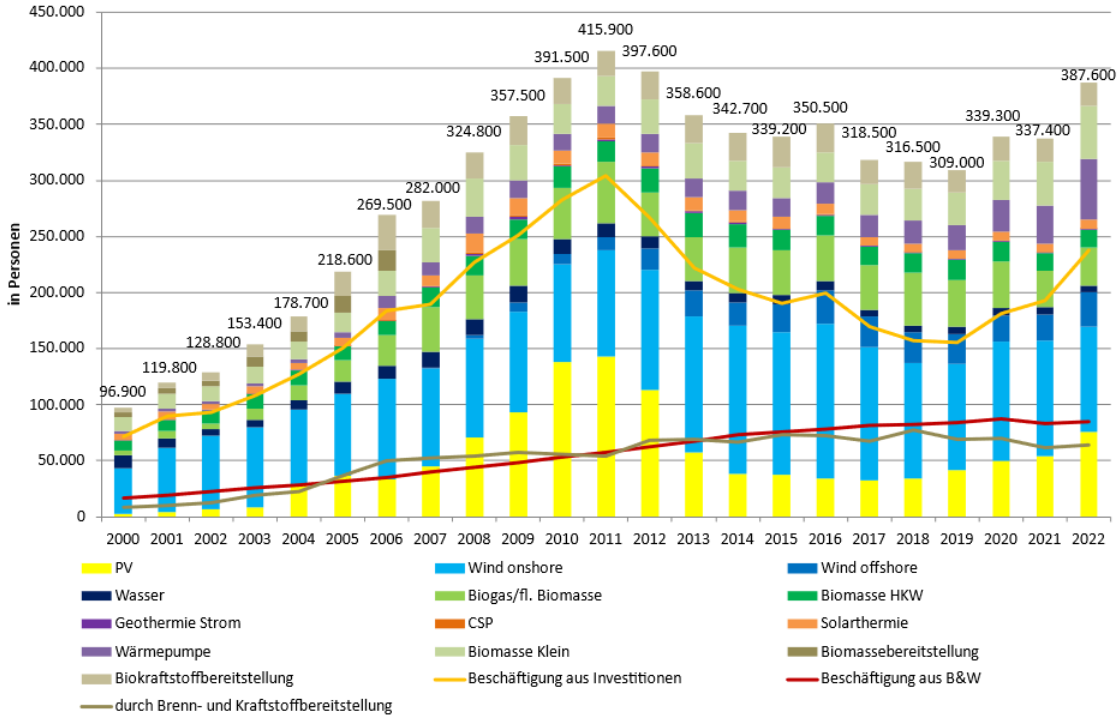
Im folgenden Abschnitt 2.1 wird zunächst methodisch erläutert, wie – anknüpfend an erprobte Methoden und aktuelle Ergebnisse für das Berichtsjahr 2022 – die Bruttobeschäftigung bzw. der Arbeitskräftebedarf für die Stichjahre 2026 und 2030 ermittelt wird. Danach wird in Abschnitt 2.2 erläutert, wie sich diese Bedarfe weiter nach Berufsgruppen und Anforderungsniveaus differenzieren lassen.

2.1 Arbeitskräftebedarf insgesamt

Die Abschätzung des Arbeitskräftebedarfs orientiert sich an den bisherigen Arbeiten zur Berechnung der Bruttobeschäftigung durch den Ausbau der erneuerbaren Energien. Aktuell liegen Ergebnisse bis zum Berichtsjahr 2022 vor. Wie Abbildung 1 zu entnehmen ist, wuchs die Beschäftigung durch den Ausbau der erneuerbaren Energien von knapp 100.000 Personen im Jahr 2000 kontinuierlich bis zum Jahr 2011 auf rund 415.000 Personen. Danach begann eine Phase des Rückgangs bis zum Jahr 2019. Der Rückgang

um insgesamt rund 100.000 Beschäftigten wurde durch den Zusammenbruch der einheimischen PV-Industrie ausgelöst und durch spürbare Rückgänge von Investitionen für Neuinstallation auch in anderen EE-Bereichen fortgesetzt. Seit dem Jahr 2020 steigen die Investitionen in EE-Anlagen und damit auch die Beschäftigung wieder an.[2] Die Entwicklung der EE-Beschäftigung im Jahr 2022 wird im Anhang 1 ausführlich beschrieben. Insgesamt wird deutlich, dass die Dynamik der EE-Beschäftigung durch die Entwicklung der Investitionen getragen wird, während der Bereich Betrieb und Wartung sich kontinuierlich entwickelt und als stabilisierender Faktor wirkt.

Abbildung 1: Entwicklung der Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland seit dem Jahr 2000



Quelle: DLR & GWS (2024), eigene Berechnungen

Die Ergebnisse zur Bruttobeschäftigung beruhen auf einer Reihe von Studien, vgl. zum Beispiel (O'Sullivan et al. 2023; Lehr et al. 2015; Lehr et al. 2011), die methodisch alle einem vergleichbaren Schätzansatz folgen. Die Abschätzung der Beschäftigungswirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien erfolgt jeweils modelltheoretisch mit einem nachfrageorientierten Schätzansatz auf Basis des statischen offenen Mengenmodells der Input-Output- Analyse (Leontief 1986; Miller & Blair 2009; Stäglin et al. 1992). Dieses etablierte Modell der empirischen Wirtschaftsforschung erlaubt eine Zurechnung der Produktionswirkungen und daraus abgeleiteter Beschäftigungswirkungen zu einzelnen Komponenten der Endnachfrage. Dabei werden neben den direkt ausgelösten Produktions- und Beschäftigungswirkungen in den Wirtschaftseinheiten, die ihre Produkte direkt an die Endnachfrage liefern, auch die indirekt ausgelösten Wirkungen in den

[2] Zu den Besonderheiten der Stagnation im „Pandemiejahr“ 2021 vgl. O'Sullivan et al. 2023

zuliefernden Bereichen der Wirtschaft miterfasst, also in jenen Wirtschaftseinheiten, die Vorleistungen (Waren und Dienstleistungen) für den Produktionsprozess bereitstellen.

Empirisch basieren die Rechnungen auf der Input-Output Rechnung des Statistischen Bundesamtes, die einen detaillierten Einblick in die Güterströme und Produktionsverflechtungen in der Volkswirtschaft und mit der übrigen Welt gibt (Statistisches Bundesamt 2010). Die Input-Output-Rechnung beinhaltet die relevanten amtlichen Daten zur sektoralen Wirtschaftsentwicklung in Deutschland und ist eng mit der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung verzahnt. Die hier durchgeführten Rechnungen nutzen die Input-Output-Tabelle des Statistischen Bundesamtes für das Berichtsjahr 2019, die aktualisiert im Jahr 2023 veröffentlicht wurde (Statistisches Bundesamt 2023). Die Tabelle ist nach der Klassifikation der Wirtschaftszweige Ausgabe 2008 (WZ08) bzw. der Statistischen Güterklassifikation in Verbindung mit den Wirtschaftszweigen, Ausgabe 2008 (CPA 2008) gegliedert und verfügt über eine Gliederungstiefe von 72 Produktionsbereichen.

Allerdings kann im Bereich der erneuerbaren Energien für wesentliche Berechnungsgrundlagen nicht auf Ergebnisse der amtlichen Statistik zurückgegriffen werden, sondern es wird – wie in Lehr et al. (2015), O'Sullivan et al. (2019) und O'Sullivan et al. (2023) erläutert – auf Ergebnisse von Detailstudien Bezug genommen. Es werden folgende Bereiche in Ergänzung der amtlichen Gliederung der Produktionsbereiche zusätzlich im Kontext der Input-Output-Tabelle dargestellt:

- **Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien (intern wird nach den elf Technologiebereichen Wind onshore, Wind offshore, Photovoltaik, Solarthermie, Solar Heiz- und Kraftwerke (CSP), Wasserkraft, Biomasse groß, Biomasse klein, Biogas, Tiefengeothermie und Wärmepumpen unterschieden)**
- **Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien (ebenfalls differenziert nach den oben genannten Technologiebereichen, allerdings gibt es im Bereich Solar Heiz- und Kraftwerke (CSP) keinen Anlagenbetrieb in Deutschland)**

Die Struktur einer neuen Branche (z.B. der Branche Herstellung von Anlagen zur Nutzung von Windenergie an Land) wird im Rahmen einer Input-Output-Tabelle auf der Kostenseite dadurch bestimmt, in welchem Umfang Vorleistungen von den übrigen inländischen Produktionsbereichen und aus dem Ausland in Anspruch genommen werden und in welchem Umfang in der Branche eigene Wertschöpfung generiert wird. Formal werden diese Informationen durch eine neue, zusätzliche Spalte in der Input-Output-Tabelle repräsentiert, welche die Input- bzw. Kostenstruktur des neuen Sektors widerspiegelt. Die Lieferungen des neuen Produktionsbereichs werden in einer neuen, zusätzlichen Zeile abgebildet, die seine Output- bzw. Absatzstruktur beschreibt. In der Zeile wird verbucht, in welchem Umfang der neue Bereich Güter an die anderen Branchen der Volkswirtschaft bzw. an die Endnachfrage liefert. In der Endnachfrage werden die Güter verbucht, die entweder dem Privaten Verbrauch dienen oder als Investitionsgüter letzte Verwendung finden. Auch die Lieferungen ins Ausland (Exporte) werden in der Endnachfrage ausgewiesen. Die so ergänzte Input-Output-Tabelle umfasst 92 Produktionsbereiche (72 Produktionsbereiche aus der amtlichen Tabelle, 11

Produktionsbereichen für die Herstellung von EE-Anlagen sowie 10 Produktionsbereiche[3] für Betrieb und Wartung von EE-Anlagen) und ist Ausgangspunkt der folgenden Berechnungen.

Eine wichtige Voraussetzung für die Berechnung der Beschäftigung im Bereich erneuerbare Energien ist die Abgrenzung und quantitative Schätzung der mit der Nutzung der erneuerbaren Energien verbundenen Nachfragegrößen (Abbildung 2). Es werden folgende Nachfragekategorien in die Schätzung einbezogen:

- **Investitionsausgaben für neu installierte Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien, soweit diese aus der inländischen Produktion stammen (vgl. die Ausführungen zur Ableitung der im Inland wirksamen Nachfrage),**
- **Exportnachfrage nach in Deutschland produzierten Anlagen und Komponenten zur Nutzung erneuerbarer Energien,**
- **laufende Ausgaben für Betrieb und Wartung von in Deutschland installierten Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien,**

Die bei der Ermittlung der Bruttobeschäftigung der erneuerbaren Energien einbezogenen Bereiche Biomassebrennstoffe und Biokraftstoffe bleiben hier in den Abschätzungen für die Jahre 2026 und 2030 unberücksichtigt.

Ansatzpunkt für die durch die Nachfrage nach EE-Anlagen induzierte Beschäftigung sind nicht die Investitionen in Gänze, sondern nur die Investitionsgüter, die in Deutschland (also im Inland) nachgefragt und produziert werden (im Inland wirksame Nachfrage). Aus methodischer Perspektive muss deshalb in einem weiteren Berechnungsschritt von der Investitionsnachfrage, die in Deutschland insgesamt entfaltet wird, noch jener Teil der Investitionen abgezogen werden, der durch Importe abgedeckt wird. Der Abzug dieser importierten EE-Anlagen ist notwendig, weil für diesen Teil der Nachfrage keine Beschäftigungseffekte in Deutschland anfallen, sondern im Ausland. Durch diesen Bereinigungsschritt erfolgt somit der Übergang von der Investitionsnachfrage, die in Deutschland insgesamt entfaltet wird, auf die im Inland wirksame Nachfrage nach EE-Anlagen. Gleichzeit müssen die Exporte von Herstellern von EE-Anlagen und Komponenten für EE-Anlagen zur im Inland wirksamen Nachfrage addiert werden, weil diese Produktion und Beschäftigung in Deutschland auslösen.

Für die Ausgaben für Betrieb und Wartung wird angenommen, dass sie vollständig im Inland erbracht werden und auch keine Exporte vorliegen. Für diesen Bereich entsprechen also die Ausgaben für Betrieb und Wartung der im Inland wirksamen Nachfrage. Davon unberührt ist natürlich, dass die inländischen Anbieter (sowohl von EE-Anlagen wie auch von Leistungen von Betrieb und Wartung) in ihrem Produktionsprozess auch auf importierte Vorleistungen zurückgreifen. Diese werden modellendogen im Rahmen der Input-Output-basierten Modellanalysen berücksichtigt.

Aus der so bestimmten im Inland wirksamen Nachfrage (abgeleitet aus den Investitionen, dem Export und den Ausgaben für Betrieb und Wartung) kann nun modellgeleitet die durch diese Nachfrage ausgelösten Bruttoproduktion (direkt und indirekt) abgeschätzt werden.

---

[3] Es gibt keine CSP-Anlagen in Deutschland und damit auch keine Ausgaben für Betrieb und Wartung.

Abbildung 2: Übersicht methodische Vorgehensweise zur Abschätzung des Arbeitskräftebedarfs durch den Ausbau erneuerbarer Energien

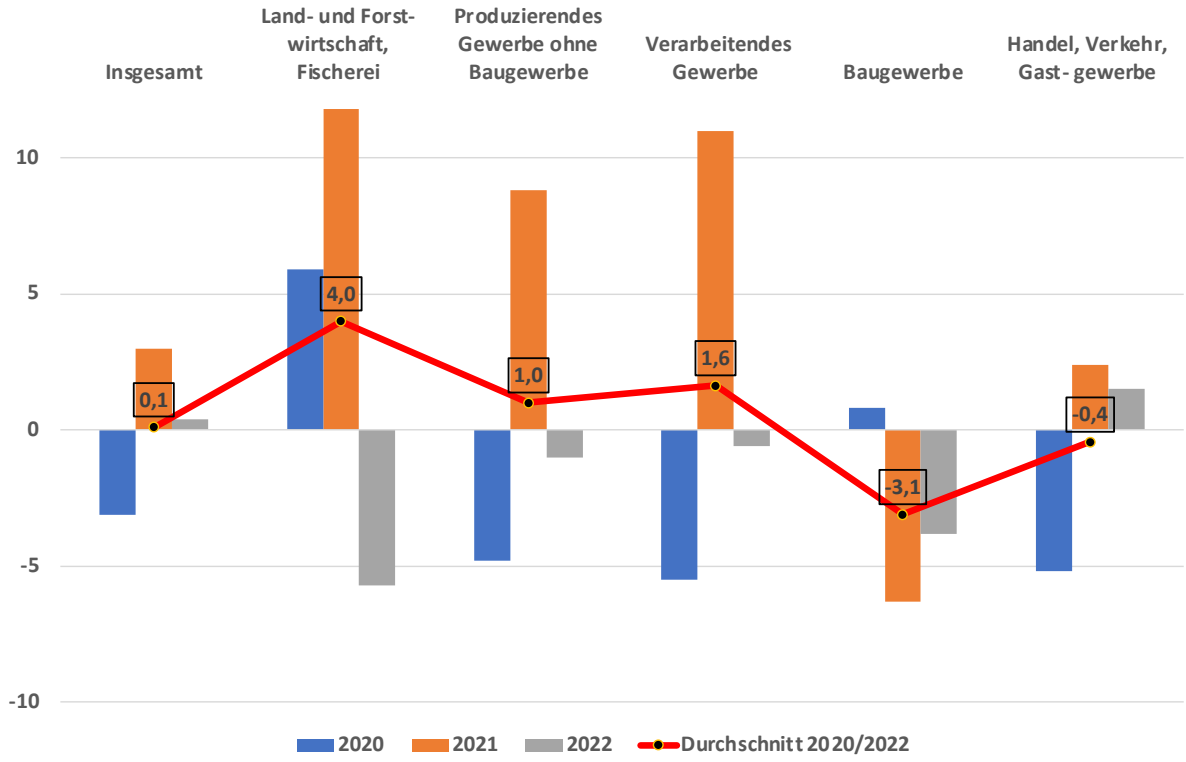
Quelle: eigene Darstellung

Für die Abschätzung der mit dieser induzierten Bruttoproduktion verbundenen Bruttobeschäftigung (Arbeitskräftebedarf) ist es notwendig, weitere Parameter des Modells wie die sektoralen Arbeitsproduktivitäten sowohl der EE-spezifischen wie auch der übrigen Produktionsbereiche für die Anwendung im Analysezeitraum bis 2030 anzupassen. Es wird, wie erläutert, die aktuelle Tabelle des Statistischen Bundesamtes (Berichtsjahr 2019) verwendet (Statistisches Bundesamt 2023) und für die betrachteten EE-Technologien werden die die aktualisierten Input-Vektoren zur Herstellung von EE-Anlagen genutzt (O'Sullivan et al. 2023).

Um die Beschäftigung für die Stichjahre 2026 und 2030 zu ermitteln, müssen die sektoralen Arbeitskoeffizienten (ein Arbeitskoeffizient misst die Anzahl der Beschäftigten je Einheit Bruttoproduktionswert) auf der Ebene der 72 Produktionsbereiche und der elf EE-Technologien fortgeschrieben werden. Die Fortschreibung wurde auf der Grundlage vorliegender Produktivitätsraten für Hauptgruppen aus der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung durchgeführt (StBA 2023). Die jeweiligen Produktivitätsraten der Hauptgruppen wurden auf die tiefer disaggregierten Arbeitskoeffizienten des Jahres 2019 angewandt, um so zu Schätzungen von Arbeitskoeffizienten für die Analysejahre 2026 und 2030 zu gelangen.

Da die Arbeitsproduktivität nach Hauptgruppen im Zeitraum 2020 bis 2022 stark schwankt,[4] wurde die Fortschreibung der Arbeitskoeffizienten nicht mit dem jährlichen aktuellen Wert am aktuellen Rand, sondern mit dem jeweiligen dreijährigen Durchschnittswert[5] durchgeführt (Abbildung 3).

Abbildung 3: Jährliche Veränderung der Arbeitsproduktivität je Erwerbstätigen zum Vorjahr in ausgewählten Hauptgruppen im Zeitraum 2020 bis 2022 in Prozent



Quelle: Statistisches Bundesamt, Fachserie 18, Reihe 1.4, eigene Berechnungen.

Auf Grundlage der sektoralen Bruttoproduktion wird dann mit Hilfe der aktualisierten sektoralen Arbeitskoeffizienten die induzierte Bruttobeschäftigung (direkte und indirekte Beschäftigung) für die Stichjahre 2026 und 2030 auf der Ebene der Produktionsbereiche abgleitet.

Die beschriebene Vorgehensweise auf Basis der Input-Output-Analyse erlaubt die Abschätzung der Bruttobeschäftigung durch den Ausbau der erneuerbaren Energien differenziert nach direkter und indirekter Beschäftigung:

---

4 Die hohe Volatilität der Arbeitsproduktivität je Erwerbstätigen im relevanten Zeitraum ist zu einem erheblichen Teil auf pandemiebedingte Kurzarbeiterregelungen in diesem Zeitraum zurückzuführen. Die Einführung von Kurzarbeiterregelungen wirkt dämpfend auf die Arbeitsproduktivität, da bei sinkendem Output die Beschäftigung vorgehalten wird. Durch die Aufhebung der Kurzarbeiterregelungen kommt es dann anschließend in der Regel zu einem verstärkten Anstieg der Arbeitsproduktivität (Aufholeffekt).

5 Eine Fortschreibung mit einem Durchschnittswert über einen längeren Zeitraum erscheint angesichts der zuletzt verstärkt zu beobachtenden Verschiebungen in der wirtschaftlichen Entwicklung nicht sinnvoll.

- **Direkte Beschäftigung in Unternehmen, die Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien herstellen oder Betrieb und Wartung anbieten,**
- **Indirekte Beschäftigung in Unternehmen, die in vorgelagerten Produktionsstufen tätig sind (Zulieferer von Vorleistungen).**

Die so abgeleitete Nachfrage nach Arbeitskräften, differenziert nach direkt und indirekt, in einer Gliederungstiefe von 72 Produktionsbereichen bildet die Schnittstelle zur Analyse des Fachkräftebedarfs, deren methodische Vorgehensweise im folgenden Abschnitt erläutert wird.

2.2 Abschätzung der Bedarfsstruktur

Auf die Abschätzung des Gesamtbedarfs nach Technologien folgt die Untergliederung der Bruttobeschäftigung in Berufsgruppen, um Aussagen zur Größenordnung und Struktur des Bedarfs in der Zukunft zu treffen. Das hier gewählte Konzept orientiert sich an der Studie von Blazejczak & Edler (2021), wobei dort nicht nur das Handlungsfeld erneuerbare Energien adressiert wurde und daher weniger spezifische Daten genutzt wurden. Auch in den Projektionen des QuBe-Projekts wird für die Bedarfsseite des Arbeitsmarkt ein ähnliches Prinzip angewandt (vgl. Zika et al. 2023).

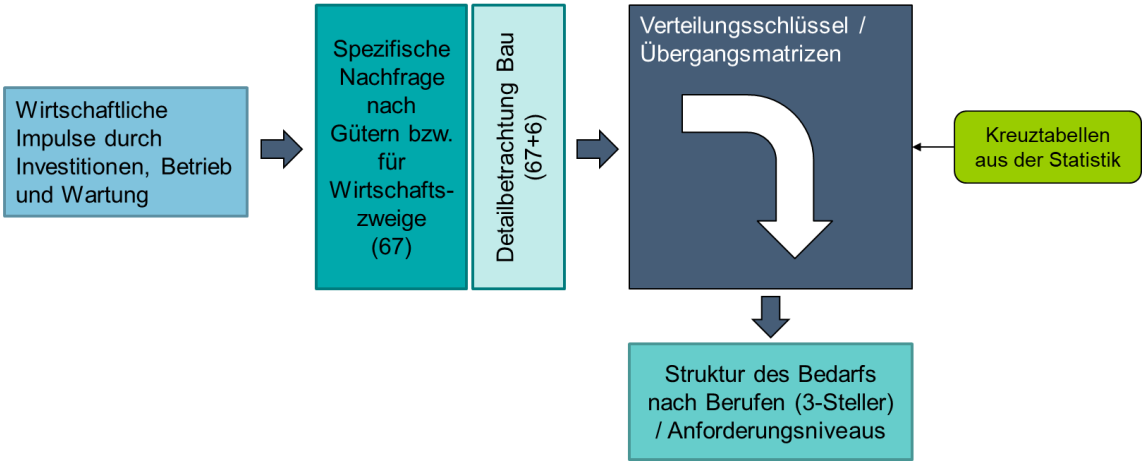
Die wirtschaftlichen Impulse durch Investitionen sowie Betrieb und Wartung werden über spezifische Input-Vektoren in eine spezifische Nachfrage nach Gütern umgewandelt. Die Input-Vektoren beschreiben die Kostenstruktur der einzelnen Technologien und gliedern sich in 72 Gütergruppen. Nach Prüfung dieser spezifischen Nachfrage nach Gütergruppen und Anpassung der Gliederungsebene wird die Beschäftigung für 67 Wirtschaftszweige abgeleitet. Es folgen Detailbetrachtungen und Prüfungen auf der Ebene der Wirtschaftszweige. So wird, aufgrund der hohen Relevanz dieses Bereichs, das Baugewerbe detaillierter betrachtet. Dabei werden statt den drei WZ-Abteilungen neun WZ-Gruppen (3-Steller) unterschieden. Am Ende wird nach Abgleich der Gliederungsebenen die Beschäftigung nach 73 Produktionsbereichen bzw. Wirtschaftszweigen unterschieden.

Die Beschäftigung, technologiespezifisch unterteilt nach Wirtschaftszweigen, wird anschließend über Verteilungsschlüssel in die Struktur des Bedarfs nach Berufen umgewandelt. Die Verteilungsschlüssel sind Übergangsmatrizen von Wirtschaftszweigen bis Dreisteller-Ebene (WZ-2008) und Berufen auf Dreisteller-Ebene (KldB-2010).[6] Zusätzlich werden Verteilungen auf Anforderungsniveaus verwendet. Die Kreuztabellen stammen aus der BA-Statistik. Mit der Beschäftigung nach Berufen liegt das Kernergebnis der Berechnung vor. Es erfolgt eine Evaluierung und Auswertung nach unterschiedlichen Merkmalen, zum Beispiel Technologien oder Segmenten (Aktivitäten). Aufgrund von Unterschätzung einer wichtiger Berufsgruppen bei den Bauinstallationen wurden spezifische Anpassungen in der Übergangsmatrix vorgenommen. Die Anteile der Berufsgruppen 331, 332, 333 an der Berufsstruktur von 432 wurden ganz oder anteilig auf die

[6] Die Klassifikation der Berufe (KldB 2010) unterscheidet 144 Berufsgruppen (2-Steller-Ebene), wovon grundsätzlich 140 in die Betrachtung mit einbezogen werden (BA-Quelle).

Berufsgruppe 342 („Klempnerei, Sanitär, Heizung, Klimatechnik“) umgebucht (insgesamt 1,5 Prozentpunkte).

Abbildung 4: Übersicht zur Methode der Erfassung des Bedarfs des EE-Ausbaus an Berufen



Quelle: eigene Darstellung

Die folgenden Datenquellen werden verwendet: Die sogenannten Input Vektoren beschreiben die inländischen Vorleistungen für den Ausbau erneuerbaren Energien nach 72 Produktionsbereichen und den EE-Technologien. Diese Kostenstrukturen wurden durch mehrere Unternehmensbefragungen erhoben und seit 2015 mit detaillierten statistischen Daten fortgeschrieben (Lehr et al. 2015; O'Sullivan et al. 2023). Ferner werden detaillierte Auswertungen zur Bruttobeschäftigung verwendet: die direkte und indirekte Beschäftigung in detaillierter Gliederung sowie Angaben zur Arbeitsintensität. Die Kreuztabelle der Beschäftigung ist eine Sonderauswertung der Bundesagentur für Arbeit. Erfasst werden alle sozialversicherungspflichtig Beschäftigten sowie die ausschließlich geringfügig Beschäftigten. Die Kreuztabellen haben 144 Zeilen für die Berufe mal 4 Anforderungsniveaus und 73 Wirtschaftszweige als Spalten.

Das Konzept zur Abschätzung der spezifischen Struktur der Bruttobeschäftigung wurde im laufenden Vorhaben erarbeitet und detaillierte Ergebnisse für das Jahr 2021 generiert (Ulrich et al. 2024). Das Verfahren, das dort ausführlicher beschrieben und im Abbildung 4 dargestellt ist, kann nun auf andere Berechnungsjahre angewendet werden, sobald detaillierte Ergebnisse zur EE-Beschäftigung vorliegen.

In Abstimmung mit dem Annahmegerüst bei Fortschreibung der Bruttobeschäftigung für die Jahre 2026 und 2030 sind auch Anpassung von Strukturen und Annahmen im Berufsstrukturmodell möglich.

3 Ausbaupfade und zentrale Annahmen

3.1 Allgemeine Annahmen

Für die Arbeitskräftebedarfsabschätzung wird ein **Zielszenario** zugrunde gelegt. Es handelt sich nicht um eine Prognose, sondern um eine Abbildung einer Welt, in der die gesetzten Ziele erreicht werden. Damit verfolgt das Vorgehen eine „Was-wäre-wenn"-Fragestellung. Mit Blick auf die physischen Ausbaupfade wird entsprechend ein Höchstbedarf an Arbeitskräften projiziert, der für die Realisierung der Ziele notwendig ist. Zu Beginn werden die politischen Zielvorgaben und Strategien für die beiden großen Bereiche Stromerzeugung und (Raum-)Wärme eingeführt. Anschließend werden die Annahmen zum Ausbau in **physischen Einheiten** bis hin zu den Investitionen für die einzelnen Technologien dargestellt. Dabei werden die **spezifischen Kosten für Anlagen** heute und in Zukunft festgelegt. Bei der Betrachtung der Kostenentwicklungen bis 2030 werden nur rein technisch-bedingte Veränderungen berücksichtigt. Eine Kostendegression wird insoweit unterstellt, wie sie mit der Fortentwicklung der Systemtechnik in Zusammenhang steht. Gesamtwirtschaftliche Preisentwicklungen werden dabei nicht berücksichtigt. Sie finden Eingang bei den Annahmen zur sektorspezifischen Veränderung der Arbeitsproduktivität. Zunächst wird nun ein Überblick zu übergeordneten politischen Zielen in den Bereich Stromerzeugung und Wärmeerzeugung gegeben. Es gibt einige Überschneidung zwischen diesen Nutzungsarten. Zu nennen sind die Blockheizkraftwerke in der Biomasse und Geothermie. Vor allem aber im Gebäudebereich werden Heizungssysteme sowohl mit Solarthermie als auch PV-Anlagen gekoppelt. Die EU-Gebäuderichtlinie (EPBD) sieht die Pflicht zur Vorbereitung oder Installation von Solaranlagen für Neubauten und öffentliche Bestandsgebäude bis 2030 vor, unabhängig von der Solartechnologie.

3.2 Politische Zielvorgaben zur Stromerzeugung

Für den Ausbau von stromerzeugenden EE-Anlagen bestehen konkrete Zielvorgaben aus dem aktuellen Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und dem Windenergie-auf-See-Gesetz (WindSeeG). Auch im Klimaschutzprogramm sind konkrete, stärker übergeordnete Ziele zum Ausbau bis 2030 verankert, die mit den Gesetzen abgestimmt sind. Bis 2030 soll der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch 80 % betragen, wobei von einem steigenden Verbrauch ausgegangen wird (BMWK 2023a). Die EE-Stromerzeugung soll über die Sektorkopplung einen wesentlichen Beitrag zur CO_2-Emissionsreduktion in allen Verbrauchssektoren und Energieverwendungen beitragen. Tabelle 1 zeigt die gesetzlich verankerten Ziele zu den Technologien **Windenergie an Land, Windenergie auf See, Solaranlagen (Photovoltaik) und Biomasse** ab 2026. Gegenüber den Kapazitäten im Jahr 2022 ist bis zum Jahr 2030 eine Verdreifachung im Bereich Solaranlagen und eine Verdopplung im Bereich Windenergie an Land notwendig.

Tabelle 1: Ziele aus dem Erneuerbare-Energien-Gesetz sowie Windenergie-auf-See-Gesetzes, installierte Leistung in GW

Energieträger	2026	2028	2030
Wind onshore	84	99	115
Wind offshore			30
Solaranlagen	128	172	215
Biomasse			8,4

Quelle: Bundesregierung (2023), Bundesregierung (2023)

Für den Bereich Biomasse, der sowohl Biogasanlagen als auch Feuerungsanlagen mit fester Biomasse beinhaltet, wird eine Kapazität von 8,4 GW angestrebt. Diese Größenordnung wird jedoch aktuell schon erreicht.

Weitere Stromerzeugungs-Kapazitäten sind jene aus **Wasserkraft und Geothermie tief**. Hier gibt es keine konkreten politischen Ziele für einen maßgeblichen Ausbau der Kapazitäten.

3.3 Politische Zielvorgaben für die Bereitstellung von Raumwärme

Auf Grund seines hohen Beitrags zu den CO_2-Emissionen[7] ist der Bereich der Raumwärme eines der zentralen Handlungsfelder zur Erreichung der Klimaneutralität in Deutschland. Um bis zum Jahr 2045 klimaneutral zu sein, ist im Wärmebereich neben anspruchsvollen Energiestandards im Neubau insbesondere auch die deutliche Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudebestand unverzichtbar.[8] Maßnahmen in diesem Bereich leisten nicht nur potenziell einen großen Beitrag zu Reduzierung der CO_2-Emissionen, sondern haben auch große wirtschaftliche Bedeutung[9]. Die Investitionen zur energetischen Sanierung im Gebäudebestand belaufen sich im Jahr 2020 auf 46,5 Mrd. € (BMWK 2023d, S. 72).

Neben der Dämmung der Gebäudehülle (einschließlich Dach) und dem Austausch von Fenstern und Türen kommt in diesem Handlungsfeld der Umstellung der Heizsysteme große Bedeutung zu. So müssen nach dem Gebäudeenergiegesetzt (GEG) neu eingebaute Heizungen nach spezifischen Übergangfristen einen Anteil von 65%-Erneuerbaren Energien aufweisen (§71ff GEG). Im Hinblick auf das Ziel der Klimaneutralität bis zum Jahr 2045 setzt die Bundesregierung im Rahmen ihrer Gebäudestrategie im

---

7 Die CO_2-Emissionen des gebäuderelevanten Endenergieverbrauchs betragen im Jahr 2021 nach vorläufigen Schätzungen 192 Millionen Tonnen CO_2, (BMWK 2023d, S. 69).

8 Dies wird auf europäischer Ebene durch die Novellierung der EU-Richtlinie für die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EU Richtlinie 2024/1275 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. April 2024 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD) unterstrichen. Die novellierte Richtlinie umfasst strengere Vorgaben zur Energieeffizienz im Gebäudebereich, um die forcierten Klimaschutzziele auf EU-Ebene zu erreichen. Die Richtlinie sieht im Einklang mit der nationalen Gesetzgebung (z.B. GEG in Deutschland) ein Auslaufen fossil betriebener Heizungen vor.

9 Die Investitionen zur energetischen Sanierung im Gebäudebestand belaufen sich im Jahr 2020 auf 46,5 Mrd. € (BMWK 2023b, S. 72).

Neubau und in der Umrüstung der Heizsysteme vor allem auf einen forcierten Ausbau von Wärmepumpen (Thamling et al. 2022). Daneben wird auch ein Ausbau der Fernwärme angestrebt, allerdings ergibt sich für diesen Bereich auf Grund der tatsächlichen Gegebenheiten für den Ausbau von Wärmenetzen eine deutlich geringere Dynamik. Auch im Ausbau der Fernwärme sollen verstärkt klimaneutrale Erzeugungstechnologien zum Einsatz kommen, neben Anlagen auf Basis nicht-fossiler Brennstoffe sollen verstärkt Großwärmepumpen installiert werden (Ahrendts et al. 2023). Wärmeerzeuger auf Basis von Gas und Heizöl, deren Anteil im Jahr 2020 noch bei 70% lag, sollen ebenso wie holzbasierte Systeme langfristig ganz aus dem Bestand ausscheiden.

Zentral für die Dekarbonisierung im Raumwärmebereich ist also die Zielvorgabe für den Ausbau von **Wärmepumpen.** Hier wird als Grundlage für die quantitative Zielbestimmung das Szenario T45 Strom der aktuellen Langfristszenarien herangezogen (Fraunhofer ISI 2023). Das Szenario T45 Strom geht im Jahr 2030 von einem Bestand von 5,4 Millionen Einheiten aus (vgl. zu den detaillierten Annahmen und Ergebnissen Abschnitt 3.8). Aus dem Szenario T45 Strom werden auch (teilweise indirekt) Zielvorstellungen für die beiden anderen betrachteten Wärmetechnologien (Solarthermie und Biomasse klein) abgeleitet (vgl. zu den detaillierten Annahmen und Ergebnissen Abschnitt 3.7). Bei Solarthermie wird bis zum Jahr 2030 von einer Stagnation der neu installierten Flächen ausgegangen, bei den Biomasse Kleinanlagen, die vorwiegend im privaten Gebäudebereich als Wärmequelle eingesetzt werden, wird bis zum Jahr 2030 ein deutlicher Rückgang (Halbierung der neu installierten Anlagen gegenüber den Werten für das Jahr 2022) angestrebt.

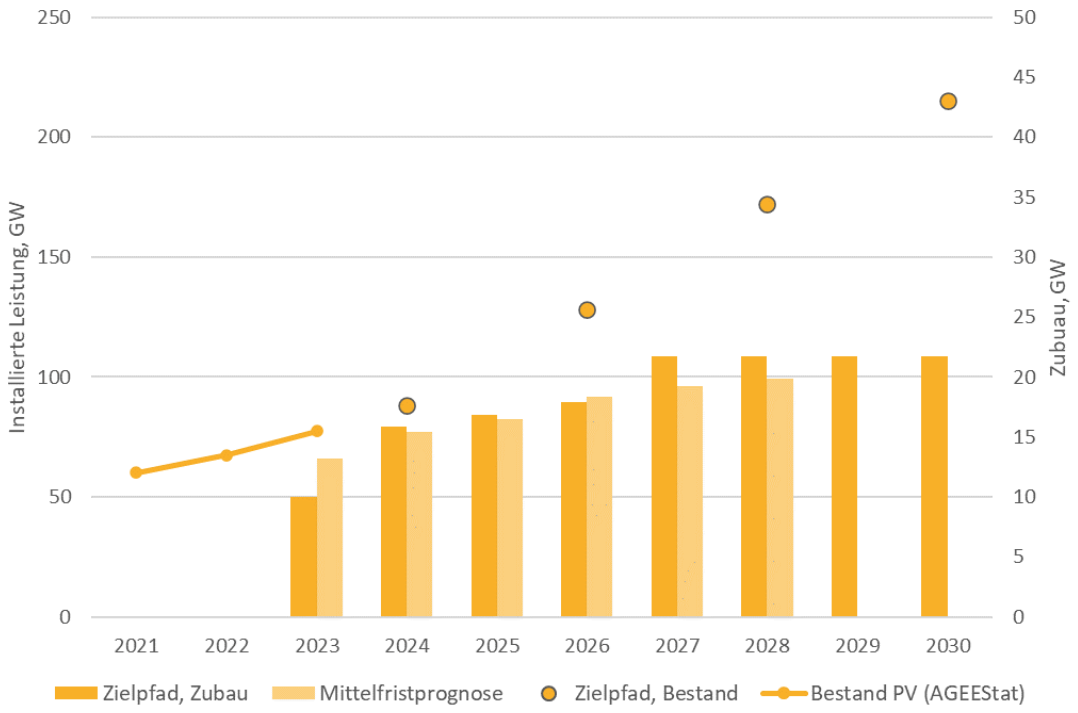
3.4 Photovoltaik

Das EEG legt in §4 den Ausbaupfad bis 2030 fest, der als Ziel verfolgt wird. Am Ende soll eine Leistung in Höhe von 215 GW installiert sein. Der Bereich Solarenergie wird in zwei Segmente unterschieden: Freiflächenanlagen oder Anlagen auf sonstigen baulichen Anlagen (erstes Segment) und Anlagen auf, an oder in Gebäude (zweites Segment). Der Ausbau der PV-Freiflächenanlagen, insbesondere auf landwirtschaftlichen genutzten Flächen, soll begrenzt werden und bis 2030 nicht 80 GW überschreiten (BMWK 2023b). Die Neuinstallation von PV-Anlagen im Jahr 2023 hat sich gegenüber den bereits starken Vorjahren nochmal gesteigert. Damit ist der Ausbaupfad auf den Zielpfad „eingeschwungen“ und jährliche Neuinstallationen von 18 bis 22 GW, die zur Zielerreichung notwendig sind, erscheinen möglich. Die EEG-Mittelfristprognose geht davon aus, dass der Ausbau bis 2028 leicht unter (Trend-Szenario) oder über dem Zielpfad für Solarenergie liegen wird (enervis 2023). Der Ausblick wird dort auch für die beiden Segmente getrennt vorgenommen. Im Ergebnis werden die Neuinstallationen von PV-Freiflächenanlagen anteilig an Bedeutung gewinnen. Die Mittelfristprognose geht davon aus, dass der Anteil von heute etwa 30 % bis 2026 sukzessive auf über 50 % ansteigt und danach nur leicht zurückgeht.

Für die Ableitung des Investitionspfades im Zielszenario wird davon ausgegangen, dass die Neuinstallationen bis 2027 sukzessive auf einen jährlichen Zubau von 22 GW ansteigen und anschließend auf diesem Niveau verbleiben. Damit werden auch die

Zwischenziele des EEG etwa erreicht. Im Ergebnis finden im Stichjahr 2026 17,9 GW Neuinstallationen statt und im Jahr 2030 21,8 GW.

Abbildung 5: Zielausbaupfad für Photovoltaik und Entwicklung des Bestands



Quelle: AGEEStat, enervis (2023)

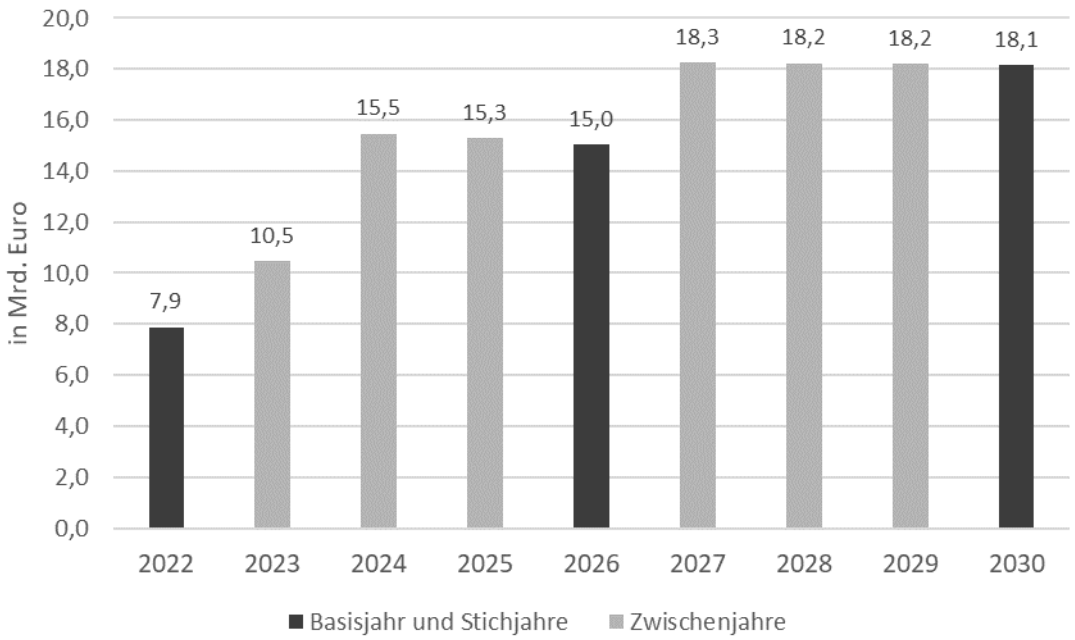
Für die Systemkosten der PV-Anlagen ergibt sich auf Grundlage der Daten des ZSW ein Durchschnittswert von 1.057 Euro pro kW im Jahr 2022. Noch im Jahr 2021 waren es 912 Euro pro kW. Seitdem haben zumindest die Preise für PV-Module wieder stark nachgegeben (vgl. pvxchange & solarserver 2023). Die Kosten für die Neuinstallationen sind für PV-Freiflächenanlagen 30 bis 40 % geringer als für Anlagen an oder auf Gebäuden (Kost et al. 2021; European Commission 2021; Fraunhofer ISI 2023). In Anlehnung an vorliegende technische Analysen, dem Ausbaugeschehen im Jahr 2022 und den ZSW-Daten, lassen sich Kostensätze von 1250 Euro pro kW für Anlagen an Gebäuden und 700 Euro pro kW für Freiflächenanlagen ableiten. Es wird angenommen, dass diese Kostensätze im Jahr 2023 für Gebäude-Anlagen um 5 % und für Freiflächenanlagen um 10 % zurückgegangen sind (resultiert in Werte von 1.190 Euro pro kW bzw. 630 Euro pro kW).

Einschlägige Studien gehen von jährlichen Kostenreduktionen von 1,5 % bis über 3 % aus (Fraunhofer ISI 2023; Kost et al. 2021). Für den Investitionspfad wird eine fortlaufende Kostendegression von jährlich 1,5 % bis 2026 und 1 % ab 2026 unterstellt, unabhängig vom Anlagentyp. Stärker kostenreduzierend macht sich jedoch im Durchschnitt die Verschiebung auf die günstigeren Freiflächenanlagen bemerkbar.

Abbildung 6 zeigt die resultierende Entwicklung der Investitionen bis zum Jahr 2030. Im Jahr 2026 werden Investitionen von 15 Mrd. Euro notwendig sein, im Endjahr 2030 etwa 18,1 Mrd. Euro. Nach einer Steigerung um 44 % zwischen 2022 und 2026 steigen die Investitionen bis 2030 noch einmal um 20 %. Die Investitionen verlaufen deutlich

weniger dynamisch als die Neuinstallationen. Bis zum Jahr 2026 wirkt vor allem strukturell die Verschiebung auf die günstigeren Freiflächenanlagen deutlich kostendämpfend.

Abbildung 6: Investitionen in Photovoltaik-Anlagen im Zielszenario



Quelle: ZSW (Basisjahr), eigene Berechnungen

3.5 Windenergie an Land

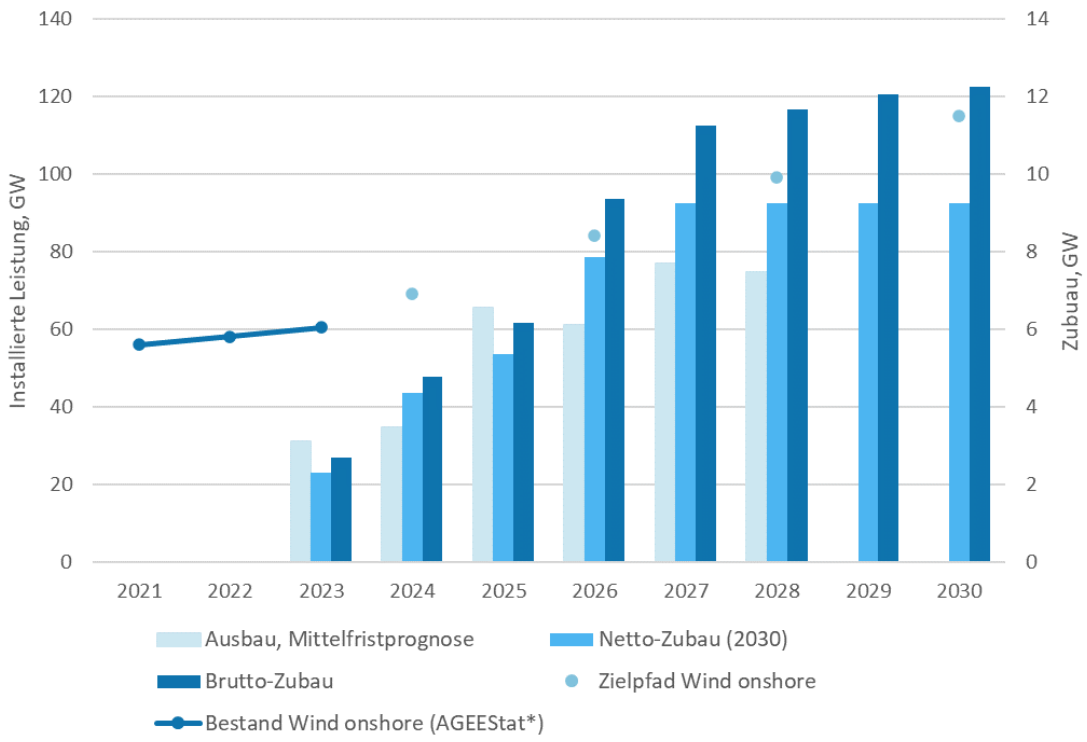
Das EEG legt ein Ziel von 115 GW installierter Leistung bis zum Jahr 2030 fest. Für die Erreichung dieses Bestands müsste der Nettozubau pro Jahr im Durchschnitt 7,8 GW betragen. Die EEG-Mittelfristprognose geht davon aus, dass bis zum Jahr 2028 ein Bestand von 76,6 GW (Trend-Szenario) erreicht wird. Selbst im oberen Szenario liegt der Bestand von 80,2 GW deutlich unter dem Zwischenziel von 99 GW. In einem Zielszenario muss entsprechend ein beispielloser Hochlauf der Neuinstallationen unterstellt werden, wobei die Zwischenziele des EEG auch in diesem Fall nicht erreicht werden. Hinzu kommt, dass in hohem Ausmaß Stilllegungen erwartet werden, die kompensiert werden müssen. Viele Anlagen aus den beginnenden 2000er-Jahren fallen aus der EEG-Förderung und können nicht wirtschaftlich weiterbetrieben werden (enervis 2023). In Anlehnung an die Abschätzungen in der Mittelfristprognose steigen die Stilllegungen von 0,4 über 1,5 im Jahr 2026 auf 3,0 GW bis 2030 an.

Um einen Hochlauf zur Erreichung zumindest des 2030er-Ziels abzubilden, steigt der jährliche Nettozubau im Zielszenario sukzessive bis 2027 auf 9,3 GW (vgl..Abbildung 7). Anschließend bleibt er auf diesem Niveau. Um den Rückbau zu kompensieren, müssen die Neuinstallationen noch höher ausfallen[10]. Der Brutto-Zubau erreicht daher im Jahr 2026 bereits 9,4 GW und steigt dann weiter auf 12,3 GW im Jahr 2030. Ein solcher

[10] Im Modell werden Repowering-Maßnahmen nicht gesondert behandelt.

Ausbaupfad setzt voraus, dass die Genehmigungsverfahren deutlich beschleunigt werden (Zimmermann 2023).

Abbildung 7: Zielausbaupfad für Wind onshore und Entwicklung des Bestands

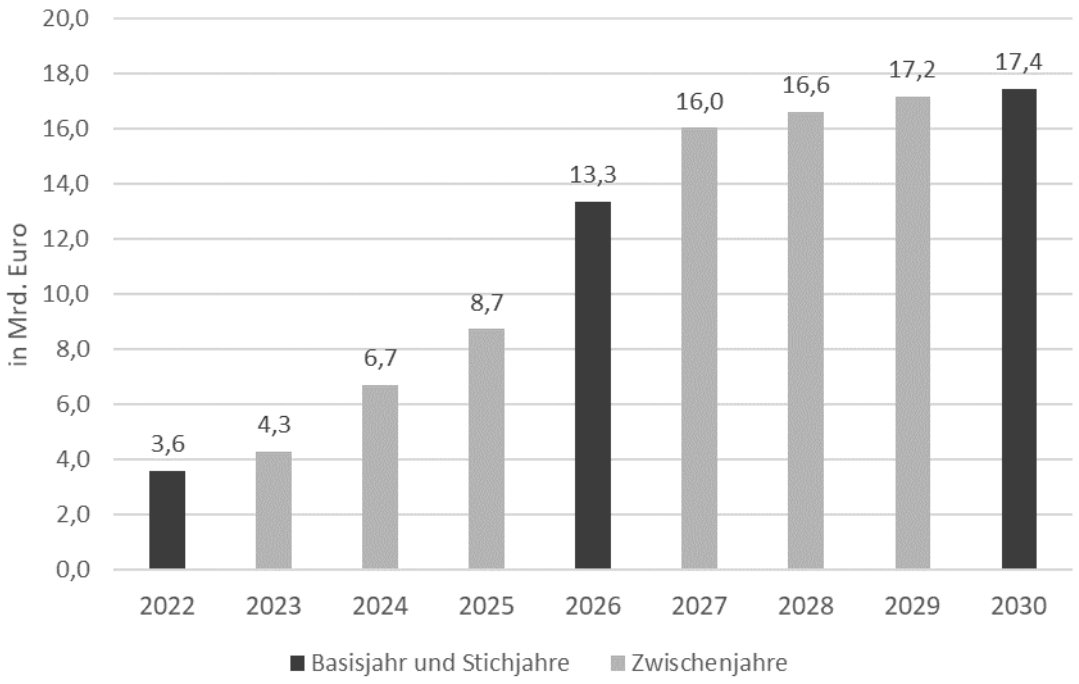


Quelle: AGEEStat, enervis (2023)

Aus den Daten zu den Neuinstallationen und den Investitionen geht hervor, dass die Systemkosten für Windenergieanlagen an Land im Jahr 2022 im Durchschnitt etwa 1500 Euro pro kW gekostet haben. Im Jahr zuvor waren die spezifischen Kosten etwas niedriger. Bei der Windenergie sind die Kombination aus Standort und Nabenhöhe wichtige Faktoren bei den Kosten (Fraunhofer ISI 2023; European Commission 2021). Insgesamt werden kurz- bis mittelfristige keine Einflussgrößen gesehen, welche die spezifischen Kosten neuer Windenergieanlagen in Deutschland reduzieren (Lüers et al. 2022). Es wird angenommen, dass die durchschnittlichen Kosten im Jahr 2023 bei etwa 1400 Euro lagen, da deutlich weniger Anlagen mit Nabenhöhen über 150m installiert wurden. Dieser Anteil dürfte bis 2026 wieder ansteigen, was sich in steigenden Kosten ausdrückt. Insgesamt ergeben sich kaum Veränderungen der spezifischen Systemkosten im Zielszenario. Dies passt auch zum langjährigen Trend, der sich aus den ZSW-Investitionen ergibt.

Abbildung 8 zeigt den resultierenden Investitionspfad für Windenergie an Land bis 2030. Im Jahr 2026 ergeben sich Investitionen von 13,3 Mrd. Euro - ein Betrag, der über dreimal so hoch ist wie in den Jahren 2022 und 2023. Im Jahr 2030 liegen die Investitionen mit 17,4 Mrd. Euro nochmal 30 % über dem Wert von 2026.

Abbildung 8: Investitionen in Windenergie-an-Land-Anlagen im Zielszenario



Quelle: ZSW (Basisjahr), eigene Berechnungen

3.6 Windenergie auf See

Im Windenergie-auf-See-Gesetz wird in §1 ein Ziel für die installierte Leistung in Höhe von 30 GW bis zum Jahr 2030 festgelegt. Das wäre mehr als dreimal so viel wie aktuell. Die EEG-Mittelfristprognose sieht bis zum Jahr 2028 etwa 15,6 GW am Netz mit ab 2024 jährlich 1-2 GW Neuinstallationen (enervis 2023) vor. Allerdings zeigen die Auswertungen der Projektplanungen und -genehmigungen von Deutsche Windguard, dass gerade ab 2028 eine deutliche Beschleunigung des Ausbaus erwartet werden darf (Deutsche Windguard 2023). Unter diesen Voraussetzungen könnte der Bestand von 30 GW Ende 2030 erreicht sein.

Der erwartete Zubau, der von Deutsche Windguard abgeleitet wurde, legt im Grundsatz den Ausbau im Zielszenario fest. Jedoch muss von den neu installierten bzw. in einem Jahr ans Netz angeschlossenen Anlagen abstrahiert werden. Investitionen in die Realisierung eines Offshore-Windparks beginnen einige Zeit vor dem Netzanschluss. Daher wird die Zubau-Zeitreihe über einen Drei-Jahres-Vorlauf geglättet, um einen Indikator für die Investitionen in der Planungs- und vor allem Bauphase zu bilden. Neuinstallationen werden auf die Zeiträume 2024 bis 2026 und 2027 bis 2030 verteilt. Abbildung 9 zeigt den erwarteten Zubau in blasser Farbe und den Zubau-Indikator für den Zielpfad in dunkelroter Farbe. Dabei wird angenommen, dass in den Jahren 2031 und 2032 jeweils nochmal 3,5 GW Neuinstallationen zu berücksichtigen sind. Im Jahr 2026 werden am Ende 1,6 GW wirksam und im Jahr 2030 5,5 GW Neuinstallationen.

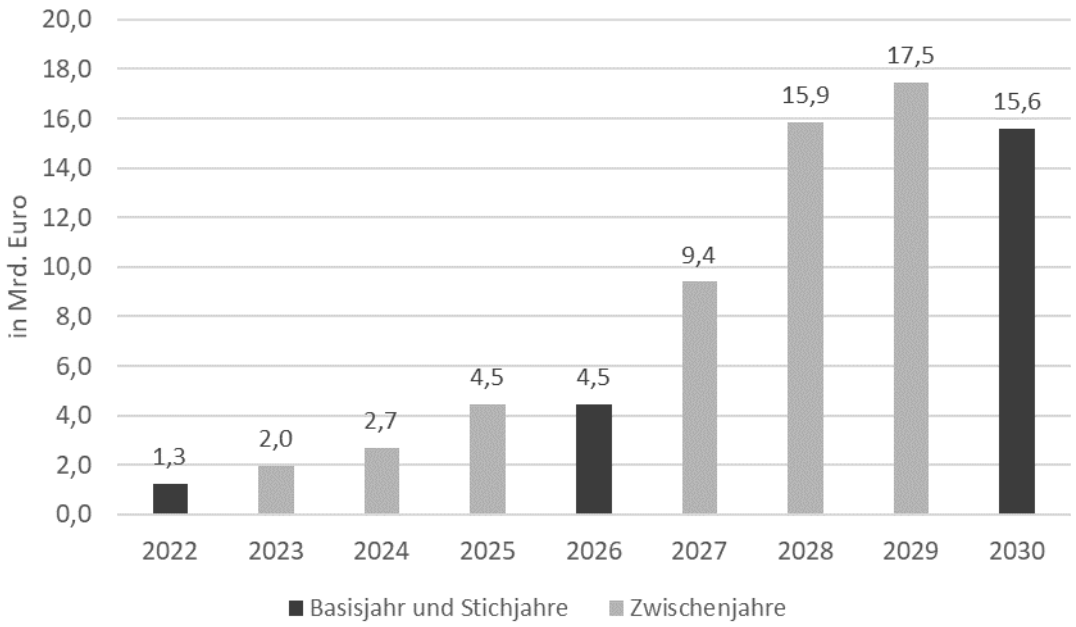
Abbildung 9: Zielausbaupfad für Wind offshore und Entwicklung des Bestands

Quelle: AGEEStat, enervis (2023), Deutsche Windguard (2023)

Der langjährige Charakter der Ausbauprojekte in der Nord- und Ostsee erschwert auch die empirische Erfassung der Systemkosten. Setzt man die Investitionen des ZSE im Zeitraum 2020 bis 2022 ins Verhältnis zu den Netzanschlüssen 2022 und 2023 so ergibt sich durchschnittlicher Kostensatz von etwa 2800 Euro pro kW. Die ist eine ähnliche Größenordnung, wie sie in den Langfristszenarien hinterlegt sind (vgl. Fraunhofer ISI 2023). Für das Jahr 2023 werden die 2800 Euro/kW angesetzt. Es erscheint sehr unsicher, ob in Zukunft technisch bedingt eine deutliche Kostenreduktion erreicht werden kann. Auch Fraunhofer ISI (2023) sieht langfristig nur eine sehr geringe Kostendegression. Daher wird dieser Wert im Zielszenario bis 2030 beibehalten.

Für die Stichjahre im Zielszenario ergeben sich 4,5 Mrd. Euro bzw. 15,6 Mrd. Euro Investitionen. In beiden Zeitperioden (2022 bis 2026 und 2026 bis 2030) ergeben sich damit Wachstumsfaktoren von über 3,5.

Abbildung 10: Investitionen in Windenergie-auf-See-Anlagen im Zielszenario



Quelle: ZSW (Basisjahr), eigene Berechnungen

3.7 Übrige Stromtechnologien

Bei Anlagen zur Erzeugung von Strom aus **Biomasse** werden die Technologien Biogas und feste Biomasse unterschieden. Der Ausbau ist auch hier über das EEG geregelt. Die zu erwartende Entwicklung unterscheidet sich maßgeblich von den Bereichen Solar- und Windenergie. Die EEG-Mittelfristprognose geht davon aus, dass die installierten Leistungen für EEG-Biomasseanlagen bis 2028 deutlich zurückgehen (enervis 2023). Die erwarteten Stilllegungen werden durch den Zubau (0,2 bis 0,6 GW jährlich) nicht kompensiert. Aus diesem Grund sind eigentlich Neuinstallationen notwendig, um das EEG-Ziel zu erreichen. Da der Anteil der Investitionen schon im Jahr 2022 unter 1 % der Gesamtinvestitionen in EE-Anlagen betrug, wird ein eher einfaches Verfahren für das Zielszenario gewählt. In Anlehnung an die EEG-Mittelfristprognose steigen die Investitionen von etwa 170 Mio. Euro im Jahr 2022 auf 320 Mio. Euro im Jahr 2026. Anschließen gehen sie auf 80 Mio. Euro zurück. Dabei entfallen etwa 90 % auf Biogasanlagen und 10 % auf Biomasse-Heizkraftwerke (feste Biomasse).

Mit Blick auf die Bedeutung von **Geothermie** und **Wasserkraft** für Stromerzeugung und Investitionen, aber auf wegen der unveränderten strategischen Bedeutung (für den Bereich Strom, ohne Speicher) werden keine Veränderungen bei den Investitionen unterstellt. Für Wasserkraft werden jährlich 60 Mio. Euro investiert und für Geothermie (tief) knapp 30 Mio. Euro.

3.8 Wärmepumpen

Als **Zielvorgabe** für den Ausbau von Wärmepumpen wird vom Szenario T45 Strom der aktuellen Langfristszenario ausgegangen (Fraunhofer ISI 2023). Ausgehend von einem Bestand an Wärmpumpen in Höhe von 1,4 Millionen Einheiten im Jahr 2020 wird nach diesem Szenario im Jahr 2030 ein Bestand von 5,4 Millionen Einheiten zu Grunde gelegt. Beim Zubau von 4 Millionen Einheiten in 10 Jahren wird davon ausgegangen, dass mehrheitlich Luftwärmepumpen zugebaut werden. Hinzu kommen als Übergangstechnologie noch in kleinerem Umfang Hybridwärmepumpen (340.000 im Jahre 2030), die aber nach 2030 nicht neu installiert werden. Als weitere Ausbauziele für Wärmepumpen wird im Szenario T45 Strom von einem Bestand an Wärmepumpen in Höhe von 11,7 Millionen im Jahr 2035, von 15,7 Millionen im Jahr 2040 und von 18,3 Millionen im Jahr 2045 ausgegangen. Im Jahr 2045 sind im Szenario T45 Strom alle fossil befeuerten Heizkessel aus dem Bestand ausgeschieden, Biomasse-basierte Anlagen spielen mit 384.000 Einheiten praktisch keine Rolle mehr. Die gesamte Wärme wird dann über Wärmepumpen oder zu einem geringeren Teil (5,4 Millionen Einheiten) über Wärmenetze zur Verfügung gestellt. Der Ausbau der Fernwärme, der weitgehend klimaneutral erfolgen soll, bleibt hier außer Betracht[11]. Technisch soll die zukünftige Bereitstellung von Wärme in Fernwärmenetzen zu einem erheblichen Teil durch Großwärmepumpen erfolgen.

Im Hintergrundpapier zur Gebäudestrategie (Thamling et al. 2022) wird eine leicht abweichende Entwicklung des Bestands an Wärmepumpen angenommen. Dort wird im Jahr 2030 noch von einem Bestand von 6 Millionen Wärmepumpen ausgegangen, der dann auf 16 Millionen Einheiten im Jahr 2045 ansteigt.

Als Zielgröße für den **Ausbau** des Bestandes an Wärmepumpen wird entsprechend dem Szenario „T45 Strom“ von 5,4 Millionen Einheiten im Jahr 2030 ausgegangen (vgl. auch Abschnitt 0). Laut den hinterlegten Daten zu diesem Szenario wird der Bestand im Jahr 2020 mit 1,4 Millionen Einheiten angenommen. Der Zuwachs in den Jahren 2021 (154.000 Wärmepumpen) und 2022 (236.000 Einheiten) ergibts sich aus den Angaben des Bundesverbands Wärmepumpe e.V. (bwp), die auch in der Veröffentlichung Erneuerbare Energien in Zahlen genutzt werden (Bundesverband Wärmepumpe 2023; BMWK & AGEE-Stat 2023). Für das Jahr 2023 kann man nach vorläufigen Ergebnissen von einem Zuwachs von 356.000 Wärmepumpen ausgehen[12].

Allerdings war das Jahr 2023 im Zeitablauf von erheblichen Marktturbulenzen geprägt. Der Absatz war im ersten Halbjahr mit 196.500 verkauften Einheiten (BMWK 2023c) sehr dynamisch (ungefähr eine Verdopplung gegenüber dem Vorjahr), danach häuften sich Meldungen über einen temporären Einbruch bei der Nachfrage und bei Förderanträgen.

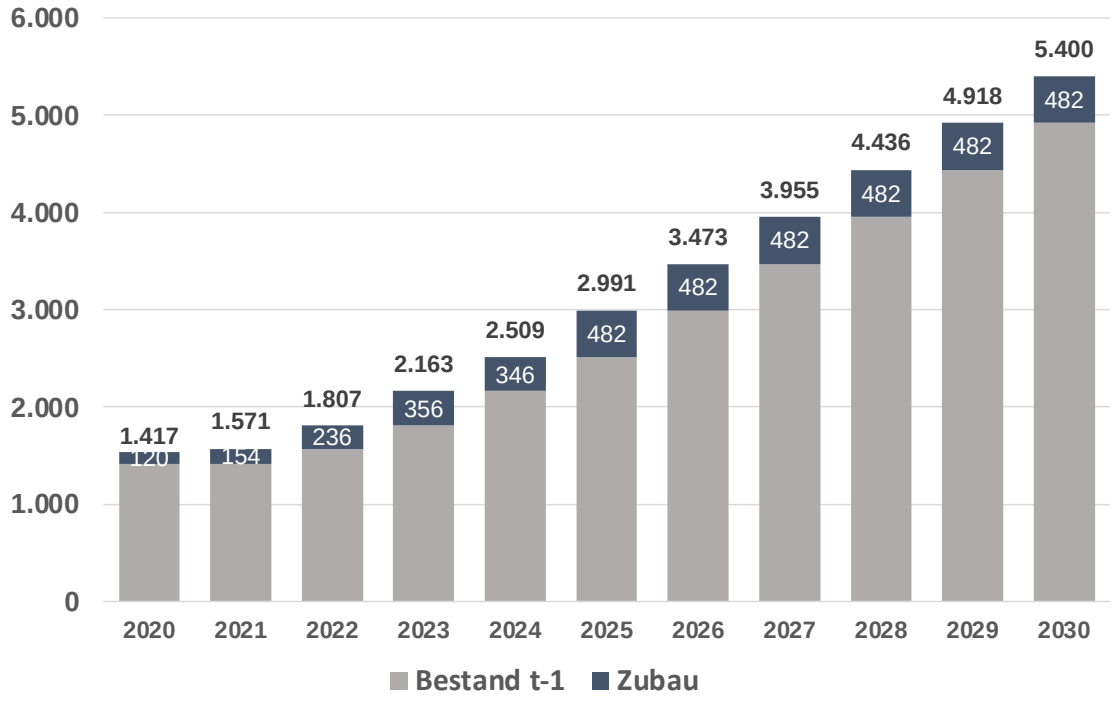
---

[11] Die hier vorgestellte Analyse knüpft an vorliegende Untersuchungen zu den Beschäftigungswirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien an. In diesen Untersuchungen wurde die Bereitstellung von Fernwärme nur insofern betrachtet, dass die Erstellung und der Betrieb von Biomasseheizkraftwerken in die Analyse einbezogen wurden, andere Technologien sowie auch der Ausbau von Wärmenetzen und Wärmespeichern wurden nicht betrachtet. Informationen zu Investitionen in Wärmenetze und Wärmespeicher für die Vergangenheit bis zum Jahr 2021 finden sich in O'Sullivan et al. 2023

[12] https://www.waermepumpe.de/presse/zahlen-daten/absatzzahlen/

Der insgesamt hohe Absatz für 2023 resultierte letztlich auch aus einem vorhandenen Auftragspolster, während die Auftragseingänge zuletzt Sorge bereiteten. Hinzu kommt, dass konjunkturell bedingt derzeit der Neubau von Wohnraum rückläufig ist, ein Bereich, in dem die Installation von Wärmepumpen einen besonders hohen Anteil aufweist (im Jahr 2022 über 50%). Für das Jahr 2024 wird deshalb ein leichter Rückgang des Absatzes auf knapp 350.000 Einheiten zu Grunde gelegt.[13] Unter diesen Annahmen ergibt sich im Jahr 2024 ein Bestand von 2,5 Millionen Wärmepumpen. Bei einem linearen Verlauf ergibt sich dann bis zum Jahr 2030 ein jährlicher Zubau von 482.000 Einheiten, wenn das Ausbauziel von 5,4 Millionen erreicht werden soll[14] (Abbildung 11).

Abbildung 11: Zubau und Bestand an Wärmepumpen im Zeitraum 2020 bis 2030 in 1.000 Einheiten



Quelle: Eigene Berechnungen.

Der jährliche Zubau von Wärmepumpen wurde zuletzt zunehmend von Luft-Wasser-Wärmepumpen (Luft-Wasser-WP) getragen, lag der Anteil dieses Typs an den gesamten Einheiten des Zubaus im Jahr 2020 noch bei knapp 80%, so ist er zuletzt auf über 90% angewachsen. Es wird davon ausgegangen, dass dieser hohe Anteil an Luft-Wasser-WP auch in Zukunft bis zum Jahr 2030 bestehen bleibt.

---

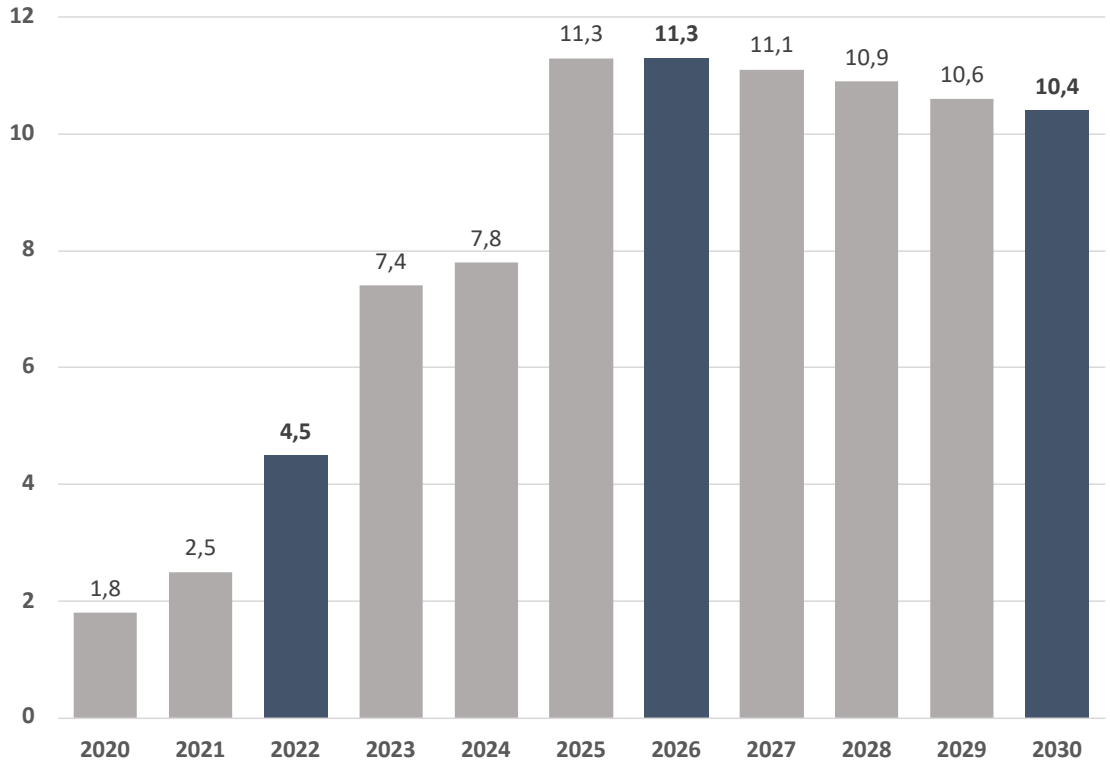
[13] Der Branchenverband bwp ging in seiner im Januar 2023 veröffentlichten Branchenprognose von 350.000 Wärmepumpen im Jahr 2023 und 500.000 Wärmepumpen im Jahr 2024 aus (Bundesverband Wärmepumpe 2023). Angesichts der seit der Veröffentlichung erkennbaren Turbulenzen erscheint diese Einschätzung aus heutiger Sicht für 2024 zu optimistisch.

[14] Würde von einem Ausbauziel von 6 Millionen im Jahr 2030 ausgegangen, ergäbe sich für den Zeitraum 2025 bis 2030 ein jährlicher Zubau von 582.000 Einheiten.

Die Systemkosten werden für die Jahre 2020 bis 2022 auf Basis von Angaben des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) und in Abstimmung mit Ergebnissen der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) ermittelt. Dabei wird nach Luft-Wasser-WP und Sole-Wasser-WP bzw. Wasser-Wasser-WP unterschieden, die einen um etwa 25% höheren Systempreis aufweisen. Es wird davon ausgegangen, dass die Systempreise sich im Zeitraum 2022 bis 2025 jährlich in einer Spannweite von 5% bis 10% erhöhen und danach moderat abnehmen (jährlich um 2% bis 2,5%).

Unter diesen Annahmen ergeben sich im Jahr 2022 Investitionen für Wärmepumpen in Höhe von 4,5 Mrd. Euro (Abbildung 12). Die Investitionen steigen bis zum Jahr 2026 kräftig um das 2,5fache auf 11,3 Mrd. Euro. Danach ergibt sich bis zum Jahr 2030 ein leichter Rückgang um rund 8,5% auf 10,4 Mrd. Euro, der bei unverändert hohem Zubau in Einheiten durch die oben beschriebene Kostendegression ausgelöst wird.

Abbildung 12: Investitionen in Wärmepumpen im Zeitraum 2020 bis 2030 in Mrd. Euro



Quelle: Eigene Berechnungen.

3.9 Übrige Wärmetechnologien

Das Hauptaugenmerk auf dem Weg zur Klimaneutralität im Bereich der Wärmeerzeugung liegt nach den Zielvorstellungen der Bundesregierung eindeutig auf dem Ausbau

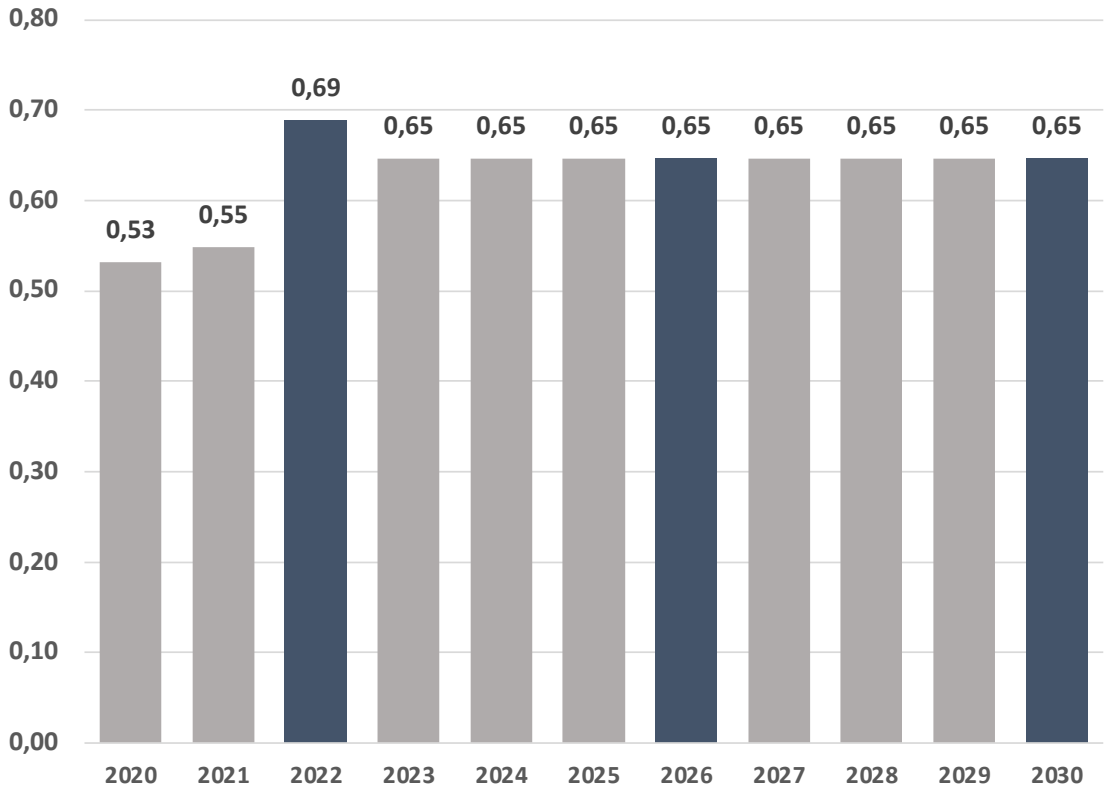
des Bestandes an Wärmepumpen.[15] Daneben spielen die Solarthermie und Biomassekleinanlagen eine untergeordnete Rolle, sie werden deshalb hier in kondensierter Form berücksichtigt.

Grundlage für die Szenariobetrachtungen im Bereich **Solarthermie** ist – wie bei Wärmepumpen - das Langfristszenario T45 Strom. Dort wird bis zum Jahr 2030 von einer Stagnation der neu installierten Flächen ausgegangen, nach 2030 geht das Szenario von einem Rückgang der neu installierten Flächen ausgegangen. Der Hintergrund dieses angenommenen Entwicklungspfades liegt vor allem in der Flächenkonkurrenz mit PV-Dachanlagen (die annahmegemäß stark zunehmen sollen (vgl. Abschnitt 3.4) und in einer Nutzungskonkurrenz mit Wärmepumpen, die ebenfalls stark ausgebaut werden sollen.

Im Zeitraum 2020 bis 2022 bewegte sich die neuinstallierte Fläche zwischen 650.000 und 710.000 m^2. Für den Zeitraum 2023 bis 2030 wird davon ausgegangen, dass jährlich eine Fläche von 665.000 m^2 neu installiert werden (Durchschnitt der Jahre 2020, 2021,2022). Das Verhältnis von Flächenkollektoren (90%) zu Röhrenkollektoren (10%) bleibt in diesem Zeitraum unverändert. Da Solarkollektoren eine ausgereifte Technologie sind, wird von keinen spezifischen Kostendegressionen ausgegangen. Ausgehend von über die beiden Kollektortypen gemittelten spezifischen Kosten von 970 Euro je m^2 ergibt sich für den Zeitraum bis zum Jahr 2030 eine jährliche Investition von 650 Millionen Euro (Abbildung 13).

[15] Der ebenfalls wichtige Ausbau der klimaneutralen Fernwärme bleibt – wie bereits erläutern - in dieser Studie außer Betracht.

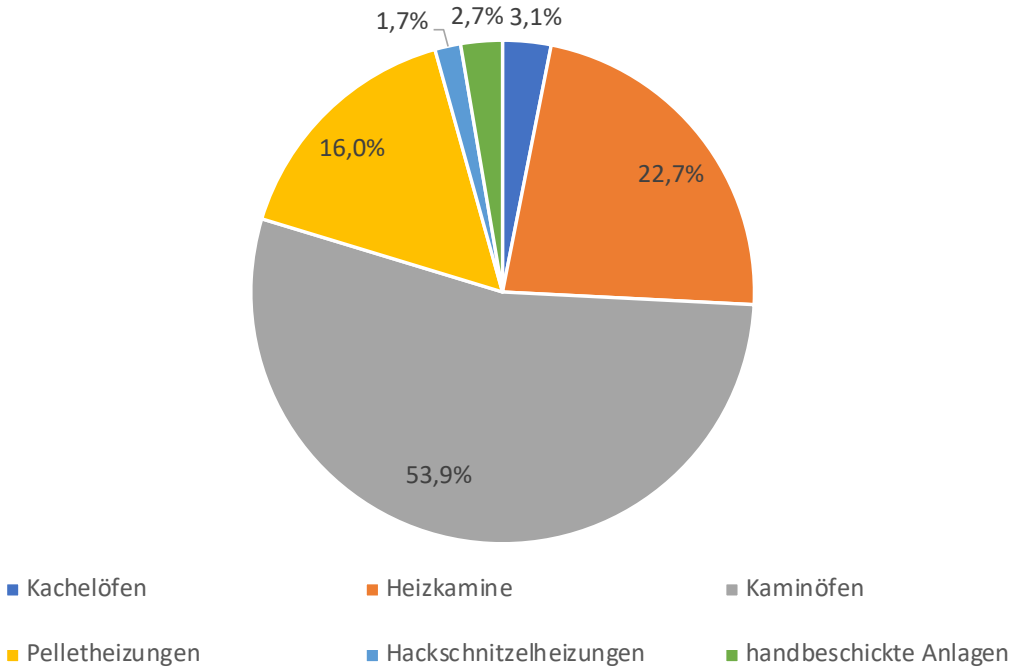
Abbildung 13: Investitionen in Solarthermie in Mrd. Euro im Zeitraum 2020 bis 2030



Quelle: Eigene Berechnungen.

Biomasse-Kleinanlagen umfassen unterschiedliche Typen von Wärmeerzeugern aus Basis von Biomassebrennstoffen, die vorwiegend im privaten Gebäudebereich eingesetzt werden. An Typen wird nach Kachelöfen, Heizkaminen, Kaminöfen, Pelletheizungen, Hackschnitzelheizungen und handbeschickte Anlagen unterschieden. Quantitativ dominieren Kaminöfen (53,9% aller Anlagen in 2020), Heizkamine (22,7%) und Pelletheizungen (16,0%), während die anderen Typen eine untergeordnete Bedeutung gaben (Abbildung 14). Im Zeitraum 2020 bis 2022 ist ein deutlicher Anstieg der neuinstallierten Einheiten zu beobachten (von rund 360.000 Einheiten auf gut 480.000 Einheiten). Neben Sondereffekten währen der Pandemie dürften auch gestiegene Energiepreise eine Rolle gespielt haben.

Abbildung 14: Anteil unterschiedlicher Typen von Biomassekleinanlagen in Prozent im Jahr 2022



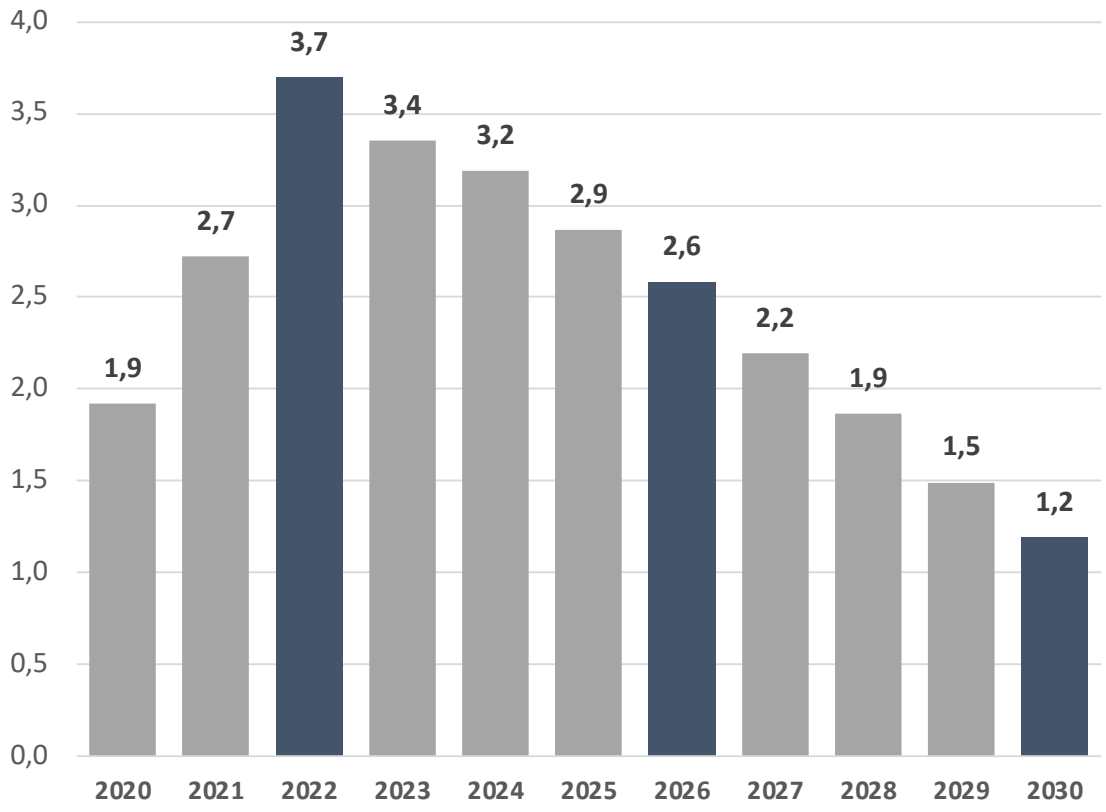
Quelle: ZSW, eigene Berechnungen.

Das für den Wärmebereich zu Grunde gelegte Szenario T45 Strom enthält keine direkten Zielvorstellungen für Biomassekleinanlagen. Allerdings wird eine Verdrängung von Biomasse (Holz) angestrebt. Deshalb wird angenommen, dass sich der zu beobachtende Anstieg seit 2020 nicht fortsetzt, sondern ein schrittweiser Rückgang der neu installierten Einheiten erfolgt. Der angenommene Rückgang beschleunigt sich im Zeitablauf, sodass im Jahr 2030 nur noch rund ein Drittel der Neuinstallationen des Jahres 2022 zu beobachten ist. Dabei wird von einer unveränderten Struktur der Anlagetypen ausgegangen.

Da es sich bei den Biomassekleinanlagen in der Regel um ausgereifte Technologien handelt, wird von keinen spezifischen Kostendegressionen ausgegangen. Die Spannweite der Systemkosten ist sehr groß, sie reicht von Kaminöfen (zwei bis drei Tausend Euro) bis zu Pellet- und Hackschnitzelheizungen (25 bis 30 Tausend Euro). Als durchschnittlicher Systempreis ergibt eine Summe von knapp 8.000 Euro pro Einheit.

Auf Basis des Mengengerüsts und der Annahmen zum Systempreis ergibt sich für das Jahr 2023 eine Investitionssumme von 3,7 Mrd. Euro. Danach setzt ein starker Rückgang der Investitionen ein, im Jahr 2026 werden 2,6 Mrd. Euro und im Jahr 2030 noch 1,2 Mrd. Euro in neue Biomassekleinanlagen investiert (Abbildung 15).

Abbildung 15: Investitionen für Biomassekleinanlagen in Mrd. Euro im Zeitraum 2020 bis 2030



Quelle: ZSW (bis einschließlich 2022), Eigene Berechnungen.

4 Von den Investitionen zum Arbeitskräftebedarf

Aus den quantitativen Entwicklungspfaden des Ausbaus erneuerbarer Energien in physischen Einheiten bis zum Jahr 2030 wurde im vorigen Abschnitt die Entwicklung der Investitionen für die wichtigen Teilbereiche Wind onshore, Wind offshore, Photovoltaik und Wärmepumpen sowie die zusammengefassten Bereiche übrige Stromtechnologien und übrige Wärmetechnologien abgeleitet. Im folgenden Abschnitt 4.1 werden die Investitionen im Zusammenhang dargestellt. Danach erfolgt im Abschnitt 4.2 der Übergang zur im Inland wirksamen Nachfrage. In diesem Kontext werden die Überlegungen zum Export von EE-Technologien und Komponenten sowie die Importe von EE-Anlagen nach Deutschland in die Betrachtung einbezogen. Durch bestehende und im Zeitraum bis zum Jahr 2030 neu installierte Anlagen entstehen Ausgaben für Betrieb und Wartung, die im Abschnitt 4.3 dargestellt werden. Nach Zusammenführung der Bereiche „Investitionen in neue Anlagen und Exporte sowie „Betrieb und Wartung“ wird in Abschnitt 4.4 der sich aus der Anwendung des Berechnungsmodells ergebende Bedarf an Arbeitskräften für die Stichjahre 2026 und 2030 dargestellt. Es werden unterschiedliche Aspekte des zunehmenden Arbeitskräftebedarfs beleuchtet.

4.1 Investitionen

In den vorigen Abschnitten wurden für die vier großen Bereiche der erneuerbaren Energien, die für die Zielerreichung der Klimaneutralität entscheidend sind (Photovoltaik, Windenergie an Land, Windenergie auf See, Wärmepumpen), sowie für die übrigen Technologien aus den Bereichen Strom und Wärme auf Basis von Auswertungen relevanter Studien und Szenarien die erforderlichen Investitionspfade abgeleitet. Dafür wurde basierend auf einem Mengengerüst sowie Annahmen zu spezifischen Kosten und Kostendegressionen für jede Einzeltechnologie eine Investitionssumme für jedes Jahr bis 2030 abgeleitet.

Hier werden diese Informationen für die Einzeltechnologien zusammengeführt. Neben den Daten für die Ex-post-Jahre 2018 bis 2022 werden die Ergebnisse für die Jahre 2026 und 2030 ausgewiesen. Die Jahre 2026 und 2030 wurden als Stichjahre ausgewählt, um für diese Jahre den Bedarf an Arbeitskräften abzuschätzen und die Analysen zum Fachkräftebedarf durchzuführen.

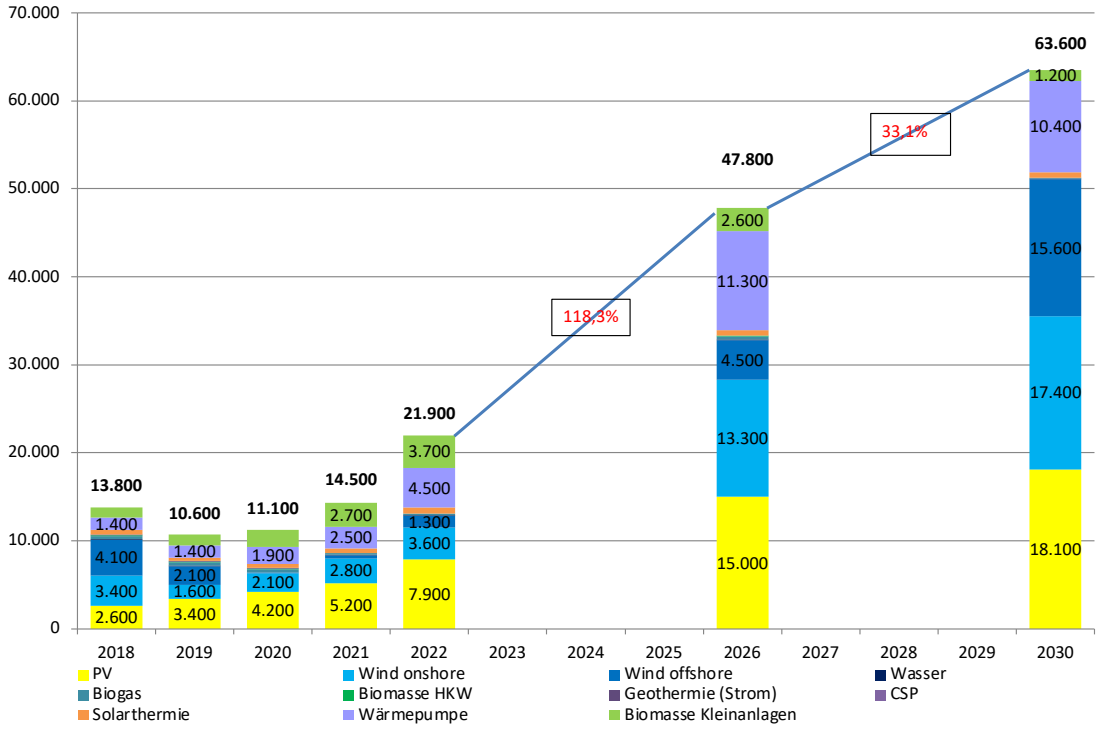
Für die vergangenen Jahre ist zu beobachten, dass nach dem Tiefpunkt im Jahr 2019 bereits ein deutlicher Anstieg der Investitionen bis zum Jahr 2022 zu beobachten ist. Dieser Zuwachs wird von den Bereichen PV, Wind an Land, Wärmepumpen und Biomassekleinanlagen getragen, während alle anderen Bereiche stagnierten oder rückläufig waren (Abbildung 16).

Um den Erfordernissen der Klimaneutralität gerecht zu werden, müssen die Investitionen in erneuerbare Energien im Zeitraum bis 2030 sehr dynamisch wachsen. Im Jahr 2026 betragen die notwendigen Investitionen 47,8 Mrd. Euro, sie müssen sich mit einem Anstieg um 118,3% also gegenüber den Investitionen von 21,9 Mrd. Euro im Jahr 2022 mehr als verdoppeln. Ab dem Jahr 2026 ist ein weiterer Anstieg auf 63,6 Mrd. Euro im

Jahr 2030 notwendig, die Investitionen liegen 2030 also um 33,1% höher als im Jahr 2026.

Im gesamten Zeitraum 2022 bis 2030 müssen sich die jährlichen Investitionen in erneuerbare Energien also nahezu verdreifachen, um den Anforderungen zum Ausbau der erneuerbaren Energien zu genügen, die für einen Pfad zur Klimaneutralität im Jahr 2045 ermittelt wurden.

Abbildung 16: Investitionen in erneuerbare Energien in Millionen Euro im Zeitraum 2018 bis 2030



Quelle: Eigene Berechnungen.

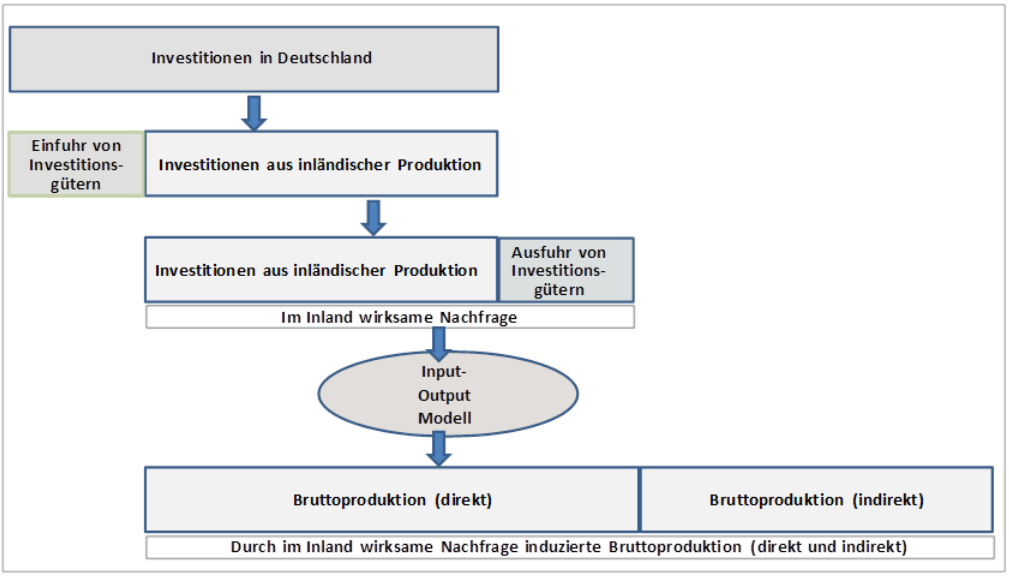
Der Anstieg der Investitionen wird von den vier großen Bereichen Windenergie an Land, Windenergie auf See, PV und Wärmepumpen getrieben. Im Jahr 2030 fallen die höchsten Investitionen mit 18,1 Mrd. Euro im Bereich PV an, gefolgt von Wind an Land (17,4 Mrd. Euro), Wind auf See (15,6 Mrd. Euro) sowie Wärmepumpen (10,4 Mrd. Euro). Auf Grund des geringen Investitionsniveaus im Jahr 2022 fällt der Anstieg im Bereich Wind auf See absolut und in Veränderungsraten besonders hoch aus. Aber auch in den anderen großen Bereichen ist der erforderliche Anstieg erheblich. Die zweitgrößte Dynamik ist bei Wind an Land erforderlich, danach folgen PV und Wärmepumpen.

Die übrigen Bereiche der erneuerbaren Energien sind im Vergleich 2030 zu 2022 durch stagnierende Investitionserfordernisse gekennzeichnet, die Investitionen für Biomassekleinanlagen schrumpfen erheblich (auf ein Drittel des Wertes von 2022).

4.2 Im Inland wirksame Nachfrage aus Investitionen und Exporten

Wie im Abschnitt zu den methodischen Grundlagen des Untersuchungsansatzes erläutert (Abschnitt 2.1), sind nicht die Investitionen, sondern nur die Investitionen, die in Deutschland (also im Inland) nachgefragt werden (im Inland wirksame Nachfrage) der Ansatzpunkt für die durch die Nachfrage nach EE-Anlagen induzierte Beschäftigung. In einem weiteren Berechnungsschritt muss also von der Investitionsnachfrage, die in Deutschland insgesamt entfaltet wird, noch jener Teil der Investitionen abgezogen werden, der durch Importe abgedeckt wird. Der Abzug dieser importierten EE-Anlagen ist notwendig, weil für diesen Teil der Nachfrage keine Beschäftigungseffekte in Deutschland anfallen, sondern im Ausland. Durch diesen Bereinigungsschritt erfolgt somit der Übergang von der Investitionsnachfrage, die in Deutschland insgesamt entfaltet wird, auf die im Inland wirksame Nachfrage nach EE-Anlagen. Gleichzeit müssen die Exporte von Herstellern von EE-Anlagen und Komponenten für diese Anlagen zur im Inland wirksamen Nachfrage addiert werden, weil diese Ausfuhren von EE-Technologiegütern Produktion und Beschäftigung in Deutschland auslösen (Abbildung 17).

Abbildung 17: Schematische Darstellung der Berechnungsschritte zur Ableitung der im Inland wirksamen Nachfrage und der Bruttoproduktion



Quelle: Eigene Darstellung.

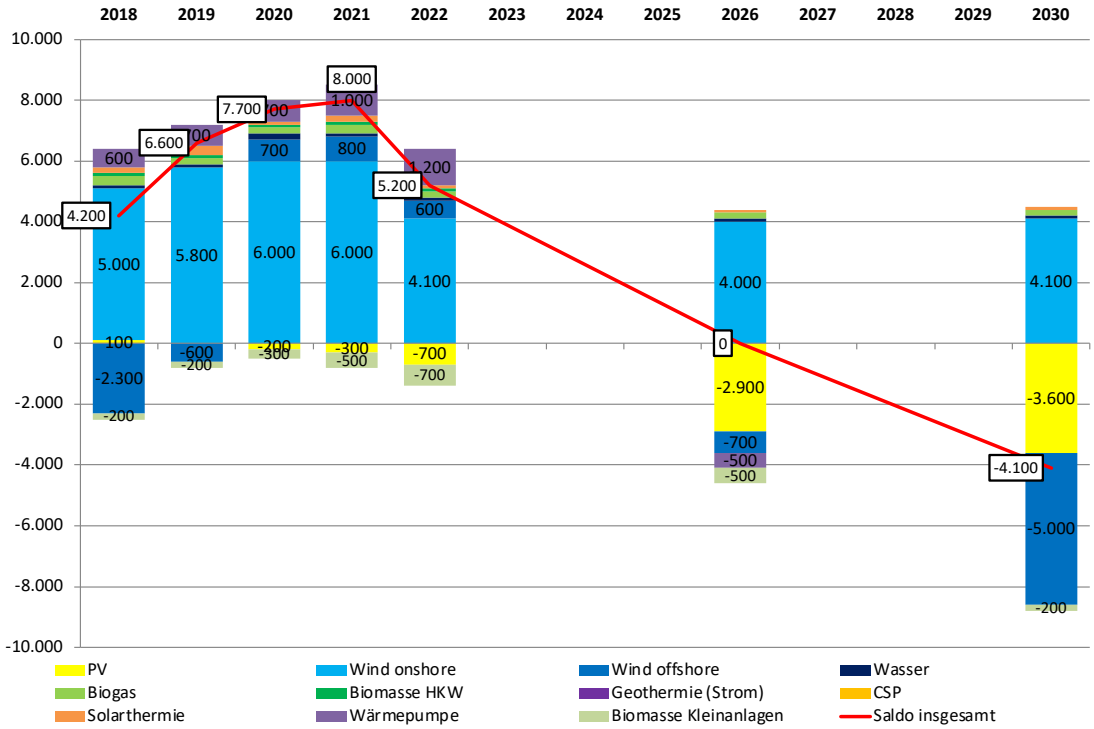
Zur Bestimmung dieser außenhandelsorientierten Größen kann auf vorliegende Erfahrungen und Ergebnisse bei der Untersuchung zur Abschätzung der Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien zurückgegriffen werden. Allerdings beziehen sich diese Ergebnisse auf den ex-post Zeitraum (aktuell bis zum Jahr 2022, vgl. auch Anhang 1) und können deshalb nur als Grundlage für eine notwendige Extrapolation herangezogen werden.

Im Hinblick auf die zu erwartende Entwicklung bei Importen und Exporten bis zum Jahr 2030 werden auf der Ebene der einzelnen Technologien, insbesondere für die vertieft betrachteten vier großen Bereiche, aufbauend auf bisherigen Ergebnissen

Überlegungen zur weiteren Entwicklung angestellt. In die Betrachtung fließen die jeweilige Marktsituation, die getroffenen oder sich abzeichnenden Entscheidungen über neue Produktionsstandorte und Standortverlagerungen ein. Generell kann davon ausgegangen werden, dass eine dynamische Marktentwicklung, wie sich bis zum Jahr 2030 für Deutschland abzeichnet, zum einen eine Anziehungskraft für ausländische Wettbewerber entfaltet, die versuchen werden, an dieser Entwicklung zu partizipieren. Zum anderen wird sich der Fokus der heimischen Anbieter bei einer dynamischen Entwicklung des Inlandsmarktes zunächst stärker auf diesen fokussieren, da der Inlandsabsatz in der Regel kostengünstiger zu bewerkstelligen ist als der Auslandsabsatz. Mittelfristig können sich durch die große Dynamik auf dem Heimatmarkt Wettbewerbsvorteile ergeben, die mittelfristig die Chance auf Auslandsmärkten verbessern.

Aus diesen allgemeinen Überlegungen und technologiespezifisch differenzierten Marktbedingungen ergibt sich eine Entwicklung des Außenhandels bei EE-Anlagen (und Komponenten) die erwarten lässt, dass der Saldo des Außenhandels sich bis zum Jahr 2030 leicht negativ entwickelt. Ausgehend von einem Exportüberschuss von 5,2 Mrd. Euro im Jahr 2022 lässt sich im Jahr 2026 ein ausgeglichener Saldo erwarten. Im Jahr 2030 ist ein Überschuss an Importen von rund 4,1 Mrd. Euro zu erwarten (Abbildung 18).

Abbildung 18: Saldo im Außenhandel differenziert nach EE-Technologien in Millionen Euro im Zeitraum 2018 bis 2030



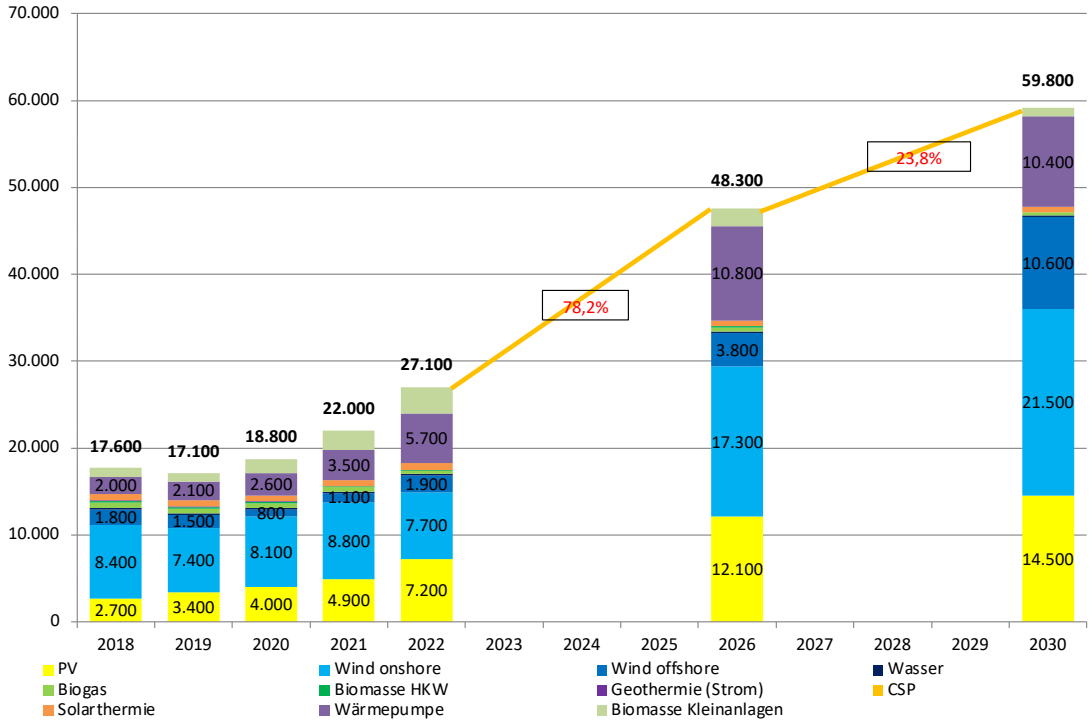
Quelle: Eigene Berechnungen.

Dahinter liegenden folgende grundlegenden, plausiblen Erwartungen für die einzelnen Technologien: Bei EE-Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energie für Wind an Land ergibt sich – wie auch in der Vergangenheit – ein Exportüberschuss, der allerdings gemessen an der Investitionsnachfrage aus dem Inland deutlich zurück geht. Die Anbieter bleiben also auf den Auslandmärkten erfolgreich, können ihre Exporte aber nicht im

gleichen Umfang steigern wir ihren Inlandsabsatz. Der Umschwung auf negative Salden im Außenhandel in den Jahren ab 2026 wird von der weiteren Entwicklung in der PV getrieben. Hintergrund ist eine hohe Importquote bei Solarzellen und Modulen, die in Zukunft weiter zunimmt. Auch hier nehmen die Exporte (vor allem von Wechselrichtern) nicht stärker zu als die inländische Nachfrage. Im Jahr 2030 kommt noch ein kräftiger Importüberschuss im Bereich Wind auf See hinzu. Auch hier wird angenommen, dass die Importquote im Vergleich zu den letzten Jahren ansteigt. Gerade bei der Offshore-Windenergie besteht eine große Unsicherheit über die Beteiligung deutscher Hersteller und Lieferanten an den Projekten, die erst ab 2026 errichtet werden.

Wenn man die Ergebnisse zur Entwicklung des Außenhandelssaldos mit den vorliegenden Schätzungen zu den Investitionen (Abbildung 16) verknüpft, gelangt man zur im Inland wirksamen Nachfrage aus Investitionen und Exporten (Abbildung 19). Die im Inland wirksame Nachfrage weist eine geringere Dynamik aus als die zu Grunde liegende Entwicklung der Investitionen. So fällt der Anstieg im Jahr 2026 gegenüber 2022 mit rund 21 Mrd. Euro (78,2%) immer noch kräftig aber gedämpft gegenüber dem Anstieg bei den Investitionen (118,3%) aus. Auch der Anstieg 2030 gegenüber 2026 fällt bei der im Inland wirksamen Nachfrage mit 23,8% geringer aus als bei den Investitionen (33,1%).

Abbildung 19: Aus Investitionen und Exporten resultierende im Inland wirksame Nachfrage in Millionen Euro Im Zeitraum 2018 bis 2030



Quelle: Eigene Berechnungen.

Diese im Inland wirksame Nachfrage bildet zusammen mit der Nachfrage aus Betrieb und Wartung (vgl. nächster Abschnitt) den Ausgangspunkt für die modellmäßige Abschätzung des Fachkräftebedarfs durch den Ausbau der erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2030.

4.3 Nachfrage durch Betrieb und Wartung von EE-Anlagen

Mit wachsendem Bestand an EE-Anlagen nehmen auch die Aufwendungen für Betrieb und Wartung zu. Im Rahmen der Arbeiten zur Ermittlung der Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien werden die Aufwendungen für Betrieb und Wartung aus dem durch bisherige Investitionsjahrgänge aufgebauten Kapitalstock abgeleitet (O'Sullivan et al. 2023). Der Kapitalstock besteht aus einzelnen Investitionsjahrgängen (capital vintage approach), die differenziert nach Technologien erfasst werden. Dieses bestehende Rechenwerk wird für den Zeitraum 2023 bis 2030 um die zu technologiespezifischen Investitionsjahrgänge ergänzt, die entsprechend der im vorigen Abschnitt beschriebenen Methode abgeleitet werden. Die jeweiligen Investitionsjahrgänge werden technologiespezifisch erfasst und in das Modell eingepflegt.

Aus dem zeitlich so fortgeschriebenen Rechenwerk werden die jährlichen Aufwendungen für Betrieb und Wartung im Zeitraum 2023 bis 2030 abgeleitet. Im Einklang mit den bisherigen Annahmen zur Berechnung der Bruttobeschäftigung (O´Sullivan u.a. 2023b) wird davon ausgegangen, dass die Aufwendungen für Betrieb und Wartung vollständig durch Anbieter aus dem Inland erbracht werden, sodass keine weiteren Schätzungen zu Exporten oder Importen notwendig sind.[16]

Im Jahr 2022 betragen die Ausgaben für Betrieb und Wartung 9,6 Mrd. Euro (Abbildung 20)[17]. Ausgelöst durch die dynamisch wachsenden Investitionen in EE-Anlagen steigen die Ausgaben für Betrieb und Wartung auf 13,0 Mrd. Euro im Jahr 2026 (35,4% mehr als 2022) und auf 20,3 Mrd. Euro im Jahr 2030 (56,2% mehr als 2026). Insgesamt führt der starke Anstieg der Investitionen und der damit verbundene Ausbau des Bestandes an EE-Anlagen dazu, dass sich die jährlichen Ausgaben für Betrieb und Wartung zwischen 2022 und 2030 mehr als verdoppeln.

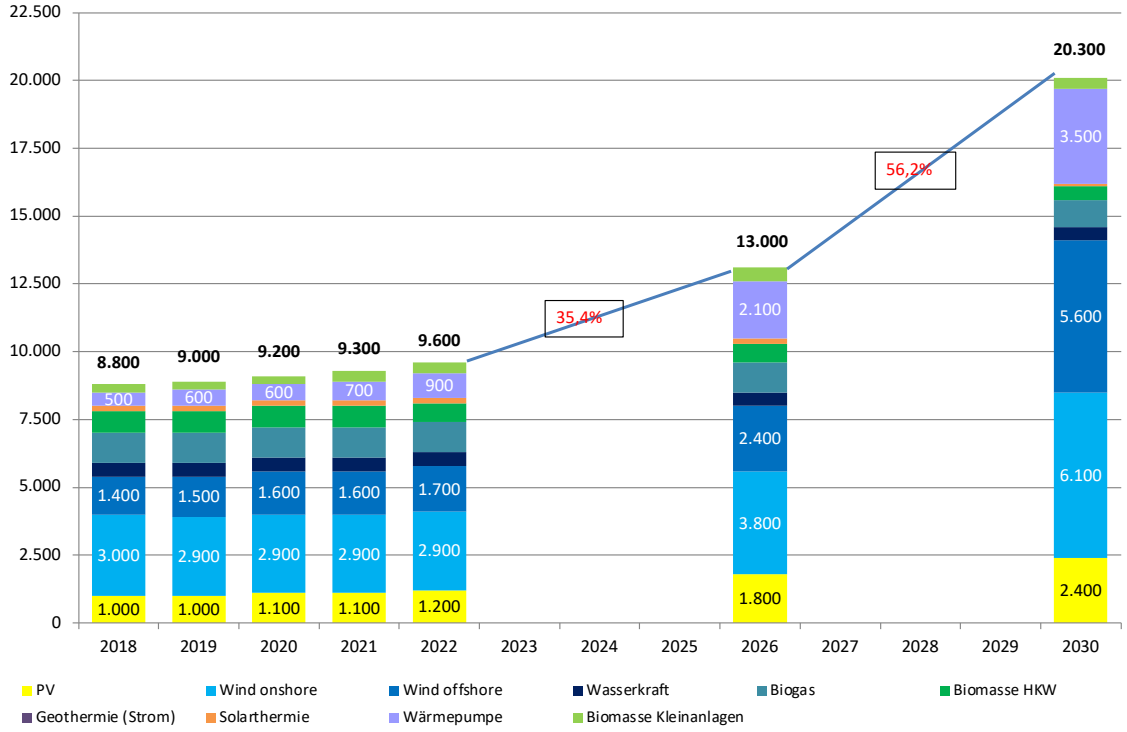
Der größte Anteil an den Ausgaben für Betrieb und Wartung entfällt über den ganzen Zeitraum auf den Bereich Wind an Land, während das Gewicht für Wind auf See erst zum Ende des Zeitraums stark zunimmt (um rund 10 Prozentpunkte zwischen 2022 und 2030). Die Bedeutung von PV für Betrieb und Wartung bleibt trotz des starken Kapazitätsausbau dahinter zurück, da die spezifischen Kosten für Betrieb und Wartung bei dieser Technologie unterdurchschnittlich sind. Der Ausbau des Bestandes an Wärmepumpen geht mit einem Anstieg der Ausgaben für Betrieb und Wartung einher, der Anteil an den gesamten Ausgaben für Betrieb und Wartung steigt von 9,4% (2022) auf 17,2% (2030). Den ganz überwiegenden Anteil der Kosten für Betrieb und Wartung macht bei Wärmepumpen der Betriebsstrom aus.

---

[16] Wie bereits ausgeführt greifen inländische Anbieter in ihrem Produktionsprozess auch auf importierte Vorleistungen zurück. Diese werden modellendogen im Rahmen der Input-Output-basierten Modellanalysen berücksichtigt.

[17] Die Bereitstellung und der Einsatz von Biomassebrennstoffen bleiben in dieser Untersuchung unberücksichtigt.

Abbildung 20: Ausgaben für Betrieb und Wartung in Millionen Euro im Zeitraum 2018 bis 2030

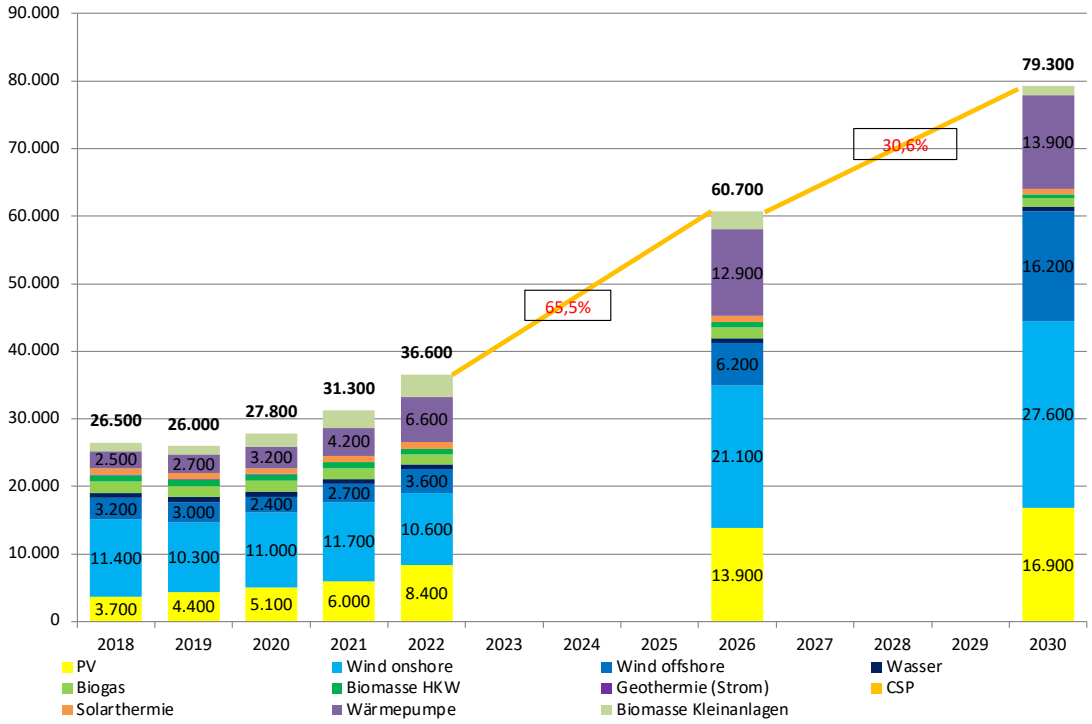


Quelle: Eigene Berechnungen.

4.4 Entwicklung der Nachfrage nach Arbeitskräften bis zum Jahr 2030

Die in den beiden letzten Abschnitten ermittelten Nachfragegrößen – im Inland wirksame Nachfrage aus Investitionen und Export sowie Ausgaben für Betrieb und Wartung jeweils nach EE-Technologiebereichen – sind die Ausgangsgrößen der Abschätzung der Nachfrage nach Arbeitskräften im Zeitraum bis 2030 (Abbildung 21). Zusammengenommen steigt die Nachfrage von 36,6 Mrd. Euro im Jahr 2022 auf 79,3 Mrd. Euro im Jahr 2030. Im Jahr 2030 ist die jährliche Nachfrage durch den Ausbau und Betrieb von EE-Anlagen also um 42,7 Mrd. Euro höher als im Jahr 2022, dies entspricht einem Zuwachs von 116,7%.

Abbildung 21: Im Inland wirksame Nachfrage für den Ausbau und Betrieb von EE-Anlagen in Millionen Euro im Zeitraum 2018 bis 2030



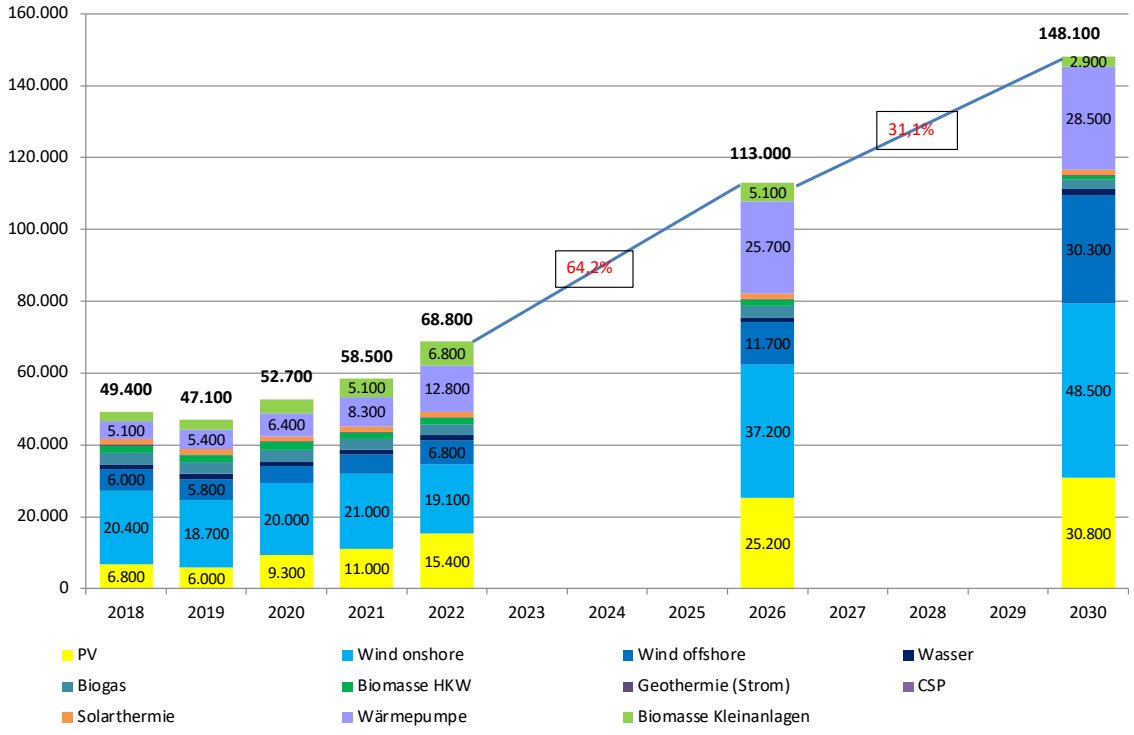
Quelle: Eigene Berechnungen.

Die auf dieser Nachfrageschätzung basierende Abschätzung des Arbeitskräftebedarfs erfolgt mit dem offenen statischen Mengenmodell der Input-Output-Analyse. Dieses Modell ist auch Grundlage der Abschätzung der EE-Beschäftigung für das Berichtsjahr 2022 sowie für die Berechnungen zu früheren Berichtsjahren.

Das Grundkonzept der Methode besteht darin, für eine ermittelte Endnachfragegröße (hier im Inland wirksame Nachfrage aus Investitionen und Export sowie Ausgaben für Betrieb und Wartung) die induzierten Produktionswirkungen zu berechnen, also den Umfang an Bruttoproduktion der notwendig ist, um die ermittelte Endnachfrage zu befriedigen. Dabei werden neben den direkt ausgelösten Produktionswirkungen in den Wirtschaftseinheiten, die ihre Produkte direkt an die Endnachfrage liefern, auch die indirekt ausgelösten Wirkungen in den zuliefernden (vorgelagerten) Bereichen der Wirtschaft miterfasst, also in jenen Wirtschaftseinheiten, die Vorleistungen (Waren und Dienstleistungen) für den Produktionsprozess bereitstellen.

Die so abgeschätzte Bruttoproduktion durch Ausbau und Betrieb von EE-Anlagen beläuft sich im Jahr 2022 auf 68,8 Mrd. Euro (Abbildung 22). Die direkte Nachfrage macht 53,2% der gesamten Bruttoproduktion an, 46,8% (32,2 Mrd. Euro) fallen also als indirekte Produktion in den vorgelagerten Produktionsstufen an. Im Jahr 2026 beträgt die induzierte Bruttoproduktion 113,0 Mrd. Euro und ist somit 64,2% höher als 2022. Im Jahr 2030 ist ein weiterer Anstieg um ein knappes Drittel (31,1%) zu erwarten, die induzierte Bruttoproduktion wird dann auf 148,1 Mrd. Euro geschätzt. Die indirekte Produktion macht in diesem Jahr 53,5% (68,8 Mrd. Euro) aus.

Abbildung 22: Induzierte Bruttoproduktion (Investitionen, Exporte und Betrieb) in Millionen Euro im Zeitraum 2018 bis 2030

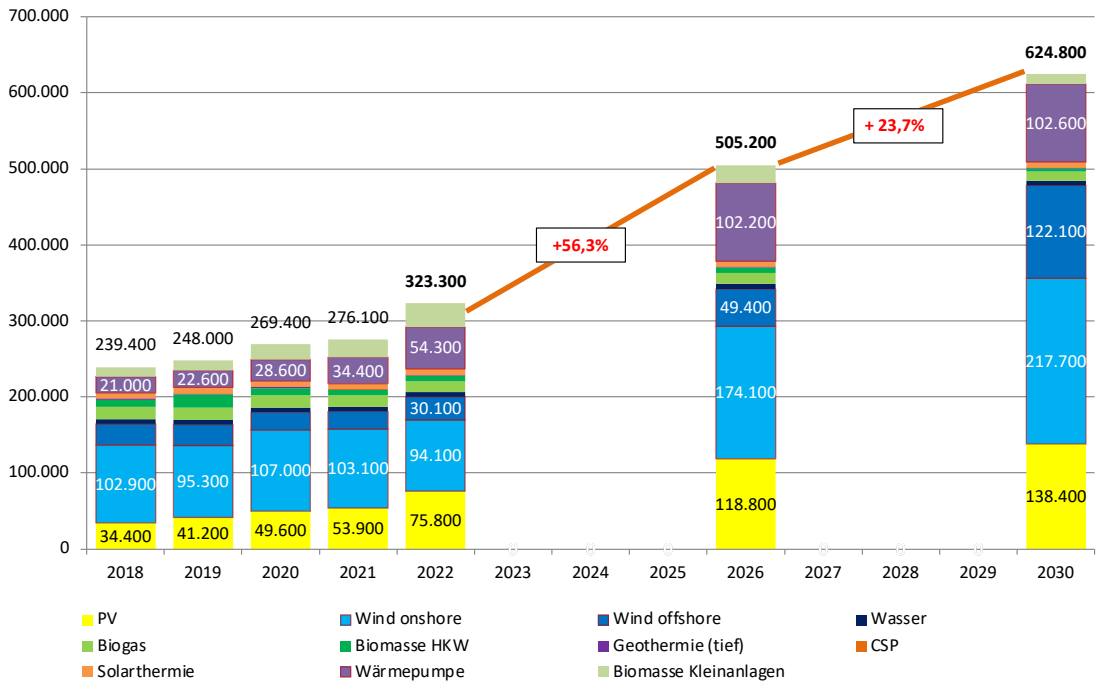


Quelle: Eigene Berechnungen.

Aus dieser so errechneten Bruttoproduktion lässt sich mit Hilfe der sektoralen Arbeitskoeffizienten, die für die Jahre bis 2030 entsprechend den angenommenen Fortschritten der Arbeitsproduktivität fortgeschrieben werden (vgl. Abschnitt 2.1 und Abbildung 3), der Arbeitskräftebedarf in den Stichjahren 2026 und 2030 ableiten.

Im Jahr 2026 errechnet sich ein Arbeitskräftebedarf von rund 505.000 Personen. Das sind 182.000 Personen (56,3%) mehr als im Jahr 2022. Mit 174.100 Personen entfällt der größte Bedarf auf den Bereich Wind an Land gefolgt von der Photovoltaik (188.100) und vom Bereich Wärmepumpen (102.200). Diese drei Bereiche zusammengenommen sind für mehr als drei Viertel (78,2%) des Bedarfs an Arbeitskräften verantwortlich (Abbildung 23).

Abbildung 23: Entwicklung des Arbeitskräftebedarfs durch erneuerbare Energien nach Technologien in Personen im Zeitraum 2018 bis 2030



Quelle: Eigene Berechnungen.

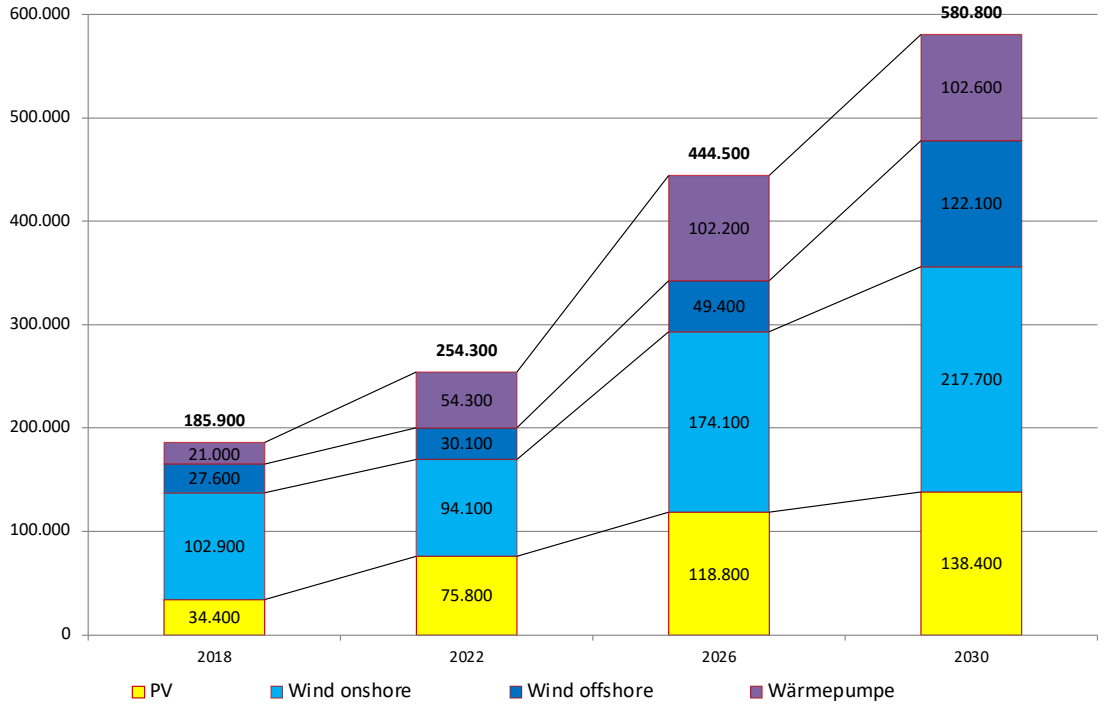
Im Jahr 2030 ist der Arbeitskräftebedarf mit 624.800 Personen noch einmal um 119.600 Personen (23,7%) höher. Der größte Bedarf besteht weiterhin im Bereich Wind an Land (217.700) gefolgt von der Photovoltaik (138.400). Der drittwichtigste Bereich im Jahr 2030 ist Wind auf See (122.100), auf den ein größerer Arbeitskräftebedarf entfällt als auf den Bereich Wärmepumpen, der mit 102.600 Personen in etwa den gleichen Bedarf hat wie im Jahr 2026.

Die Bedeutung für die Entwicklung der Nachfrage nach Arbeitskräften der vier großen Bereiche, die zukünftig den Ausbau der erneuerbaren Energien dominieren werden, ist in Abbildung 24 dargestellt. Der Anteil der vier großen Bereiche am gesamten Arbeitskräftebedarf durch erneuerbare Energien steigt von 75 % auf 88 % im Jahr 2026 und 93 % im Jahr 2030, er nimmt also bis 2030 kräftig zu (um 18 Prozentpunkte gegenüber 2018).

Einen Eindruck, wie sich die Bedeutung von Investitionen und Exporte einerseits und von Betrieb und Wartung anderseits für den Arbeitskräftebedarf im Zeitablauf entwickelt, gibt Abbildung 25. Obwohl die Beschäftigung für Betrieb und Wartung (mit Ausnahme des Jahres 2021[18]) im Zeitablauf stetig, wenn auch zunächst langsam zunimmt, ist die Bedeutung dieses Teils der Arbeitskräftenachfrage bis zum Jahr 2026 rückläufig.

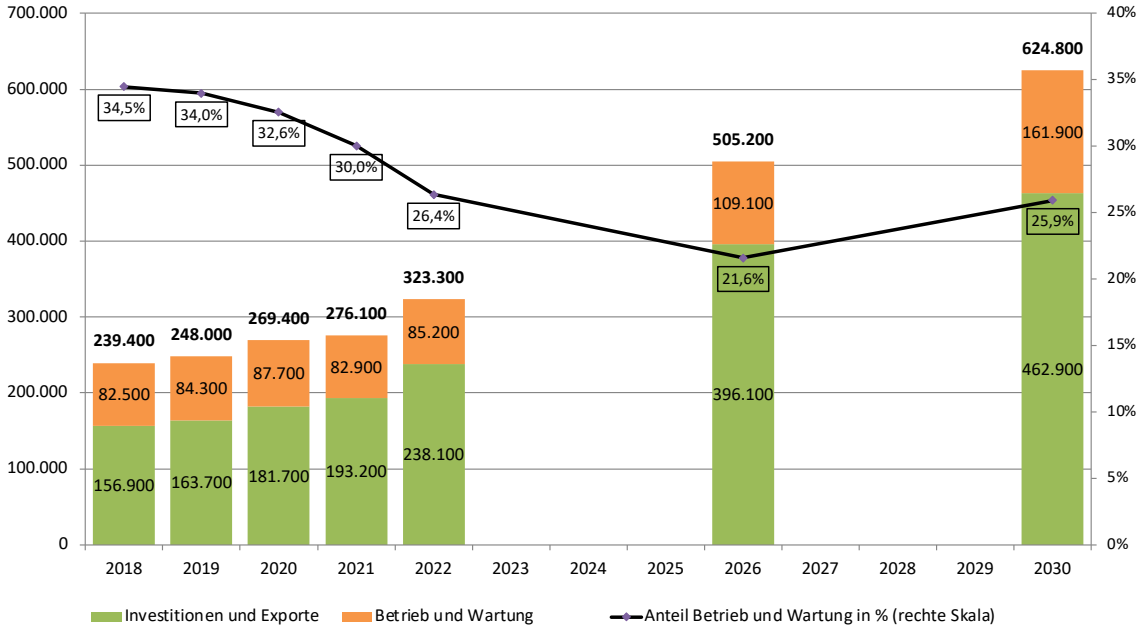
[18] Im Jahr 2021 ist der Zubau gering, erste Anlagen scheiden aus dem Bestand aus, sodass die Ausgaben für Betrieb und Wartung nur schwach wachsen, dies führt unter Einbeziehung der Entwicklung der Arbeitsproduktivität zu einem leichten Rückgang der Beschäftigung.

Abbildung 24: Entwicklung des Arbeitskräftebedarfs in Personen in den vier großen Bereichen der erneuerbaren Energien im Zeitraum 2018 bis 2030



Quelle: Eigene Berechnungen.

Abbildung 25: Bedeutung von Investitionen und Exporte sowie Betrieb und Wartung für die Entwicklung des Arbeitskräftebedarfs in Personen im Zeitraum 2018 bis 2030



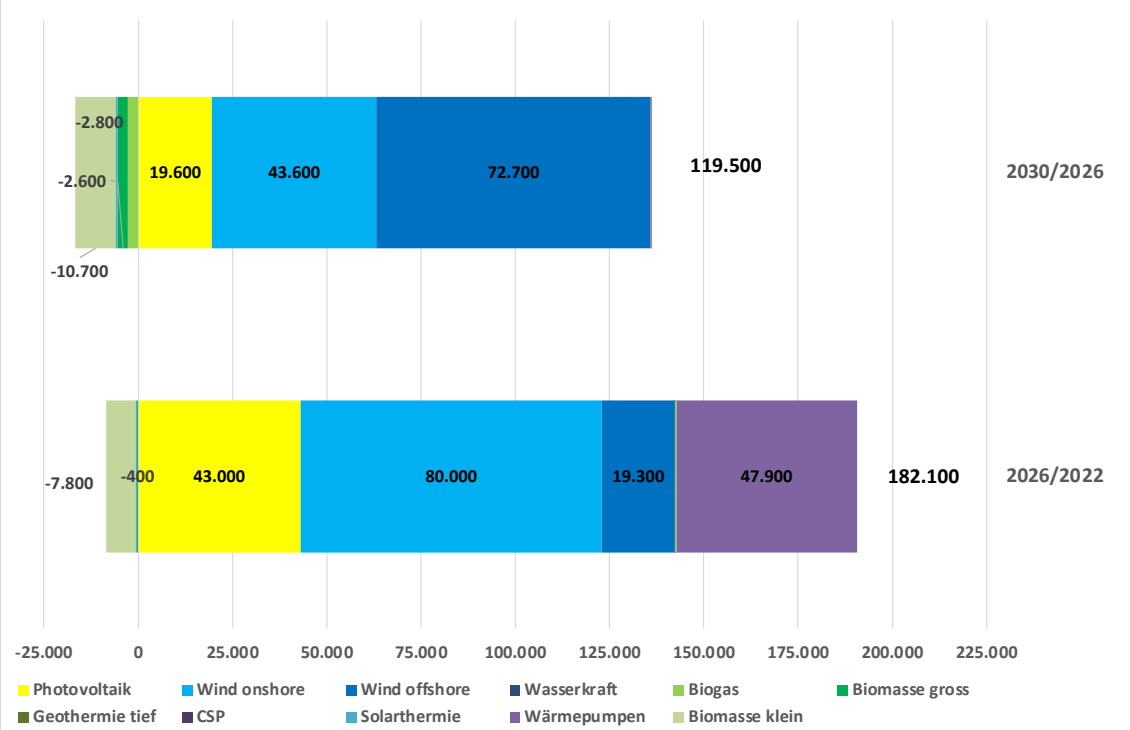
Quelle: Eigene Berechnungen.

Nach dem Jahr 2026 führt der dynamische Zubau von EE-Anlagen über den Bestandseffekt zu einem Anstieg der Bedeutung der Beschäftigung durch Betrieb und Wartung.

Betrachtet man, wie sich die Veränderung des Arbeitskräftebedarfs auf die Perioden 2022 bis 2026 bzw. 2026 bis 2030 verteilt, so wird deutlich, dass der Zuwachs 2026/2022 mit 182.100 Personen deutlich größer ausfällt als der Zuwachs 2030/2026 mit 119.500 Personen (Abbildung 26).

In der ersten Periode sind die Zusatzbedarfe für Wind an Land, Wärmepumpen und PV besonders hoch, in der zweiten Periode entwickelt sich vor allem im Bereich Wind auf See ein zusätzlicher Bedarf an Arbeitskräften, aber auch für den Bereich Wind an Land entsteht in der zweiten Periode eine zusätzliche Arbeitskräftenachfrage.

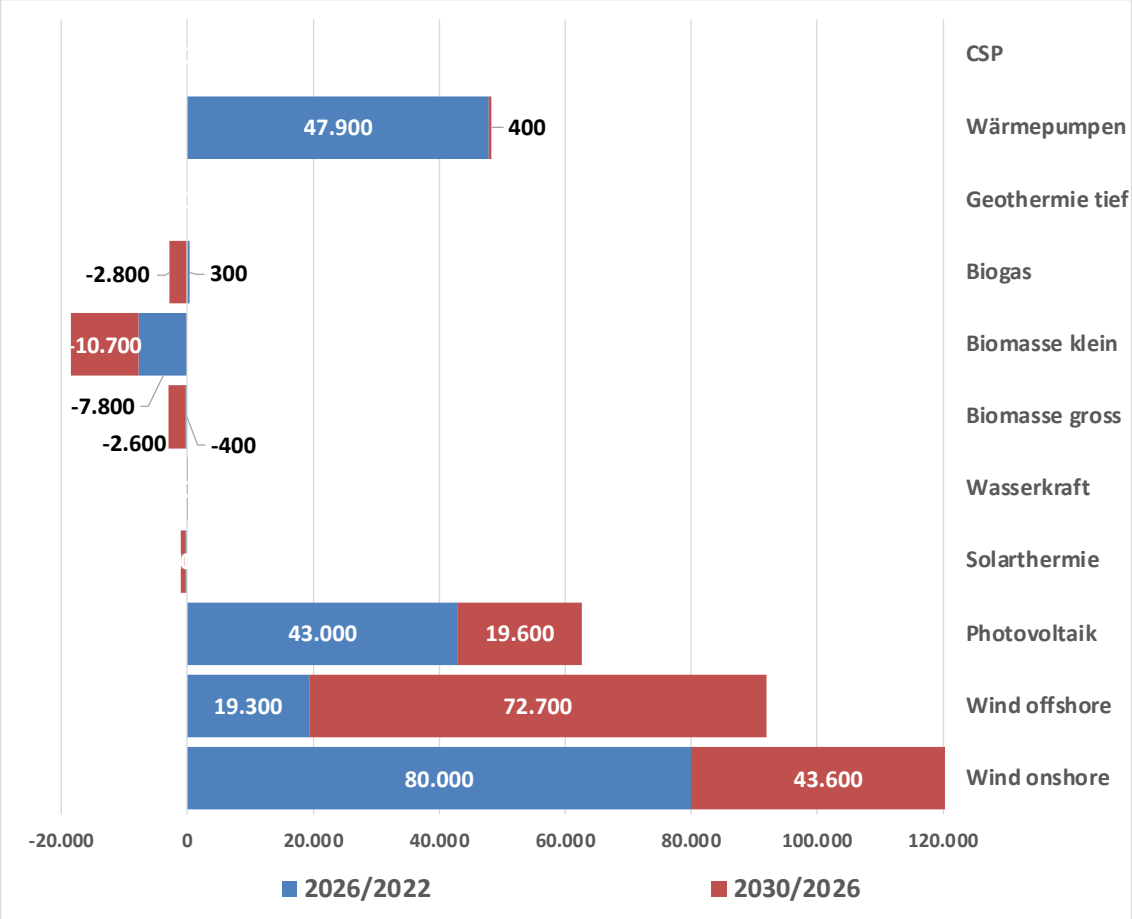
Abbildung 26: Zunahme/Abnahme der Nachfrage nach Arbeitskräften in den Perioden 2026/2022 und 2030/2026



Quelle: Eigene Berechnungen.

In einer Analyse nach einzelnen EE-Technologien (Abbildung 27) wird deutlich, dass der größte Bedarf an Arbeitskräften durch den Ausbau und Betrieb von Wind an Land entsteht (123.600 Personen). Zusätzliche 92.000 Arbeitskräfte werden für Wind auf See benötigt, wobei hier ein deutlicher Schwerpunkt auf die zweite Periode 2026 bis 2030 entfällt. Es folgt die Photovoltaik mit einem Zusatzbedarf von 62.400 Personen. Bei Wärmepumpen entsteht der gesamte zusätzliche Bedarf von rund 48.000 Personen im Zeitraum 2022 bis 2026, danach ist der Bedarf praktisch unverändert. Die übrigen Technologiebereiche sind durch (kleinere) Rückgänge beim Bedarf an Arbeitskräften gekennzeichnet, nur bei Biomassekleinanlagen fällt der Rückgang mit 18.500 Personen deutlicher aus.

Abbildung 27: Zunahme/Abnahme der Nachfrage nach Arbeitskräften in den Perioden 2026/2022 und 2030/2026 nach Technologien



5 Arbeits- und Fachkräftebedarf 2026 und 2030

Im Folgenden wird der in Kapitel 4 beschriebene Arbeitskräftebedarf nach Berufen und Anforderungsniveaus in unterschiedlichen Perspektiven ausgewertet. Berufsbilder und Tätigkeiten von Erwerbstätigen werden in Deutschland in der Regel entlang der Klassifikationen der amtlichen Statistik beschrieben. Übliche Berufsbezeichnungen werden dort in einem hierarchischen System auf Grundlage der Ähnlichkeit eingeordnet und gruppiert. Die sogenannte „Berufsfachlichkeit“ wird in der Klassifikation der Berufe (KldB 2010) in vier Hierarchiestufen aufgegliedert. Die oberste Ebene sind dabei die 10 Berufsbereiche, die vierte Ebene (4-Steller) unterscheidet 700 Berufsuntergruppen. Zur weiteren Untergliederung wird die Dimension des Anforderungsniveaus der Tätigkeit hinzugezogen. Dieses Merkmal beschreibt die Komplexität der Tätigkeit und bezieht nichtformale Qualifikationen sowie Berufserfahrung mit ein (Bundesagentur für Arbeit 2023). Das Anforderungsniveau der Beschäftigten kann als eigenes Merkmal ohne berufsfachlichen Bezug ausgewertet werden und unterscheidet vier Stufen: Helfer- und Anlerntätigkeiten („Helfer“), fachlich ausgerichtete Tätigkeiten („Fachkraft“), komplexe Spezialistentätigkeiten („Spezialist“) sowie hoch komplexe Tätigkeiten („Experte“).

Nach einem allgemeinen Überblick über die Strukturen des zukünftigen Bedarfs werden die wichtigsten Berufe für den EE-Ausbau im Zielszenario dargestellt. Schließlich folgt ein Abgleich mit der Engpasssituation für einzelne Berufe. Es handelt sich um quantitative Abschätzungen des Bedarfs für die Realisierung des in Kapitel 3 beschrieben Ausbaus. Der zusätzliche Bedarf berücksichtigt nicht den Ersatzbedarf durch den Austritt aus dem Erwerbsleben bis 2026 bzw. 2030, der je nach Berufsgruppe unterschiedlich ausfallen wird.

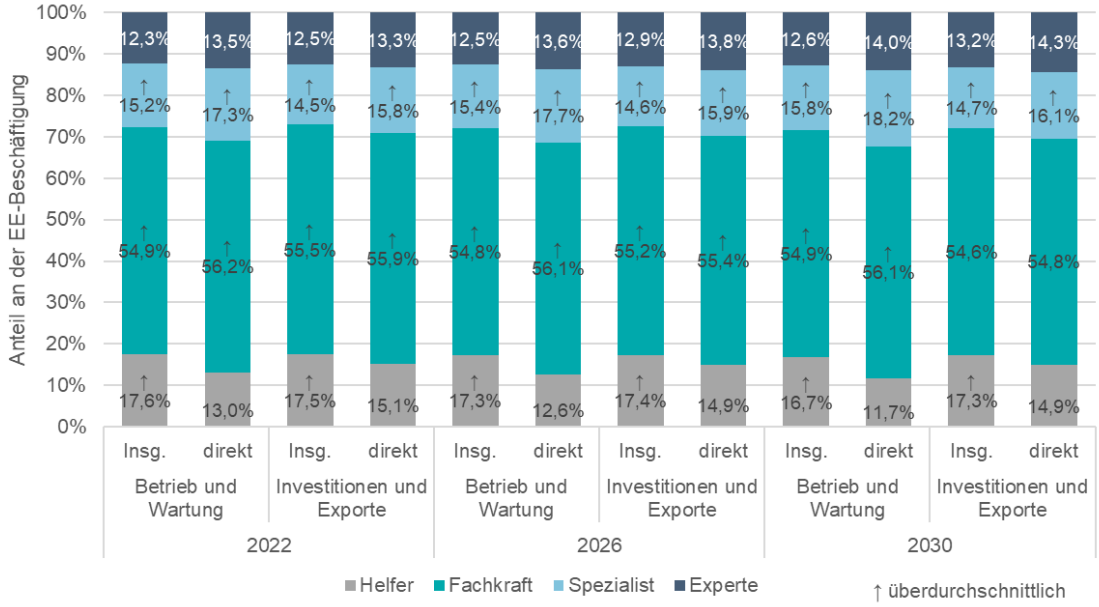
5.1 Überblick zur Struktur nach Berufen und Anforderungsniveaus

Das folgende Kapitel zeigt eine Übersicht für zentrale Indikatoren zur Berufsstruktur und Anforderungsniveaus. Dabei werden die Anteile am Gesamtbedarf an Arbeitskräften im jeweiligen Jahr (2022: 323.200 Personen, 2026: 505:200, 2030: 624.800) ausgewiesen. Für die Einordnung wird mit den Anteilen in der Gesamtwirtschaft heute verglichen. Werte, die über diesem Vergleichswert liegen, werden fett hervorgehoben.

Mehr als die Hälfte des Arbeitskräftebedarfs entfällt im Bereich der Anforderungsniveaus auf „Fachkräfte“ (vgl. Abbildung 28). Dies macht sich vor allem bei der direkten Beschäftigung bemerkbar, die stärker spezialisiert ist als die indirekte. Häufig liegen die Anteile sowohl bei Betrieb und Wartung als auch bei Investitionen und Exporten bei über 55 % und damit über dem Vergleichswert für die Gesamtwirtschaft (54,8 %). Ein überdurchschnittlicher Anteil ist mit einem ↑ markiert. Für den Anteil an „Spezialisten“ liegen die Werte durchgehend über dem Benchmark (14,4 %). Für Betrieb und Wartung steigt der Anteil auf 15,8 % bzw. 18,2 %. Der Anteil der „Experten“ unter den EE-Beschäftigten ist hingegen in allen EE-Segmenten unterdurchschnittlich (Gesamtwirtschaft auch 14,4 %). Der Anteil, der auf „Helfer“ entfällt, ist entsprechend für die EE-Beschäftigten in den Segmenten insgesamt unterdurchschnittlich. Betrachtet man nur die direkte Beschäftigung ist dieser Anteil deutlich geringer. In der Gesamtschau benötigt der Bereich Betrieb und Wartung besonders hohe Anforderungen, mit steigender Tendenz und vor allem bei der

direkten Beschäftigung. Zu erkennen ist auch, dass die Anteile für das Anforderungsprofil der „Spezialisten“ und “Experten“ steigen bzw. stärker steigen. Für die Fachkräfte gehen die Anteile etwas zurück.

Abbildung 28: Verteilung der Anforderungsniveaus auf die EE-Beschäftigten nach Segmenten und im Zeitverlauf



Stärkere Unterschiede zeigen sich bei der Betrachtung der Anteile unterschiedlicher Berufsbereiche (vgl.

Tabelle 2). Die 140 Berufsgruppen können zu neun Berufsbereichen (siehe Abbildung 30) zusammengefasst werden, darunter „Rohstoffgewinnung, Produktion und Fertigung“ (Fertigungsberufe) und „Bau, Architektur, Vermessung und Gebäudetechnik“ (Bau und Architektur). Hier zeigt sich die starke Konzentration des EE-Arbeitskräftebedarfs auf die technischen Berufe in Industrie und Handwerk. Für Investitionen und Exporte liegen die Anteile der Fertigungsberufe doppelt so hoch wie in der Gesamtwirtschaft. Aber auch für Betrieb und Wartung liegt der Anteil mit 32 % deutlich über den 21 % der Vergleichsgröße (ein überdurchschnittlicher Wert ist fett markiert). Dieser Berufsbereich geht in seiner Bedeutung im Laufe der Zeit etwas zurück. Für das Segment „Investitionen und Exporte“ sind die Bauberufe von besonders großer Bedeutung. Gegen Ende des Projektionszeitraums liegen die Werte bei knapp 12 % gegenüber 6 % bei Betrieb und Wartung und auch in der Gesamtwirtschaft.

Tabelle 2: Übersicht zu zentralen Indikatoren zu Berufsstruktur und Konzentration

	Indikator	Segment	2022	2026	2030	Gesamtwirtschaft, 2023
Berufsbereiche [a]	Anteil Fertigungsberufe	Betrieb und Wartung	**32,1%**	**31,5%**	**31,5%**	20,6%
		davon direkt	**38,2%**	**37,6%**	**37,1%**	
		Investitionen und Exporte	**40,9%**	**40,1%**	**39,1%**	
		davon direkt	**48,3%**	**46,7%**	**45,6%**	
	Anteil Bau und Architektur	Betrieb und Wartung	**6,2%**	**6,1%**	5,6%	6,1%
		davon direkt	5,9%	5,7%	5,0%	
		Investitionen und Exporte	**11,4%**	**11,7%**	**11,8%**	
		davon direkt	**11,6%**	**12,0%**	**12,1%**	
Konzentration	Anteil Top10	Betrieb und Wartung	**52,8%**	**53,1%**	**53,3%**	40,7%
		davon direkt	**55,4%**	**56,1%**	**56,2%**	
		Investitionen und Exporte	**54,0%**	**53,3%**	**52,7%**	
		davon direkt	**58,5%**	**57,3%**	**56,6%**	

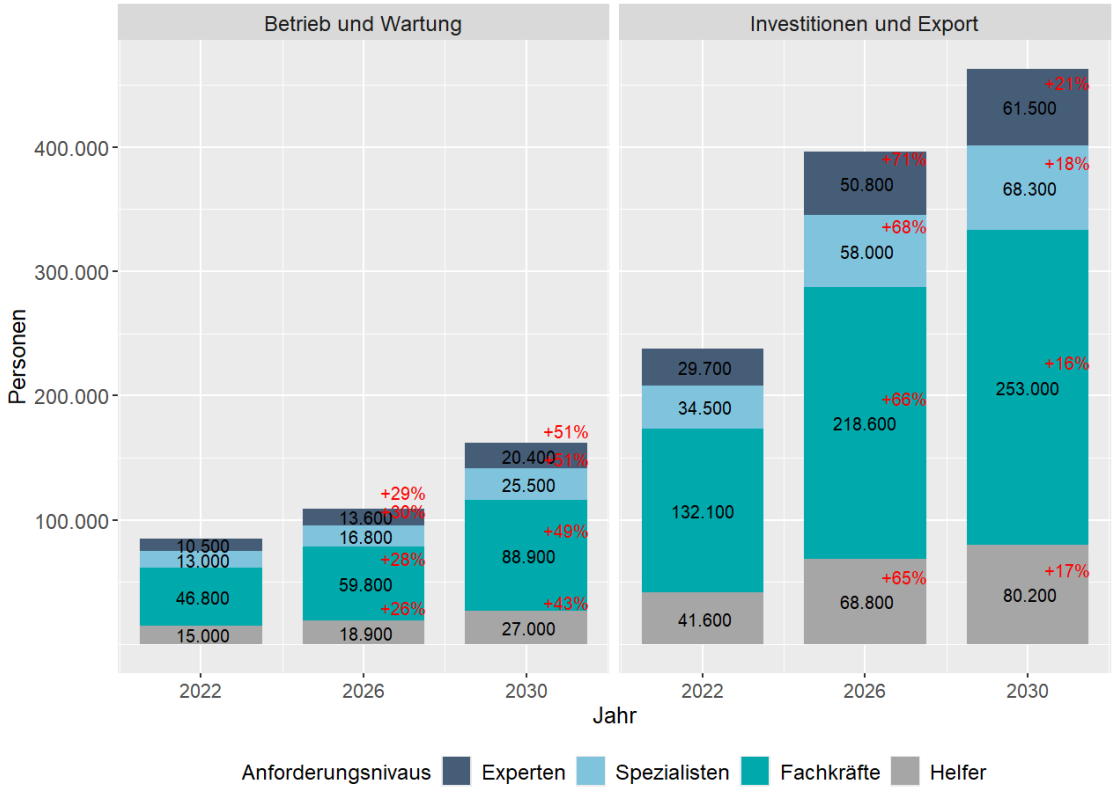
[a] Der Rest zu 100 % entfällt auf die anderen 7 Berufsbereiche; **fett:** Wert über Gesamtwirtschaft

Quelle: eigene Berechnung

Als einfaches Konzentrationsmaß innerhalb der Berufsverteilung wurden der beobachtete Bedarf für die zehn wichtigsten der 140 Berufsgruppen (vgl. Abschnitt 5.2) ins Verhältnis zum Gesamtbedarf in der jeweiligen Kategorie gesetzt. 53 bis 58 % des EE-Bedarfs entfallen auf die zehn wichtigsten Berufsgruppen. Bei den Investitionen ist die Konzentration etwas höher. Im Vergleich zur Gesamtwirtschaft (rd. 41%) zeigt dieser Indikator eine deutliche überdurchschnittliche Konzentration der EE-Beschäftigung auf wenige relevante Berufsgruppen.

Abbildung 29 fasst die Entwicklungen nach Anforderungsniveaus in absoluten und relativen Werten zusammen. Diese Werte korrespondieren mit der Zusammenfassung der technologiespezifischen Entwicklung im Abschnitt 4 (Abbildung 27). Im Bereich Betrieb und Wartung steigt der Bedarf an „Fachkräften“ von rund 47 000 bis 2030 auf etwa 89 000 an. Nach einer Erhöhung um 28 % bis 2026, steigt der Bedarf bis 2030 um weitere 49 %. Die relativen Veränderungen sind bei den höheren Anforderungsniveaus („Experten“ und „Spezialisten“) noch höher (ca. +30 % und +51 %). Der Bedarf an „Helfern“ steigt ebenfalls, jedoch relativ gesehen geringer als die höheren Anforderungsprofile. Für das Segment der Investitionen und Export steigt der Bedarf an Fachkräften zunächst von 132.000 auf 218.600 bis zum Jahr 2026 (+66 %). Anschließend steigt der Bedarf bis 2030 weiter allerdings im geringeren Umfang von 16 % auf 253.000. Innerhalb der EE-Beschäftigung entfallen bis 2030 über 80 000 Personen auf „Helfer“. Der Verlauf der relativen Veränderung ist dabei ähnlich wie bei den Fachkräften. Für „Experten“ und „Spezialisten“ ist hier die Bedarfssteigerung mit über 68 % bzw. 71% bis 2026 höher. Bis 2030 geht der Zuwachs auf 18 bzw. 21% zurück.

Abbildung 29: Entwicklung des Bedarfs nach Anforderungsniveaus

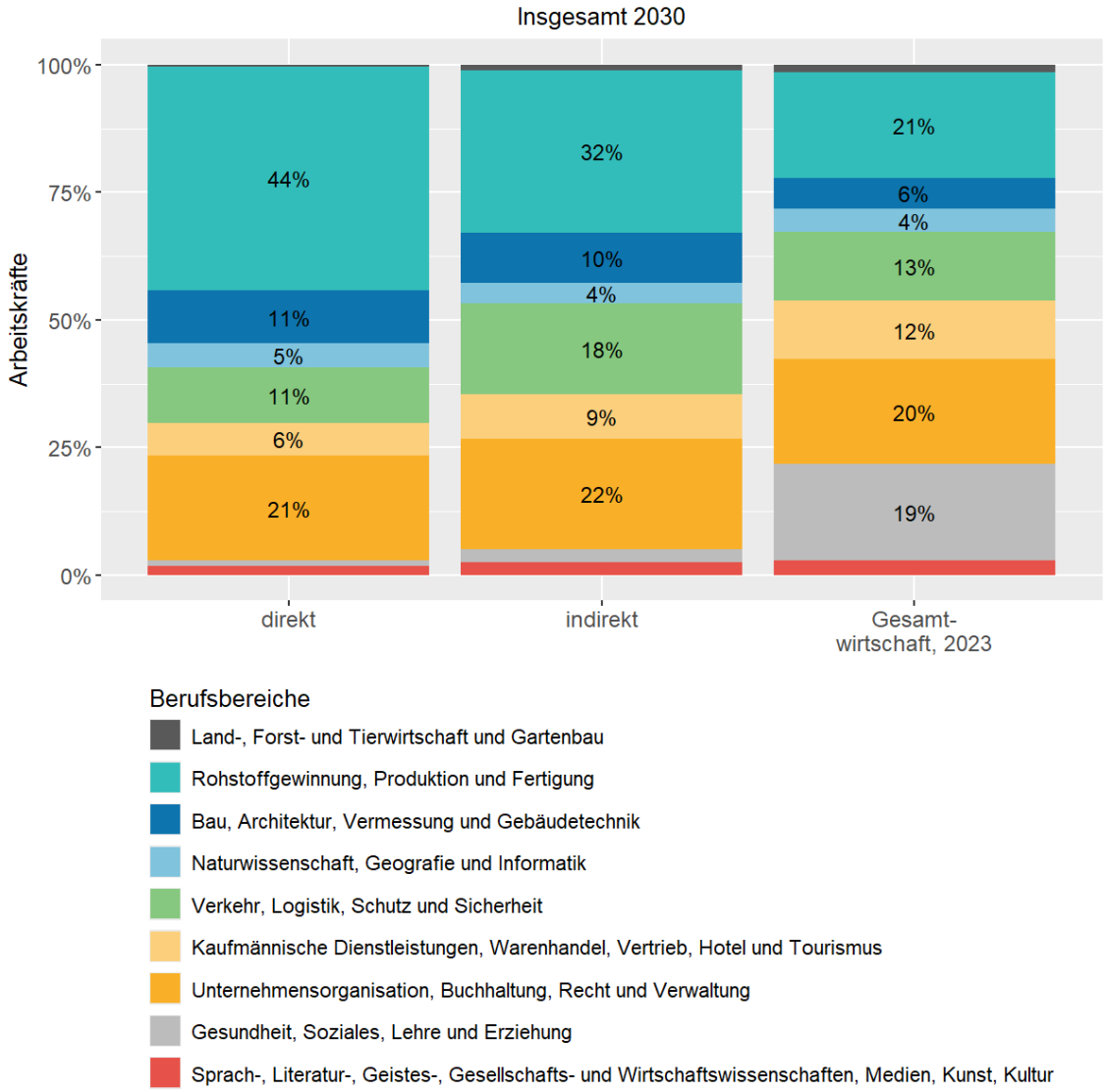


Quelle: eigene Berechnungen

Insgesamt ist der Bedarf nach Fachkräften im Jahr 2030 um 163.000 Personen höher als im Jahr 2022. Es werden insgesamt knapp 46 000 Spezialisten und 42 000 Experten mehr gebraucht. Damit steigt das relative Wachstum mit dem Anforderungsniveau von knapp 90 % für Helfer, über Fachkräfte (+91%) und Spezialisten (+97%) auf ein Wachstum von 104% für Experten im Zeitraum 2022 bis 2030. Insgesamt wird deutlich, dass bis zum Jahr 2026 ein deutlich stärkerer Anstieg zu bewerkstelligen ist als in den Jahren danach.

Bevor in Kapitel 5.2 die 140 Berufe analysiert werden folgt nun ein Blick auf die zusammengefassten 9 Berufsbereiche. In Abbildung 30, hier für das Stichjahr 2030, ist der Schwerpunkt des EE-Arbeitskräftebedarfs auf technische Berufe zu erkennen, d.h. Produktion und Fertigung, Bau, Architektur, Vermessung und Gebäudetechnik. Der direkte Arbeitskräftebedarf besteht zu 44 % aus Fertigungsberufen, in der Gesamtwirtschaft sind es nur 21 %. Ferner wird anhand der indirekten Beschäftigung deutlich, wie durch die Betrachtung der gesamten Wertschöpfungskette wichtige Vorleistungen wie Verkehr und Handel in die Analyse einbezogen werden. Fertigungsberufe haben bei der indirekten Beschäftigung einen deutlichen geringeren Anteil zugunsten von Berufen im Bereich Transport und Logistik sowie kaufmännischen Berufen.

Abbildung 30: Verteilung der Arbeitskräfte auf neun Berufsbereiche nach KdIB im Jahr 2030 – direkt, indirekt und Vergleichswert



Quelle: eigene Berechnung

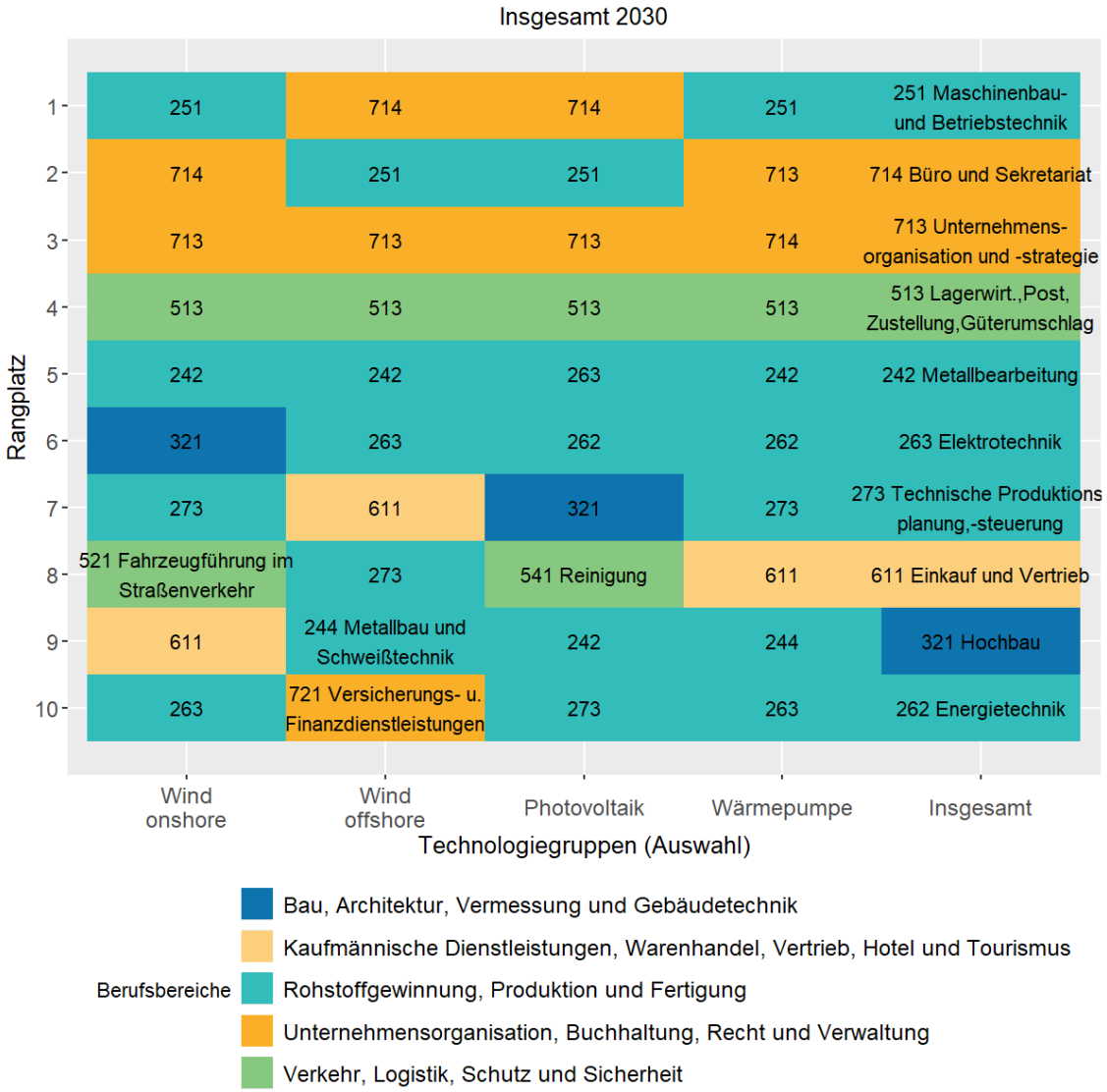
5.2 Die wichtigsten Berufe

Aus den detaillierten Ergebnissen zum Bedarf nach 140 Berufsgruppen werden Ranglisten erstellt, um die mengenmäßig wichtigsten Berufe des zukünftigen EE-Ausbaus zu isolieren. Abbildung 31 zeigt zunächst eine Übersicht für das Stichjahr 2030 und unterscheide die vier wichtigen Technologiegruppen. Für alle EE-Technologien und Segmente zusammen ergeben sich die Top10-Berufe, wie sie ähnlich schon in (Ulrich et al. 2024) für 2021 dargestellt wurden. Maschinenbau- und Betriebstechnik (251) nimmt den höchsten Rang ein, d.h. auf diese Berufe entfällt der größte Bedarf, gefolgt von Büro und Sekretariat sowie Unternehmensorganisation und -strategie. Nach dem Logistikberuf „Lagerwirt, Post, Zustellung, Güterumschlag“ folgen weitere Fertigungs- und

Handwerksberufe: Metallbearbeitung, Elektrotechnik und Technische Produktionsplanung bzw. -steuerung. Die Energietechnik folgt auf Rang 9, gefolgt vom Hochbau – der einzige „Bauberuf“ in der Top10-Rangliste. Zu berücksichtigen ist, dass die Gebäudetechnik und auch Elektrotechnik nach KldB nicht zum Berufsbereich „Bau“ gezählt werden, auch wenn die Bauinstallation auf die Leistungen dieser Berufe angewiesen ist. Gerade die Plätze unterhalb von Rang 4 haben in den Technologiegruppen teilweise sehr unterschiedliche Bedeutungen. Die Elektrotechnik hat in der Photovoltaik und Offshore-Windenergie ein größeres Gewicht. Die Energietechnik kommt bei Photovoltaik und Wärmepumpe stärker zum Tragen.

Einige Berufsgruppen fallen nur für einzelne Technologien ins Gewicht – nicht aber für den Durchschnitt: Fahrzeugführung für die Onshore-Windenergie, Versicherungs- und Finanzdienstleistungen für die Offshore-Windenergie sowie Reinigung für Photovoltaik. Berufe der Metallbearbeitung sind in allen Technologiegruppen wichtig, für Wind offshore und Wärmepumpen zusätzlich die Metallbau und Schweißtechnik.

Abbildung 31: Übersicht zu den zehn wichtigsten Berufen innerhalb des EE-Arbeitskräftebedarfs



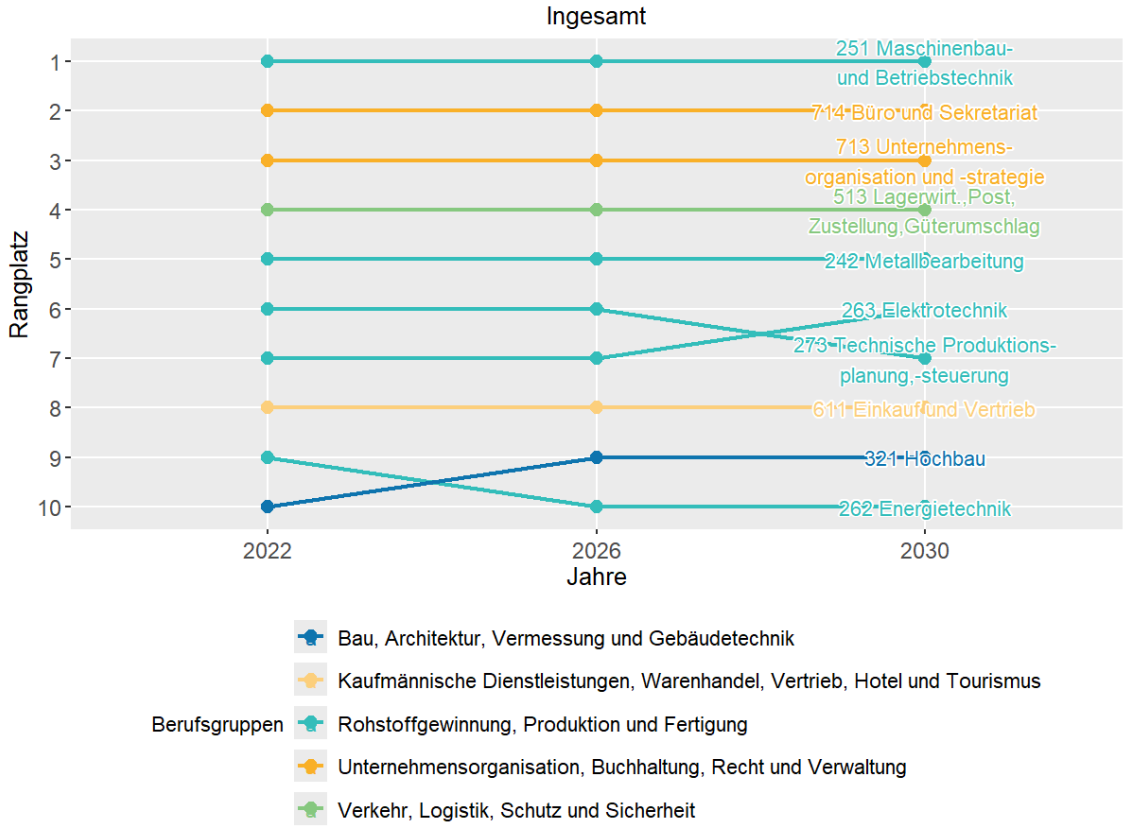
Quelle: eigene Berechnung

Die dargestellten Ranglisten spiegeln – im Gegensatz zu einigen spezifischen Technologiestudien – eine gesamtwirtschaftliche Perspektive wider. Der Ansatz berücksichtigt die gesamte Wertschöpfungskette, wodurch beispielsweise Berufe der Unternehmensorganisation, die auf jeder Wertschöpfungsstufe anteilig gebraucht werden, eine große mengenmäßige Bedeutung haben. Dies quantitativen Abschätzungen stehen aber nicht im Widerspruch zu den Studien, welche konzeptionell die technische Umsetzung der Installation der Anlagen im Fokus nehmen. Die wichtigsten 20 Berufe für die vier wichtigen Technologien können im Anhang eingesehen werden.

Die Rangliste der wichtigsten Berufe in der EE-Beschäftigung können sich über die Zeit verändern. Dies liegt an der Veränderung des Technologiemixes und dem Verhältnis zwischen Investitionsimpulsen und der Basisnachfrage aus Betrieb und Wartung. Abbildung 32 zeigt die Gesamtrangliste für die Stichjahr 2022, 2026 und 2030. Insgesamt kommt es zu nur wenigen Rangplatzverschiebungen bei den mengenmäßig wichtigsten

zehn Berufsgruppen. Durch den Windenergie-Hochlauf und den verstärkten PV-Ausbau schließen die Hochbauberufe in die Top 10 auf. Die Elektrotechnik wird u.a. durch den späten Windenergie-auf-See-Hochlauf zum Jahr 2030 wichtiger.

Abbildung 32: Entwicklung der zehn höchsten Rangplätze der Berufsgruppen



Quelle: eigene Berechnung

Neben dem berufsspezifischen, absoluten Bedarf sind weitere Kennzahlen einzubeziehen, um Schwerpunkte der Bedarfsänderungen hervorzuheben. Zum einen die relative Veränderung, die verdeutlicht, wie hoch innerhalb des EE-Bereichs eine Berufsgruppe vom zusätzlichen Ausbau betroffen ist. Zum anderen aber auch das Verhältnis des berufsspezifischen Arbeitskräftebedarfs zum Bestand an der entsprechenden Beschäftigung in der Gesamtwirtschaft, um den Bedarf in die allgemeine Häufigkeit des Berufs einzuordnen.

Tabelle 3 zeigt eine Auflistung der Berufe, in denen absolut gesehen der höchste Bedarfszuwachs besteht (vgl. Spalte 2 und Spalte 5). Ergänzt wird die Liste durch Berufsgruppen, die durch andere Indikatoren auffallen: die relativen Veränderungen in den beiden Zeitperioden und der Zuwachs im Verhältnis zur Beschäftigung in der Gesamtwirtschaft (auch außerhalb des EE-Bereichs) für das Jahr 2026 bzw. 2030 (Arbeitskräftebedarf je 1.000 Beschäftigte insgesamt). Für die Berufsgruppe „Maschinenbau- und Betriebstechnik werden im Jahr 2026 beispielsweise 14 600 mehr EE-Beschäftigte erwartet als im Jahr 2022. Das entspricht einem relativen Wachstum innerhalb dieser Gruppe um 53,3 %. Setzt man die 14 600 ins Verhältnis zu allen Beschäftigten in Deutschland, die im Jahr 2022 einen Beruf in der Gruppe Maschinenbau- und Betriebstechnik ausgeübt

haben, so ergibt sein ein Wert von 11,2 zusätzliche EE-Beschäftigte je 1 000 Beschäftigte.

Innerhalb der Top10 der absoluten Bedarfsänderungen (Spalte 2) sind die relativen Veränderungen (Spalte 3) unterschiedlich. Für die Elektrotechnik und den Hochbau liegen die Werte für den Zeitraum 2022 bis 2026 besonders deutlich über dem Durchschnittswert („Benchmark“, d. h. alle Berufe) von 56,4 %. Dies korrespondiert häufig mit einem sehr hohen Wert für die relative Bedeutung (Spalte 3). Fett hervorgehoben sind hier Berufsgruppen, die zu den 14 höchsten Werten (90%-Quantil) über alle Berufsgruppen zählen. Die technischen Berufe haben hier besonders hohe Werte. Für die Berufsgruppen Büro und Sekretariat sowie Unternehmensorganisation und -strategie hingegen fällt das relativ starke Wachstum innerhalb der EE-Beschäftigung gesamtwirtschaftlich deutlich weniger stark ins Gewicht. In der Ergänzungsliste fallen in der ersten Periode einige Bauberufe mit besonders hohen Zuwachsraten auf. Der Bereich der Bauplanung und Vermessung sind es über 70% Wachstum. Für die Schiffsverkehr-Berufe ist es zunächst nur der Wert für den Bedeutungs-Indikator, der auffällig hoch sind.

Tabelle 3: Entwicklungen in einzelnen Berufen im Detail und relative Bedeutung

Berufsgruppe	Wachstum 2022 bis 2026			Wachstum 2026 bis 2030		
	absolut	relativ, %	rel. Bedeutung*	absolut	relativ, %	rel. Bedeutung*
251 Maschinenbau- und Betriebstechnik	14.600	53,3	11,2	7.700	18,2	5,8
714 Büro und Sekretariat	13.400	**58,1**	6,2	9.300	**25,5**	4,3
713 Unternehmensorganisation und -strategie	12.700	**58,0**	7,3	8.700	**25,1**	5
513 Lagerwirt., Post, Zustellung, Güterumschlag	10.800	**53,1**	6,1	7.600	**24,5**	4,3
242 Metallbearbeitung	8.100	49,5	**13,2**	3.900	15,8	6,3
321 Hochbau	6.600	**70,7**	**14,1**	2.900	17,8	6,1
263 Elektrotechnik	6.600	**61,5**	**12,8**	4.300	**25,1**	**8,4**
273 Technische Produktionsplanung,-steuerung	6.500	**57,3**	10,7	3.700	**20,9**	6,1
611 Einkauf und Vertrieb	6.000	**56,2**	7,1	3.800	**22,9**	4,5
262 Energietechnik	5.700	**58,3**	**13,2**	3.300	21,1	**7,5**
244 Metallbau und Schweißtechnik	4.600	50,9	**14,6**	2.500	18,5	**8**
272 Techn. Zeichnen, Konstruktion, Modellbau	3.400	**58,0**	**15,2**	1.900	21	**8,7**
311 Bauplanung u. -überwachung, Architektur	3.300	**73,6**	12,1	2.200	**28,9**	**8,3**
312 Vermessung und Kartografie	300	**70,6**	8,9	200	**33,1**	**7,1**
511 Tech. Betrieb Eisenb.-,Luft-, Schiffsverkehr	300	54,9	**13,1**	800	**110**	**40,7**
524 Fahrzeugführung im Schiffsverkehr	200	55,2	**33,1**	900	**136,9**	**127,4**
Benchmark (Mittelwert, Höchsten 10%)		**56,4**	**12,2**		**23,7**	**6,4**

Im Zeitraum 2026 bis 2030 sind es in der Top10 eher die Berufe der Unternehmensorganisation und Buchhaltung sowie des Verkehrs, die eine hohe relative Veränderung haben. Im Vergleich zum Gesamtbestand (relative Bedeutung) in Deutschland ergeben sich vor allem für die Elektro- und Energietechnik, Metallbearbeitung sowie den Hochbau besonders hohe Werte. Der Benchmark-Wert liegt hier bei 6,4 Beschäftigte je 1000 Beschäftigte. Außerordentlich hoch sind die relativen Indikatoren für die Berufe mit Bezug zum Schiffsverkehr, was auf die starke Beschleunigung des Ausbaus der Windenergie auf See zurückzuführen ist.

Erläuterung zu „Sanitär, Heizung, Klima“

Die Berufsgruppe „Klempnerei, Sanitär, Heizung, Klimatechnik“ (342) taucht in den Listen der wichtigsten Berufsgruppen nicht auf. Der Bedarf wird hier auch stark steigen, was insbesondere auf den Ausbau der Wärmepumpen zurückzuführen ist. In den zugrundeliegenden Daten zur Kostenstruktur des Wärmepumpenausbaus entfällt jedoch ein vergleichsweise geringer Anteil auf Bauinstallationen. Dadurch kommt es beim Wärmepumpenausbau vermutlich zu einer Unterschätzung der Bau- und einer Überschätzung der Fertigungsberufe. Eine Anpassung dieser Anteile auf Ebene der Produktgruppen erfordert jedoch eine fundierte Prüfung und Aktualisierung der Wertschöpfungskette. Generell ist jedoch insbesondere bei einem Vergleich mit Hochrechnungen z.B. von Verbänden zu beachten:

- Annahmen zu Wärmepumpenausbau bis 2030 können unterschiedlich sein
- Wärmepumpen können auch von unterschiedlichen Berufen installiert werden
- Der hier verwendete Ansatz berücksichtigt nicht den Ersatzbedarf durch altersbedingtem Ausscheiden aus einer beruflichen Tätigkeit
- Der vorliegende Ansatz setzt keinen Fokus auf das Handwerk, sondern betrachtet die gesamte Wertschöpfungskette, wodurch die technischen Berufe sich „einordnen müssen“

5.3 Abgleich mit der Engpasssituation nach Berufen

Das Fachkräftemonitoring für das BMAS identifizierte im Jahr 2022 36 Fokusberufe mit Engpässen im Jahr 2026. Dafür werden vier Indikatoren betrachtet, die angelehnt sind an die BA-Engpassanalyse (Zika et al. 2022). Die Besonderheit ist, dass sich ein Teil der Indikatoren auf die zukünftige Entwicklung bis 2026 bezieht. Die Fokusberufe werden auf Ebene von 140 Berufen (3-Steller der KldB) identifiziert. Die Indikatoren sind (a) voraussichtliche, adjustierte Suchdauer von Be-trieben in 5 Jahren, (b) Veränderung der Suchdauer in Tagen, (c) Neuangebots-Neubedarfs-relation und (d) die erwartete berufsspezifische Erwerbslosenquote in 5 Jahren. Das Fachkräftemonitoring erstellt im jährlichen Turnus eine Liste von Fokusberufen mit den beschriebenen Indikatoren. Per Definition ist ein Beruf ein Fokusberuf, wenn:

1. Die Suchdauern sehr hoch oder sehr niedrig sind.
2. Sehr viel mehr oder weniger Arbeitskräfte gesucht werden als zur Verfügung stehen und
3. Die Substituierbarkeit durch andere Berufe klein oder groß ist.

Demnach ergeben sich unterschiedliche Arten von Fokusberufen. Zum einen die Berufsgruppen, welche bei der aus Sicht der Arbeitgeber die derzeitige Lage entspannt ist. Hier sind die Suchdauern niedrig, es stehen viele Arbeitskräfte zur Verfügung und eine Substituierbarkeit ist gegeben. In diesem Bericht wird auf die zweite Art der Fokusberufe geschaut. In diesem umgekehrten Fall ist die derzeitige Lage aus Sicht der Arbeitgeber schwierig, da die Suchdauern hoch sind, es wenig adäquate Arbeitskräfte gibt und eine Substituierbarkeit nur bedingt möglich ist.

In der ersten Analyse zur Engpasssituationen im Kontext des EE-Ausbaus wurden die Fokusberufe aus dem Jahr 2022 herangezogen (Ulrich et al. 2024). Nach der Aktualisierung des Fachkräftemonitorings sind im Sommer 2023 die neuen Fokusberufe veröffentlicht worden. Nun handelt es sich statt um 36 noch um 23 Fokusberufe. Hintergrund ist im Wesentlichen, dass die Baukonjunktur deutlich eingebrochen ist und für die Zukunft weniger stark eingeschätzt wird. Dadurch verlieren einige Bauberufe die Bewertung als Fokusberuf mit Engpässen.

Die folgende Tabelle 4 zeigt eine Auswahl von 16 der 140 Berufsgruppen, in denen eine besonders hoher Zuwachs im Bedarf durch den EE-Ausbau erwartet wird, und die zugleich entweder im Jahr 2022 („22“) oder zusätzlich im Jahr 2023 („22+23“) zu den Fokusberufen zählten. Beim Indikator „Bedeutung“ wird, wie in Abschnitt 5.2, der zusätzliche Bedarf im Vergleich zwischen 2022 und 2030 ins Verhältnis mit der Gesamtbeschäftigung im Jahr 2023. Unter den aktuellen Fokusberufen wurden alle Berufsgruppen mit einer relativen Bedeutung von mehr 7 pro 1 000 Beschäftigte (Gesamtzeitraum 2022 bis 2030) herangezogen. Für die Fokusberufe, die nur auf der Liste aus dem Jahr 2022 waren, wurde der Grenzwert 10 verwendet.

Zunächst sind die ersten drei Berufsgruppen zu nennen, die auch auf der Top10-Liste für den EE-Bedarf im Jahr 2030 (vgl. Abbildung 31) und auch der Bedarfsveränderung (vgl. Tabelle 3) zu finden sind. Metallbau- und Schweißtechnik sowie Hochbau zählt zu besonders wichtigen Berufsgruppen für einzelne Technologien. In anderen Fokusberufen fallen die hohen relativen Veränderungen auf. Für die relativen Veränderungen erfolgt wiederum eine Markierung für Werte über dem Durchschnittswert. In der Bauplanung und dem Hochbau erhöht sich der Bedarf um über 70 % bis 2026. Bei Berufen im Schiffsverkehrbetrieb ist der Bedarf sogar im Jahr 2030 nochmal mehr als doppelt so hoch wie im Jahr 2026. Für Tätigkeiten in der Elektrotechnik, Bauplanung sowie Forschung und Entwicklungen ist die relative Bedarfsentwicklung durchgehend besonders hoch.

Tabelle 4: Bedarf nach Fokusberufen, Entwicklungen und Bedeutung insgesamt

Berufsgruppe	Fokusberuf	Arbeitskräftebedarf			Relative Veränderung, %		Betrieb und Wartung, Anteil %		rel. Bedeutung*
		2022	2026	2030	2022 - 26	2026 - 30	2026	2030	
251 Maschinenbau- und Betriebstechnik	beide	27.500	42.100	49.800	53,1	18,3	17,2	21,6	17,0
263 Elektrotechnik	beide	10.700	17.300	21.600	61,7	24,9	15,4	18,2	21,2
262 Energietechnik	beide	9.800	15.600	18.900	59,2	21,2	21,7	26,6	20,9
244 Metallbau und Schweißtechnik	beide	9.100	13.700	16.300	50,5	19,0	18,4	22,8	22,7
271 Technische Forschung und Entwicklung	beide	5.200	8.300	10.400	59,6	25,3	15,1	18,0	16,9
311 Bauplanung u. -überwachung, Architektur	beide	4.500	7.800	10.000	73,3	28,2	10,7	11,6	20,3
342 Klempnerei,Sanitär,Heizung,Klimatechnik	beide	5.800	9.000	10.200	55,2	13,3	11,2	13,4	17,8
221 Kunststoff,Kautschukherstell.,verarbeit	beide	3.800	6.000	6.900	57,9	15,0	15,0	18,9	13,8
341 Gebäudetechnik	beide	3.100	5.100	6.400	64,5	25,5	23,0	26,1	9,9
434 Softwareentwicklung und Programmierung	beide	2.900	4.500	5.700	55,2	26,7	21,2	25,4	8,6
433 IT-Netzwerkt.,-Koord.,-Administr.,-Orga.	beide	1.800	2.800	3.500	55,6	25,0	25,7	30,6	7,9
321 Hochbau	22	9.400	16.000	18.900	70,2	18,1	7,0	7,6	20,2
272 Techn. Zeichnen, Konstruktion, Modellbau	22	5.800	9.200	11.100	58,6	20,7	14,4	17,3	24,0
333 Aus-,Trockenbau.Iso.Zimmer.Glas.Roll.bau	22	2.300	3.700	4.400	60,9	18,9	11,4	13,3	11,8
511 Tech.Betrieb Eisenb.,Luft,Schiffsverkehr	22	500	700	1.500	40,0	114,3	65,4	67,7	50,5
414 Physik	22	700	1.200	1.500	71,4	25,0	16,3	19,4	18,2

Quelle: eigene Berechnungen

Der hohe absolute Bedarf in den Top10-Berufen ist häufig auch relativ gesehen hoch. Zu nennen sind Elektro- und Energietechnik sowie Metallbau-, und Schweißtechnik. Bei der relativen Bedeutung fallen nun auch Berufe aus dem Bereich „Technisches Zeichnen, Konstruktion und Modellbau“ auf.

Zusammenfassend können die folgenden Berufsgruppen isoliert werden, die als besonders kritisch im Kontext des zukünftigen Bedarfs und der Engpasssituation anzusehen sind:

- **Elektrotechnik**
- **Energietechnik**
- **Bauplanung und -überwachung, Architektur**
- **Technische Forschung und Entwicklung**
- **Hochbau**
- **Technischer Betrieb Schiffsverkehr**

Die Anteile für Betrieb und Wartung zeigen an welches Segment innerhalb der erneuerbaren Energien für den Bedarf ausschlaggebend ist. Der Bedarf im Hochbau ist fast nur von den Investitionen getrieben. Für einige Berufsgruppen entfallen langfristig mehr als 25 % auf Betrieb und Wartung, zu nennen sind Energietechnik, Gebäudetechnik, IT-Netzwerktechnik / IT-Organisation, Softwareentwicklung und vor allem wiederum der technische Betrieb im Schiffsverkehr.

6 Resümee

Die Bundesrepublik Deutschland hat sich auf die Erreichung der Klimaneutralität im Jahr 2045 verständigt. Die Erreichung dieses Ziels setzt – neben einem Bündel anderer Maßnahmen – ambitionierte Ziele für den Ausbau der erneuerbaren Energien voraus. Es liegen gesetzliche Grundlagen (z.B. EEG, WindSeeG) und konkrete Szenarien (z.B. Langfristszenarien, Gebäudestrategie Klimaneutralität) vor, die den Weg zur Klimaneutralität bis zum Jahr 2045 aufzeichnen.

In dieser Studie wurden die Grundlagen dieser Gesetze und Szenarien im Hinblick auf die notwendigen Ausbauschritte bis zum Jahr 2030 detailliert ausgewertet. Aufbauend auf ein Mengengerüst des notwendigen Ausbaus (installierte Erzeugungskapazitäten für Strom in GW, Flächenziele in m^2 (Solarthermie) oder Stückzahlen (Wärmepumpen)) sowie unter Berücksichtigung spezifischer Investitionskosten und möglicher Kostendegressionen werden die notwendigen Investitionspfade bis zum Jahr 2030 abgeleitet, um auf den Pfad der Klimaneutralität in 2045 einzuschwenken. Die Investitionspfade werden für EE-Einzeltechnologien ausgewiesen; dabei werden 11 Einzeltechnologien unterschieden. Die Investitionen in EE-Anlagen müssen im Zeitraum bis 2030 sehr dynamisch wachsen, um den Anforderungen des Zielpfades zu genügen. Im Vergleich zum Jahr 2022 müssen sich die jährlichen Investitionen bis 2030 auf 63,6 Mrd. Euro nahezu verdreifachen, dabei ist bereits bis zum Jahr 2026 (47,8 Mrd. Euro) mehr als eine Verdopplung gegenüber 2022 notwendig. Der Anstieg der Investitionen wird ganz entscheidend von den vier großen Bereichen Windenergie an Land, Windenergie auf See, PV und Wärmepumpen getrieben, während die übrigen EE-Technologien eine untergeordnete Rolle spielen. Mit diesen dynamisch wachsenden Investitionen geht ein stark steigender Bestand an EE-Anlagen in Deutschland einher, der sich wiederum in wachsenden Ausgaben für Betrieb und Wartung niederschlägt.

Die Ausgaben für Betrieb und Wartung verdoppeln sich von 9,6 Mrd. Euro im Jahr 2022 auf 20,3 Mrd. Euro im Jahr 2030. Aus diesen Nachfrageimpulsen[19] entstehen große wirtschaftlichen Aktivitäten in Deutschland. Die angestoßenen (Brutto-) Produktionswirkungen steigen von 68,8 Mrd. im Jahr 2022 auf 148,1 Mrd. Euro im Jahr 2030. Im betrachteten Zwischenjahr 2026 beträgt die angestoßene Bruttoproduktion 113,0 Mrd. Euro. Im Vergleich des Jahres 2026 zu 2022 fällt der notwendige Produktionsanstieg um 64,2% deutlich höher als im Vergleich des Jahres 2030 zu 2026 (31,1%). Zu Beginn des betrachteten Zeitraums entsteht also eine größere Dynamik als zum Ende hin.

Aus diesen wirtschaftlichen Effekten ergibt sich der Arbeitskräftebedarf, der mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien einhergeht. Ausgehen von 323.000 Personen wächst der Arbeitskräftebedarf um gut 300.000 Personen auf 624.800 Personen im Jahr 2030. Dabei nimmt die Bedeutung der vier großen Bereiche im Zeitablauf zu, im Jahr 2030 entfallen 93% des Arbeitskräftebedarfs auf die Bereiche Windenergie an Land, Windenergie auf See, PV und Wärmepumpen. Dabei verschieben sich die Bedarfe der

[19] Bei den Investitionen ist noch der Außenhandelssaldo, also die Relation zwischen Exporten und Importen zu berücksichtigen, da nur die im Inland wirksame Nachfrage Produktion und Beschäftigung in Deutschland auslöst.

Bereiche im Zeitablauf, während im Zeitraum 2022 bis 2026 die Windenergie an Land den größten Bedarf hat, ist es in der Periode 2026 bis 2030 die Windenergie auf See. Der Zuwachs an Arbeitskräften konzentriert sich bei Wärmepumpen auf die erste Periode. Insgesamt ist der Anstieg des Arbeitskräftebedarfs im Zeitraum 2022 bis 2026 mit 182.100 Personen größer als der Anstieg in der Periode 2026 bis 2030 (119.500).

Der ermittelte Arbeitskräftebedarf zum Ausbau der erneuerbaren Energien entlang eines Pfades der Erreichung der Klimaneutralität bis zum Jahr 2045 lässt sich nur mit Unschärfen in die Ergebnisse anderer Studien einordnen, weil diese sich zum Beispiel auf abweichende Basisszenarien beziehen, einen anderer Betrachtungszeitraum wählen oder ein breiteres Spektrum von Maßnahmen in die Analyse einbeziehen, dafür aber teilweise einen geringeren Grad der Detaillierung aufweisen. Blazejczak & Edler (2021) legen einen Pfad zu Grunde, der auf die Klimaneutralität bis 2050 abzielt (BCG & Prognos 2018). Gleichzeitig betrachten sie ein breiteres Spektrum an Maßnahmen, insbesondere auch die Maßnahmen zur energetischen Gebäudesanierung. Bei einem anderen Zeitprofil der Maßnahmen errechnet sich der größte Arbeitskräftebedarf für das Jahr 2035 mit gut 750.000 Personen, hiervon entfällt allerdings der größte Teil auf die energetische Gebäudesanierung. Die Taskforce Fachkräfte (Allianz für Transformation 2023) geht nach eigenen Angaben von einem Anstieg des Arbeitskräftebedarfs für die Energiewende von 600.000 bis 750.000 Arbeitskräften aus. Eine Aufteilung auf die beiden Säulen der Energiewende (energetische Gebäudesanierung und Ausbau erneuerbarer Energien) ist nicht ersichtlich. Im Weiteren ist von einer Fachkräftelücke von 300.000 bis 500.000 Arbeitskräften die Rede. An zusätzlichem Fachkräftebedarf wird für PV-Anlagen eine Spannweite von 220.000 bis 260.000 Arbeitskräften (Vollzeitäquivalente VZÄ) genannt, für die Windenergie wird von einem Zusatzbedarf von 90.000 bis 110.000 VZÄ ausgegangen. Dies liegt bei PV deutlich über und bei Wind deutlich unter den von in der vorliegenden Studie ermittelten zusätzlichen Bedarfen (PV 63.000 Personen (keine VZÄ), Wind an Land und Wind aus See zusammen 215.000 Personen (keine VZÄ).

Die Struktur des Arbeitskräftebedarfs, der für den Ausbau erneuerbarer Energien ausgelöst wird, ist durch einen hohen Anteil technischer Berufe in Industrie und Handwerk geprägt. Diese Ausrichtung ist nachvollziehbar und in vielen Studien insbesondere für die Windenergie und Photovoltaik bestätigt (Helmrich et al. 2016; Koneberg et al. 2022; Fingerhut et al. 2023). Durch die Einbeziehung der gesamten Wertschöpfungskette der Installation von Erneuerbaren-Energien-Anlagen wird in den hier vorgestellten Ergebnissen deutlich, dass es nicht nur die Berufe des Handwerks sind, die benötigt werden. Die Industrie in Deutschland ist in allen Technologien auch an der Produktion der Anlagen beteiligt. Dies wird durch den hohen Bedarf von Maschinen- und Metallbauberufen deutlich. Industrie und Bau sind wiederum stark von Vorleistungen aus dem Transportwesen und Handel angewiesen. Abseits der mengenmäßig bedeutsamen Berufsgruppen wird deutlich, dass Berufe in der Planung und technischen Entwicklung relativ gesehen besonders stark wachsen.

Eine Einordnung der berufsspezifischen Ergebnisse in andere Studien ist nur sehr eingeschränkt möglich. Es fällt auf, dass in Blazejczak & Edler (2021) und Allianz für Transformation (2023) die gleichen Berufsgruppen als Schwerpunkte genannt werden, jedoch mit anderem Gewicht. Ein deutlich hoher Anteil entfällt bei diesen anderen Studien auf

Bauberufe, während die Planungs- und Managementberufe oder auch Transport nicht als Schwerpunkt identifiziert werden.

Die Anzahl der Fachkräfte, die für die Erreichung der Ziele notwendig ist, steigt bis 2030 auf 163.000 Personen. Für das Anforderungsniveau der „Experten“ und „Spezialisten“ steigt der Bedarf um knapp 88.000, relativ gesehen stärker als für Fachkräfte. Insgesamt ergibt sich ein Bedarf von 342.000 Fachkräften im Jahr 2030, etwa 55 % des Gesamtbedarfs. Die Anzahl der Experten und Spezialisten erreicht einen Wert von knapp 130.000 (Anteil 21 %).

In vielen Berufen bestehen aktuell Engpässe bei der Besetzung von Stellen. Daher werden in bestehenden Engpassmonitorings unterschiedliche Indikatoren zur Messung des „Mangels“ hergezogen und gewichtet. Die Besonderheit der „Fokusberufe“ aus dem Fachkräftemonitoring des BMAS ist u. a. der Einbezug des zukünftigen Bedarfs in die Engpassanalyse. Daher sind sie für die hier vorliegende Analyse herangezogen werden. Entlang der Liste dieser Fokusberufe gibt es viele, die aufgrund der hier ermittelten Indikatoren zur Bedarfsentwicklung im EE-Ausbau im weitergehenden, spezifischen Fokus stehen sollten. Einige fallen mengenmäßig ins Gewicht, andere haben überdurchschnittlich hohe Zuwachsraten. Im Abgleich der Indikatoren wurden die folgenden Berufsgruppen im EE-Fokus isoliert: „Elektrotechnik", "Energietechnik", "Bauplanung und -überwachung, Architektur", "Technische Forschung und Entwicklung", "Hochbau", "Technischer Betrieb Schiffsverkehr“. Zu ergänzen ist noch die Gruppe „Klempnerei, Sanitär, Heizung, Klimatechnik“, da die Engpassindikatoren hier sehr hoch sind (vgl.)und der Bedarf im Bereich Wärmepumpe deutlich höher sein dürfte als hier abgeschätzt.

Die Analyse zeigt welche Berufsgruppen in quantitativer Hinsicht die „Brennpunkte“ bei der Realisierung des Ausbaus sind. Auch wird deutlich, wo in quantitativer Hinsicht Engpässe zu erwarten sind. Für diese Berufsgruppen sind qualitative Analysen zu ergänzen, um Handlungsempfehlungen für Qualifizierung und Rekrutierung abzuleiten. Beispielsweise gibt es Schlüsselberufe, die im Prozess der Realisierung neuer Anlagen als Flaschenhals gelten. So ist die Genehmigung und Bauplanung zu Beginn der Prozesskette verortet und kommt daher eine Schlüsselrolle zu. Zudem ist je nach Beruf der Bildungsweg unterschiedlich lang, was Engpasssituationen verstärken kann.

Die verwendete modellgestützte Methode liefert nun zum ersten Mal zukunftsgerichtet quantitative Informationen zu berufsspezifischen Bedarfen auf Grundlage der EE-Bruttobeschäftigung. Die Methode sollte weiterentwickelt werden. Im Bereich der Bruttobeschäftigung sind neue oder an Bedeutung gewinnende Technologien wie Großwärmepumpen, Wärmenetze und Stromspeicher nicht integriert. Zudem müssen die Daten für bereits enthaltene Technologien laufend geprüft werden, wie am Beispiel mit den Wärmepumpen deutlich wurde.

Anhang

Anhang 1: Entwicklungen der Bruttobeschäftigung im Jahr 2022

Die Beschäftigungsentwicklung durch Erneuerbare Energien wurde im Jahr 2022 maßgeblich durch den seit Februar 2022 geführten russischen Angriffskrieg auf die Ukraine und den damit direkt einhergehenden Preisschüben auf Erdgas und Erdöl und die eingeleiteten energie-politischen Maßnahmen im Strom- und Wärmebereich geprägt. Kurzfristig wurde im Jahr 2022 insbesondere die Nachfrage nach Solartechnologien, Wärmepumpen und Biomasse-Kleinanlagen stimuliert.

Der Ausbau der Windenergie lag im Jahr 2022 weltweit laut der IRENA Datenbank -20,5% unterhalb des Vorjahresniveaus von mehr als 92 GW. Parallel dazu war die Entwicklung in Europa ohne die Berücksichtigung des deutschen Marktes mit 25,9% Steigerung auf 15,8 GW stark positiv. In Deutschland hat sich der Zubau im Jahr 2022 gegenüber dem Vorjahr um 50,8% auf knapp 2,5 GW erhöht.

Der für das Jahr 2022 zu beobachtende Rückgang der Beschäftigung im Bereich der Windenergie an Land um knapp 9000 Beschäftigte (-8,7 % gegenüber 2021) ist vor allem auf eine rückläufige Exportentwicklung (-31%) zurückzuführen. Obwohl gleichzeitig die inländische Investitionsnachfrage um 27% gestiegen ist, konnte diese das rückläufige Auslandsgeschäft nicht kompensieren.

Die Beschäftigung der Unternehmen im Bereich Windenergie auf See lag im Jahr 2022 mit mehr als 6.400 zusätzlichen Beschäftigten (+27,2%) deutlich über dem Vorjahreswert. Ursächlich für diesen markanten Beschäftigungsanstieg ist ein kräftiger Investitionsimpuls durch Bauarbeiten zur Fertigstellung von Offshore Windenergieparks. Zu diesem Zweck wird ein umfassendes Monitoring des Entwicklungsstands der einzelnen Windparks durchgeführt. Während der Offshore Windpark Kaskasi Ende 2022 vor der Küste Helgolands in Betrieb gegangen ist, wurden die Bauarbeiten an den beiden Offshore Projekten Baltic Eagle und Arcardis Ost 1 in der Ostsee für eine baldige Fertigstellung deutlich forciert.

Im Bereich der Photovoltaik kam es im Jahr 2022 zu einem kräftigen Anstieg der Beschäftigung um knapp 22 Tsd. Personen auf insgesamt mehr als 75.800 Beschäftigte (+ 40,8%). Wesentlichen Einfluss auf diese Entwicklung haben die inländischen Investitionen, die etwa 51% stärker ausfielen als im Vorjahr. Dieser kräftige Anstieg kam sowohl den inländischen Anbietern von PV-Technologien und Dienstleistungen (+2,4 Mrd. Euro zusätzliche Inlandsnachfrage) als auch den ausländischen Anbietern (+0,75 Mrd. Euro zusätzlicher Import von PV-Anlagen direkt für den Markt) zugute. Der europäische Markt ist ohne Berücksichtigung des deutschen Marktes im Jahr 2022 um 25,4% gewachsten (IRENA, AGEE-Stat). Dieses hat auch die deutschen Exporte stimuliert, die sich gegenüber dem Vorjahr auf +178 Mrd. Euro nahezu verdoppelt haben. Dennoch hat sich der Außenhandelssaldo weiterhin negativ entwickelt.

Im Wärmebereich haben die energiepolitischen Ereignisse des Jahres 2022 die Investitionstätigkeit kurzfristig sehr stark stimuliert. So stiegen im Bereich Solarthermie die Investitionen im Jahr 2022 um 26% auf knapp 0,7 Mrd. Euro an. Dieser Impuls kam sowohl inländischen als auch ausländischen Anbietern zugute. In Deutschland hat sich die

Beschäftigung im Bereich Solarthermie auf 8.200 Beschäftigte erhöht, was einem Zuwachs von 11,4% gegenüber dem Vorjahr entspricht.

In besonderer Weise spiegelt sich die kriegsbedingte Forcierung der nationalen Dekarbonisierungsstrategie im Bereich Wärmepumpen wider. Hier kam es zu einem massiven Anstieg der Investitionen um +82% bzw. 2 Mrd. Euro gegenüber dem Vorjahr auf insgesamt 4,5 Mrd. Euro im Jahr 2022. Dieses kam sowohl inländischen (+62%) als auch ausländischen Anbietern (84%) zugute. Letztere haben aber im Jahr 2022 mit 25,7% (bzw. 0,92 Mrd. Euro) einen deutlich geringeren Marktanteil als die inländischen Anbieter mit 74,3% (bzw. 2,66 Mrd. Euro). Die positiven Entwicklungen bewirken gegenüber dem Vorjahr einen kräftigen Anstieg der Beschäftigung im Bereich Wärmepumpen um +58,1% auf insgesamt 53.340 erwerbstätige Personen.

Auch der Bereich Biomasse-Kleinanlagen konnte im Jahr 2022 einen kräftigen Beschäftigungszuwachs um +20,9% auf insgesamt mehr als 47.000 Beschäftigte verzeichnen. Ursächlich dafür ist ein starker Anstieg der Investitionstätigkeit von 0,97 Mrd. Euro bzw. +36% gegenüber dem Vorjahr. Dieser kam sowohl inländischen Anbietern (+0,76 Mrd. Euro), aber auch den ausländischen Herstellern von Biomasse-Kleinanlagen zugute und so den Außenhandelssaldo negativer werden lassen (-0,74 Mrd. in 2022).

Im Bereich Biomasseheizkraftwerke konnte im Jahr 2022 mit einen Beschäftigungszuwachs von +0,7% kein nennenswerter Beschäftigungsaufbau bewirkt werden. In den letzten beiden Berichtsjahren waren hier – bei nur schwachem Wachstum der im Inland wirksamen Gesamtnachfrage[20] – knapp 16.000 Personen beschäftigt.

Sehr ähnlich stellt sich die Situation im Strombereich für die Bereiche Solarwärmekraft (CSP) und Wasser, die entweder keinen (+0%) oder lediglich einen geringfügigen (+2,7%) Beschäftigungszuwachs für 2022 verzeichnen. Lediglich für den Bereich Geothermie ergab sich aufgrund rückläufiger Investitionen ein Beschäftigungsabbau um -7,4% auf 630 Beschäftigte im Jahr 2022.

Die Abschätzung der Beschäftigungsentwicklung im Bereich der Biomassebereitstellung wird anhand der Entwicklung der segmentspezifischen Produktivität und ergänzender physischer Biomasseindikatoren vorgenommen. Bei der Entwicklung der Beschäftigung im Bereich der Bereitstellung von Biokraftstoffen (Biodiesel, Pflanzenöl und Bioethanol) zeigt sich seit einigen Jahren eine schwache Beschäftigungsentwicklung mit zuletzt +0,7% Beschäftigungszuwachs bzw. 21.100 erwerbstätigen Personen im Jahr 2022. Etwas günstiger stellt sich die Beschäftigungsentwicklung im Bereich Biogas und flüssige Biomasse. Insbesondere die – nach einem kräftigen Rückgang im Jahr 2021 – wieder leichte Zunahme der Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe (vgl. FNR & BMEL 2023) sorgt für einen Beschäftigungszuwachs von 4,4% bzw. 33.800 Beschäftigten im Jahr 2022.

Über alle Bereiche der erneuerbaren Energien stieg die Beschäftigung aufgrund des Betriebs und der Wartung der Anlagen gegenüber dem Vorjahr um +2,9% auf insgesamt mehr als 85.200 erwerbstätigen Personen im Jahr 2022 an. Der Beschäftigungszuwachs

---

[20] Umsatz in Deutschland ansässiger Hersteller von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien inklusive der Exporte in Deutschland ansässiger Komponentenhersteller

aufgrund von Investitionen in neue Anlagen und neue Komponenten war mit +23,3% gegenüber 2021 aufgrund der geschilderten Sondereinflüsse im Berichtsjahr 2022 besonders kräftig. Die investiv generierte Beschäftigung erhöhte sich auf insgesamt mehr als 238.000 Personen.

Anhang 2: Details zu den wichtigsten Berufen

Tabelle 5: Berufsgruppen mit dem höchsten Bedarf im Jahr 2030, Windenergie an Land

Rang	Berufsgruppe	Beschäftigung
1	251 Maschinenbau- und Betriebstechnik	16.500
2	714 Büro und Sekretariat	15.800
3	713 Unternehmensorganisation und -strategie	14.700
4	513 Lagerwirt., Post, Zustellung, Güterumschlag	13.400
5	242 Metallbearbeitung	10.000
6	321 Hochbau	8.700
7	273 Technische Produktionsplanung,-steuerung	8.000
8	521 Fahrzeugführung im Straßenverkehr	7.000
9	611 Einkauf und Vertrieb	7.000
10	263 Elektrotechnik	6.400
11	244 Metallbau und Schweißtechnik	6.000
12	252 Fahrzeug-Luft-Raumfahrt-, Schiffbautechn.	5.900
13	541 Reinigung	5.400
14	262 Energietechnik	4.800
15	621 Verkauf (ohne Produktspezialisierung)	4.600
16	311 Bauplanung u. -überwachung, Architektur	4.200
17	272 Techn. Zeichnen, Konstruktion, Modellbau	4.000
18	722 Rechnungswesen, Controlling und Revision	3.900
19	271 Technische Forschung und Entwicklung	3.700
20	413 Chemie	3.400

Tabelle 6: Berufsgruppen mit dem höchsten Bedarf im Jahr 2030, Windenergie auf See

Rang	Berufsgruppe	Beschäftigung
1	714 Büro und Sekretariat	9.100
2	251 Maschinenbau- und Betriebstechnik	9.100

3	713 Unternehmensorganisation und -strategie	8.600
4	513 Lagerwirt., Post, Zustellung, Güterumschlag	8.000
5	242 Metallbearbeitung	5.100
6	263 Elektrotechnik	4.500
7	611 Einkauf und Vertrieb	4.100
8	273 Technische Produktionsplanung,-steuerung	4.100
9	244 Metallbau und Schweißtechnik	3.100
10	721 Versicherungs- u. Finanzdienstleistungen	3.100
11	541 Reinigung	2.900
12	262 Energietechnik	2.800
13	252 Fahrzeug-Luft-Raumfahrt-,Schiffbautechn.	2.600
14	621 Verkauf (ohne Produktspezialisierung)	2.600
15	521 Fahrzeugführung im Straßenverkehr	2.500
16	722 Rechnungswesen, Controlling und Revision	2.500
17	271 Technische Forschung und Entwicklung	2.300
18	272 Techn. Zeichnen, Konstruktion, Modellbau	2.200
19	311 Bauplanung u. -überwachung, Architektur	2.200
20	321 Hochbau	2.000

Tabelle 7: Berufsgruppen mit dem höchsten Bedarf im Jahr 2030, Photovoltaik

Rang	Berufsgruppe	Beschäftigung 2030
1	714 Büro und Sekretariat	10.900
2	251 Maschinenbau- und Betriebstechnik	10.000
3	713 Unternehmensorganisation und -strategie	9.200
4	513 Lagerwirt., Post, Zustellung, Güterumschlag	8.200
5	263 Elektrotechnik	6.700
6	262 Energietechnik	5.500
7	321 Hochbau	5.400
8	541 Reinigung	5.000
9	242 Metallbearbeitung	4.900
10	273 Technische Produktionsplanung,-steuerung	4.500
11	611 Einkauf und Vertrieb	4.300
12	342 Klempnerei, Sanitär, Heizung, Klimatechnik	4.300
13	621 Verkauf (ohne Produktspezialisierung)	2.800

14	244 Metallbau und Schweißtechnik	2.700
15	271 Technische Forschung und Entwicklung	2.500
16	722 Rechnungswesen, Controlling und Revision	2.400
17	521 Fahrzeugführung im Straßenverkehr	2.300
18	311 Bauplanung u. -überwachung, Architektur	2.200
19	272 Techn. Zeichnen, Konstruktion, Modellbau	2.200
20	921 Werbung und Marketing	2.200

Tabelle 8: Berufsgruppen mit dem höchsten Bedarf im Jahr 2030, Wärmepumpe

Rang	Berufsgruppe	Beschäftigung
1	251 Maschinenbau- und Betriebstechnik	10.300
2	713 Unternehmensorganisation und -strategie	7.800
3	714 Büro und Sekretariat	7.000
4	513 Lagerwirt., Post, Zustellung, Güterumschlag	6.300
5	242 Metallbearbeitung	6.000
6	262 Energietechnik	4.500
7	273 Technische Produktionsplanung,-steuerung	3.600
8	611 Einkauf und Vertrieb	3.500
9	244 Metallbau und Schweißtechnik	3.100
10	263 Elektrotechnik	2.900
11	541 Reinigung	2.600
12	521 Fahrzeugführung im Straßenverkehr	2.300
13	221 Kunststoff, Kautschukherstell., -verarbeitung	2.100
14	272 Techn. Zeichnen, Konstruktion, Modellbau	1.900
15	342 Klempnerei, Sanitär, Heizung, Klimatechnik	1.900
16	621 Verkauf (ohne Produktspezialisierung)	1.800
17	722 Rechnungswesen, Controlling und Revision	1.800
18	321 Hochbau	1.600
19	241 Metallerzeugung	1.400
20	271 Technische Forschung und Entwicklung	1.400

Literaturverzeichnis

Ahrendts, F., Drechsler, B., Hendricks, J., Küpper, J., Lang, S., Peil, T., Scholz, D., Timofeeva, E., Utri, M., Weidinger, L., Kraus, A., Weiß, U. & Müller, S. (2023): Roll-out von Großwärmepumpen in Deutschland. Unter Mitarbeit von Fraunhofer-Gesellschaft. DOI: 10.24406/PUBLICA-1440.

Allianz für Transformation (2023): Allianz für Transformation Taskforce Fachkräfte – Ergebnisbericht der Taskforce zur Sicherung der Verfügbarkeit von Fachkräften im Rahmen der Transformation des Energiesystems. Unter Mitarbeit von Bundeskanzleramt und Boston Consulting Group (BCG), Berlin, abgerufen am 19.02.2024.

BCG & Prognos (Hg.) (2018): Klimapfade für Deutschland.

Blazejczak, J. & Edler, D. (2021): Arbeitskräftebedarf nach Sektoren, Qualifikationen und Berufen zur Umsetzung der Investitionen für ein klimaneutrales Deutschland – Kurzstudie im Auftrag der Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen, Berlin. https://www.gruene-bundestag.de/fileadmin/media/gruenebundestag_de/themen_az/klimaschutz/pdf/2105_Kurzstudie_Arbeitskra__ftebedarf_Klimaneutralitaet.pdf, abgerufen am 21.11.2022.

BMWK (2023a): Klimaschutzprogramm 2023 der Bundesregierung – 04.10.2023. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/klimaschutz/20231004-klimaschutzprogramm-der-bundesregierung.html, zuletzt aktualisiert am 06.03.2024.

BMWK (2023b): Überblickspapier Solarpaket. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, Berlin. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Gesetz/20230816-uberblickspapier-solarpaket.pdf?__blob=publicationFile&v=8.

BMWK & AGEE-Stat (Hg.) (2023): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Stand: Februar 2023.

Bundeministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2023c): Dritter Wärmepumpengipfel: Breites Akteursbündnis bekräftigt Zusammenarbeit beim Wärmepumpenhochlauf. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/09/20230919-dritter-waermepumpengipfel-breites-akteursbuendnis-bekraeftigt-zusammenarbeit-beim-waermepumpenhochlauf.html, zuletzt aktualisiert am 19.09.2023.

Bundeministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2023d): Energieeffizienz in Zahlen – Entwicklungen und Trends in Deutschland 2022.

Bundesagentur für Arbeit (2023): Anforderungsniveau der Berufe. https://statistik.arbeitsagentur.de/DE/Statischer-Content/Grundlagen/Methodik-Qualitaet/Methodische-Hinweise/uebergreifend-MethHinweise/Anforderungsniveau-Berufe.html, zuletzt aktualisiert am 10.05.2024.

Bundesregierung (2023a): Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energie (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2023), abgerufen am 01.08.2023.

Bundesregierung (2023b): Gesetz zur Entwicklung und Förderung der Windenergie auf See - WindSeeG, vom 22.03.2023. https://www.gesetze-im-internet.de/windseeg/WindSeeG.pdf.

Bundesverband Wärmepumpe (2023): Branchenstudie 2023: Marktentwicklung - Prognose - Handlungsempfehlungen, Berlin.

Deutsche Windguard (2023): Status des Offshore-Windenergieausbaus in Deutschland – Erstes Halbjahr 2023. https://www.windguard.de/id-1-halbjahr-2023.html?file=files/cto_layout/img/unternehmen/windenergiestatistik/2023/Halbjahr/Status%20des%20Offshore-Windenergieausbaus_Halbjahr%202023.pdf.

enervis (2023): Mittelfristprognose zur deutschlandweiten Stromerzeugung aus EEG-geförderten Kraftwerken für die Kalenderjahre 2024 bis 2028.

European Commission (2021): EU Reference Scenario 2020 – Energy, transport and GHG emissions - Trends to 2050. Directorate General for Energy; Directorate General for Climate Action; Directorate General for Mobility and Transport, Luxembourg. DOI: 10.2833/35750.

Fingerhut, J., Mertens, A. & Herdin, G. (2023): Dringend gesucht: Arbeitskräfte für die Energiewende – Nachfrage nach Berufen in der Wind- und Solarbranche - eine Analyse von Online-Stellenanzeigen (Zusammenfassung). Unter Mitarbeit von Institut der deutschen Wirtschaft Köln e. V. Hg. v. Bertelsmann Stiftung, Gütersloh. DOI: 10.11586/2023072.

Fraunhofer ISI (Hg.) (2023): Szenario-Explorer, Langfristszenarien. https://langfristszenarien.de/enertile-explorer-de/szenario-explorer/, abgerufen am 10.11.2023.

Helmrich, R., Bott, P., Güntürk-Kuhl, B., Krampe, M., Leppelmeier, I., Lewalder, A. C., Neuber-Pohl, C. & Tiemann, M. (2016): Ausbau Erneuerbarer Energien und die Auswirkungen auf die deutsche Berufsbildung und den deutschen Arbeitsmarkt – Abschlussbericht. Hg. v. Bundesinstitut für Berufsbildung. Forschungsprojekt 2.1.308 (JFP 2013), Bonn.

Koneberg, F., Jansen, A. & Kutz, V. (2022): Energie aus Wind und Sonne – Welche Fachkräfte brauchen wir? Hg. v. Institut der deutschen Wirtschaft Köln e. V, Köln.

Kost, C., Shammugam, S., Fluri, V., Peper, D., Memar, A. D. & Schlegl, T. (2021): Strohmgestehungskosten erneuerbare Energien. Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme ISE, Freiburg.

Lehr, U., Lutz, C., Edler, D., O'Sullivan, M., Nienhaus, K., Nitsch, J., Breitschopf, B., Bickel, P. & Ottmüller, M. (2011): Kurz- und langfristige Auswirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt. – Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Osnabrück, Stuttgart, Berlin, Februar.

Lehr, U., Ulrich, P., Lutz, C., Thobe, I., Edler, D., O'Sullivan, M., Simon, S., Naegler, T., Pfenning, U., Frank, P., Sakowski, F. & Bickel, P. (2015): Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland – Ausbau und Betrieb, heute und morgen.

Politikberatung kompakt 101. DIW, Berlin. http://www.diw.de/sixcms/detail.php?id=diw_01.c.510579.de.

Leontief, W. (1986): Input-output economics. 2nd ed. Oxford University Press, New York. https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=151058.

Lüers, S., Rehfeldt, K. & Heyken, M. (2022): Kurzfristanalyse zur Kostensituation der Windenergie an Land.

Miller, R. E. & Blair, P. D. (2009): Input-output analysis – Foundations and extensions. 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge, New York.

O'Sullivan, M., Edler, D. & Lehr, U. (2019): Ökonomische Indikatoren der Energiebereitstellung – Methode, Abgrenzung und Ergebnisse für den Zeitraum 2000-2017: Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. DIW Berlin 135, Berlin.

O'Sullivan, M., Eschmann, J., Edler, D. & Ulrich, P. (2023): Ökonomische Indikatoren des Energiesystems – Produktion, Investitionen und Beschäftigung. GWS Research Report 2023/04, Osnabrück.

pvxchange & solarserver (2023): Photovoltaik-Preisindex: PV-Solarmodule Preisentwicklung. https://www.solarserver.de/photovoltaik-preis-pv-modul-preisindex/, zuletzt aktualisiert am 21.12.2023.

Stäglin, R., Edler, D. & Schintke, J. (1992): Der Einfluß der gesamtwirtschaftlichen Nachfrageaggregate auf die Produktions- und Beschäftigungsstruktur – Eine quantitative Input-Output-Analyse. Schwerpunktuntersuchung im Rahmen der Strukturberichterstattung. Heft I: Textband. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung. Beiträge zur Strukturforschung v.127. Duncker & Humblot, Berlin. https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=5904407.

Statistisches Bundesamt (2023): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Input-Output-Rechnung 2019 (Revision 2019, Stand: August 2022). Fachserie 18 Reihe 2, Wiesbaden.

Statistisches Bundesamt (StBA) (2023): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen – Inlandsproduktberechnung. Detaillierte Jahresergebnisse 2022. Hg. v. Statistisches Bundesamt (StBA). Fachserie 18, Reihe 1.4.

Thamling, N., Rau, D. & Prognos AG (2022): Hintergrundpapier zur Gebäudestrategie Klimaneutralität 2045 – Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz. Prognos AG, FIW München, ITG Dresden, ifeu, Öko-Institut e.V., adelphi, BBH, dena, EY Law.

Ulrich, P., Becker, L. & Plassenberg, J. (2024): Quantitative Erfassung des spezifischen Fachkräftebedarfs für den EE-Ausbau im Jahr 2021. GWS Research Report, im erscheinen.

Zika, G., Hummel, M., Maier, T. & Wolter, M. I. (Hg.) (2023): Das QuBe-Projekt: Modelle, Module, Methoden. IAB. 1. Auflage. wbv Publikation. IAB-Bibliothek 374,

Bielefeld. https://elibrary.utb.de/doi/book/10.3278/9783763973712, abgerufen am 15.02.2024.

Zimmermann, J.-R. (2023): "Dieser Markt wird bestehen - oder wir reden über ganz andere Probleme". neue energie 2023 (10), S. 60–63.