



GWS RESEARCH REPORT 2023 / 04

Ökonomische Indikatoren des Energiesystems

Produktion, Investitionen und Beschäftigung

**Marlene O'Sullivan, Jonas Eschmann, Dietmar Edler,
Philip Ulrich**

Impressum

AUTOR:INNEN

Marlene O’Sullivan, Jonas Eschmann

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt – Institut für Vernetzte Energiesysteme (DLR-VE)

Curiestr. 4, 70563 Stuttgart, jonas.eschmann@dlr.de

Dr. Dietmar Edler

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

Philip Ulrich

Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) mbH

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

TITEL

Ökonomische Indikatoren des Energiesystems – Produktion, Investitionen und Beschäftigung

VERÖFFENTLICHUNGSDATUM

© GWS mbH Osnabrück, Oktober 2023

HAFTUNGSAUSSCHLUSS

Die in diesem Papier vertretenen Auffassungen liegen ausschließlich in der Verantwortung des Verfassers/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 BMWK erarbeitet

HERAUSGEBER DER GWS RESEARCH REPORT SERIES

Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) mbH

Heinrichstr. 30

49080 Osnabrück

ISSN 2196-4262

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Abbildungsverzeichnis | V |
| Tabellenverzeichnis | IX |
| Abkürzungsverzeichnis | X |
| Zusammenfassung | 1 |
| Summary | 2 |
| 1 Einleitung | 3 |
| 2 Beschäftigung durch die Bereitstellung von Energie | 5 |
| 2.1 Beschäftigung in Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien | 6 |
| 2.2 Beschäftigung im Energiesektor | 9 |
| 2.3 Beschäftigung durch die Bereitstellung von Biomasse und Biokraftstoffen | 13 |
| 2.4 Beschäftigung durch Handelsleistungen für Kraftstoffe (Tankstellen) | 14 |
| 2.5 Beschäftigung in der Energiewirtschaft | 14 |
| 3 Investitionen in der Energiewirtschaft | 16 |
| 3.1 Investitionen in Anlagen zur Bereitstellung v. Brenn- und Kraftstoffen | 16 |
| 3.2 Investitionen in Anlagen zur Bereitstellung von Strom und Wärme | 18 |
| 3.2.1 Investitionen in konventionelle Anlagen zur Strombereitstellung | 18 |
| 3.2.2 Investitionen in konventionelle Energie-erzeugungsanlagen zur Fernwärmebereitstellung | 19 |
| 3.2.3 Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien | 19 |
| 3.2.4 Zusammenfassung - Investitionen in Anlagen zur Bereitstellung von Strom und Wärme | 20 |
| 3.3 Investitionen in Speicher | 21 |
| 3.4 Investitionen in Infrastrukturen zur Verteilung von Endenergie | 23 |
| 3.5 Zusammenfassung – Investitionen der Energiewirtschaft | 25 |
| 3.6 Öffentlich bereitgestellte Mittel für Forschung und Entwicklung | 27 |
| 4 Produktion und Beschäftigung durch Investitionen der Energiewirtschaft | 29 |
| 4.1 Methodische Herangehensweise | 29 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.2 | Im Inland wirksame Nachfrage und Bruttoproduktion | 30 |
| 4.2.1 | Anlagen zur Bereitstellung von Brenn- und Kraftstoffen | 31 |
| 4.2.2 | Anlagen zur Bereitstellung von Strom und Wärme | 32 |
| 4.2.2.1 | Konventionelle Stromerzeugung | 32 |
| 4.2.2.2 | Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien | 35 |
| 4.2.2.3 | Zusammenfassung – Bereitstellungsanlagen Strom und Wärme | 40 |
| 4.2.3 | Speicher | 41 |
| 4.2.4 | Infrastrukturen zur Verteilung von Endenergie | 42 |
| 4.2.5 | Zusammenfassung – Bruttoproduktion | 44 |
| 4.3 | Beschäftigung | 45 |
| 4.3.1 | Anlagen zur Bereitstellung von Brenn- und Kraftstoffen | 46 |
| 4.3.2 | Anlagen zur Bereitstellung von Strom und Wärme | 47 |
| 4.3.2.1 | Konventionelle Stromerzeugung | 47 |
| 4.3.2.2 | Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien | 48 |
| 4.3.2.3 | Zusammenfassung – Bereitstellungsanlagen von Strom und Wärme | 50 |
| 4.3.3 | Speicher | 51 |
| 4.3.4 | Infrastrukturen zur Verteilung von Endenergie | 52 |
| 4.3.5 | Zusammenfassung – Beschäftigung | 53 |
| 5 | Fundierung der Datenbasis für den Bereich erneuerbarer Energien | 56 |
| 5.1 | Revision techno-ökonomischer Inputfaktoren | 57 |
| 5.2 | Weitere Datenquellen | 58 |
| 5.3 | Zusammenführung der Datenquellen | 60 |
| 5.3.1 | Windenergie an Land | 60 |
| 5.3.2 | Windenergie auf See | 62 |
| 5.3.3 | Photovoltaik | 64 |
| 5.4 | Aktualisierung der Abbildung der EE-Technologien im Kontext der Input-Output-Analyse | 66 |
| 6 | Resümee und Ausblick | 76 |
| 7 | Literaturverzeichnis | 79 |
| 8 | Anhang | 82 |

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

| | | |
|---------------|--|----|
| Abbildung 1: | Darstellung der Systemgrenzen (O’Sullivan et al. 2019) | 5 |
| Abbildung 2: | Betrieb- und Wartungskosten von EE-Anlagen, gerundet Mio. Euro (eigene Berechnungen) | 8 |
| Abbildung 3: | Beschäftigung in Betrieb und Wartung von EE-Anlagen, gerundet (eigene Berechnungen) | 9 |
| Abbildung 4: | Indirekte Beschäftigung im Braunkohlen- und Steinkohlenbergbau | 11 |
| Abbildung 5: | Anteile der Energieversorgungsunternehmen am Betrieb von Erneuerbare-Energien-Anlagen im Stromsektor in Deutschland, 2000-2021 (eigene Berechnungen) | 12 |
| Abbildung 6: | Beschäftigung im Energiesektor abzüglich des Betriebs sowie der Wartung von EE-Anlagen, gerundet (eigene Berechnungen) | 12 |
| Abbildung 7: | Beschäftigung durch die Bereitstellung von Biomasse und Biokraftstoffen, gerundet (eigene Berechnungen) | 13 |
| Abbildung 8: | Beschäftigung durch Handelsleistungen für Kraftstoffe | 14 |
| Abbildung 9: | Beschäftigung in der Energiewirtschaft, gerundet (eigene Berechnungen) | 15 |
| Abbildung 10: | Investitionen in Anlagen zur Bereitstellung von Brenn- und Kraftstoffen, in Millionen Euro im Zeitraum 2000 – 2021 (eigene Darstellung) | 17 |
| Abbildung 11: | Investitionen in konventionelle Kraftwerke in Deutschland, Mio. Euro (eigene Berechnung) | 18 |
| Abbildung 12: | Investitionen in die Errichtung von Erneuerbare-Energien-Anlagen in Deutschland (AGEE-Stat 2022) | 20 |
| Abbildung 13: | Investitionen in Anlagen zur Bereitstellung von Strom und Wärme, Mio. Euro (eigene Berechnung) | 21 |
| Abbildung 14: | Privatwirtschaftliche Investitionen in Stromspeicher, Mio. Euro (eigene Berechnung) | 22 |
| Abbildung 15: | Investitionen in Speicher der Energiewirtschaft in Deutschland, Mio. Euro (eigene Darstellung) | 23 |
| Abbildung 16: | Investitionen in Ladesäulen und Wasserstofftankstellen | 24 |
| Abbildung 17: | Investitionen der Energiewirtschaft in die Infrastruktur zur Verteilung von Endenergie, Mio. Euro (eigene Darstellung) | 25 |
| Abbildung 18: | Investitionen der Energiewirtschaft, Mio. Euro (eigene Darstellung) | 26 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 19: Investitionen der Energiewirtschaft differenziert nach Sektoren, Mio. Euro (eigene Darstellung) | 27 |
| Abbildung 20: Ausgaben für Energieforschung aus Bundesmitteln nach Themenschwerpunkten, Mio. Euro (BMWK 2022) | 28 |
| Abbildung 21: Schematische Darstellung der Berechnungsschritte zur Ableitung der im Inland wirksamen Nachfrage und der Bruttoproduktion | 30 |
| Abbildung 22: Bereitstellung von Brenn- und Kraftstoffen: im Inland wirksame Nachfrage nach Teilbereichen aus im Inland getätigten Investitionen im Zeitraum 2000 – 2021, in Millionen Euro | 31 |
| Abbildung 23: Bereitstellung von Brenn- und Kraftstoffen: durch Investitionen und Exporte ausgelöste Bruttoproduktion im Zeitraum 2000 – 2021, in Millionen Euro | 32 |
| Abbildung 24: Konventionelle Stromerzeugung: Investitionen, Importe, Exporte und im Inland wirksame Nachfrage im Zeitraum 2000 – 2021, in Millionen Euro | 33 |
| Abbildung 25: Konventionelle Stromerzeugung: im Inland wirksame Nachfrage nach Teilbereichen aus im Inland getätigten Investitionen im Zeitraum 2000 – 2021, in Millionen Euro | 34 |
| Abbildung 26: Konventionelle Stromerzeugung: durch Investitionen und Exporte ausgelöste Bruttoproduktion im Zeitraum 2000 – 2021, in Millionen Euro | 35 |
| Abbildung 27: Im Inland wirksame Nachfrage nach Anlagen und Komponenten zur Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland, Mio. Euro (eigene Berechnung) | 37 |
| Abbildung 28: Deutscher Außenhandelsaldo von EE-Anlagen und Komponenten, Mio. Euro (eigene Berechnung) | 38 |
| Abbildung 29: Export von Anlagen und Komponenten zur Nutzung erneuerbarer Energien aus Deutschland, Mio. Euro (eigene Berechnung) | 39 |
| Abbildung 30: Bruttoproduktion von Anlagen und Komponenten zur Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland, Mio. Euro (eigene Berechnung) | 40 |
| Abbildung 31: Bereitstellungsanlagen von Strom und Wärme, durch Investitionen ausgelöste Bruttoproduktion im Zeitraum 2000 – 2021, in Millionen Euro (eigene Berechnung) | 41 |
| Abbildung 32: Speicher, im Inland wirksame Nachfrage nach Teilbereichen im Zeitraum 2000 – 2021, in Mio. Euro | 42 |
| Abbildung 33: Speicher, durch Investitionen ausgelöste Bruttoproduktion im Zeitraum 2000 – 2021, in Mio. Euro | 42 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 34: Infrastrukturen zur Verteilung von Endenergie, im Inland wirksame Nachfrage nach Teilbereichen im Zeitraum 2000 – 2021, in Mio. Euro | 43 |
| Abbildung 35: Infrastrukturen zur Verteilung von Endenergie, durch Investitionen ausgelöste Bruttoproduktion im Zeitraum 2000 – 2021, in Mio. Euro | 44 |
| Abbildung 36: Durch die Investitionen der Energiewirtschaft ausgelöste Bruttoproduktion im Zeitraum 2000 – 2021, in Millionen Euro | 45 |
| Abbildung 37: Bereitstellung von Brenn- und Kraftstoffen, Beschäftigung (direkt und indirekt) durch Investitionen im Zeitraum 2000 – 2021, in Personen | 47 |
| Abbildung 38: Konventionelle Stromerzeugung, Beschäftigung (direkt und indirekt) durch Investitionen im Zeitraum 2000 – 2021, in Personen | 48 |
| Abbildung 39: Erneuerbare Energien, Beschäftigung durch Investitionen im Zeitraum 2000 – 2021, in Personen | 49 |
| Abbildung 40: Entwicklung der Beschäftigung in der Branche der Erneuerbare Energien in Deutschland im Zeitraum 2000 – 2021, in Personen | 50 |
| Abbildung 41: Erzeugungsanlagen, Beschäftigung durch Investitionen im Zeitraum 2000 – 2021, in Personen | 51 |
| Abbildung 42: Speicher, Beschäftigung (direkt und indirekt) durch Investitionen im Zeitraum 2000 – 2021, in Personen | 52 |
| Abbildung 43: Infrastrukturen zur Verteilung von Endenergie, Beschäftigung (direkt und indirekt) durch Investitionen im Zeitraum 2000 – 2021, in Personen | 53 |
| Abbildung 44: Durch Investitionen der Energiewirtschaft ausgelöste Beschäftigung (direkt und indirekt) im Zeitraum 2000 – 2021, in Personen | 54 |
| Abbildung 45: Beschäftigung durch die Aktivitäten der Energiewirtschaft im Zeitraum 2000 – 2021, in Personen | 55 |
| Abbildung 46: Wertschöpfungstiefe in Deutschland von Windenergieanlagenherstellern (2010-2019) (auf Basis eigener Recherche) | 60 |
| Abbildung 47: Marktverteilung der Onshore-Windenergieanlagenhersteller von 2010 bis 2021 (Quelle: FA Wind 2018 und Bernotat et al. 2015) | 61 |
| Abbildung 48: Komponentenweise Importquoten auf Basis der Marktverteilung und den geschätzten Wertschöpfungstiefen der Windanlagenhersteller (2010-2021) (eigene Berechnungen) | 62 |

- Abbildung 49: Schematische Abbildung eines neuen Produktionsbereichs im Kontext einer Input-Output-Tabelle (Entnommen aus Lehr et al. 2015) 67
- Abbildung 50: Dateninput für die Fundierung und Aktualisierung der Bereich Herstellung von Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien für Windenergie an Land, - für Windenergie auf See und – für Photovoltaik 68
- Abbildung 51: Anteile der 15 wichtigsten inländischen Vorleistungen an den gesamten inländischen Vorleistungen in Prozent – Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien Windenergie an Land 69
- Abbildung 52: Anteile der 15 wichtigsten inländischen Vorleistungen an den gesamten inländischen Vorleistungen in Prozent – Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien Windenergie auf See 70
- Abbildung 53: Anteile der 15 wichtigsten inländischen Vorleistungen an den gesamten inländischen Vorleistungen in Prozent – Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien Photovoltaik 71
- Abbildung 54: Anteile der inländischen und der importierten Vorleistungen sowie der Bruttowertschöpfung an der Bruttoproduktion in % in den Produktionsbereichen Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien 72
- Abbildung 55: Anteile der 15 wichtigsten inländischen Vorleistungen an den gesamten inländischen Vorleistungen in Prozent – Wartung und Betrieb von Windenergie an Land 73
- Abbildung 56: Anteile der 15 wichtigsten inländischen Vorleistungen an den gesamten inländischen Vorleistungen in Prozent – Wartung und Betrieb von Windenergie auf See 73
- Abbildung 57: Anteile der 15 wichtigsten inländischen Vorleistungen an den gesamten inländischen Vorleistungen in Prozent – Wartung und Betrieb von Biogasanlagen (ohne Biomassebrennstoffe) 74
- Abbildung 58: Anteile der inländischen und der importierten Vorleistungen sowie der Bruttowertschöpfung an der Bruttoproduktion in % in den Produktionsbereichen Wartung und Betrieb von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien 75
- Abbildung 59: Anteile verschiedener Aktivitäten der Energiewirtschaft an der gesamten erfassten Beschäftigung im Zeitraum 2000 – 2021, in Prozent 77

TABELLENVERZEICHNIS

| | | |
|------------|--|----|
| Tabelle 1: | Annahmen zur Ermittlung der Betriebs- und Wartungskosten der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland | 7 |
| Tabelle 2: | Beschäftigte im Energiesektor, Quelle: Statistisches Bundesamt (BMWK 2022) | 10 |
| Tabelle 3: | Verteilung der wirtschaftlichen Aktivitäten im Zusammenhang mit den Investitionen in Windenergieanlagen auf See 2019 (eigene Ermittlung) | 64 |
| Tabelle 4: | Übersicht über Produktionskapazitäten von PV-Modulen und -Zellen (eigene Recherche) | 65 |
| Tabelle 5: | Wertschöpfung der deutschen PV-Industrie 2019 (eigene Ermittlungen) | 66 |

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

| | |
|------------------|--|
| a | Jahr |
| AGEE-Stat | Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik |
| BDEW | Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. |
| BMWK | Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz |
| BNetzA | Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen |
| COVID-19 | Corona virus disease-2019 |
| EE | Erneuerbare Energien |
| Invest | Investitionskosten |
| kW | Kilowatt |
| KWKG | Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz) |
| MaStR | Marktstammdatenregister |
| Mio. | Millionen |
| Mrd. | Milliarden |
| PTG | Power-to-Gas |
| PV | Photovoltaik |
| StaBuA | Statistisches Bundesamt |

ZUSAMMENFASSUNG

Das deutsche Energiesystem befindet sich seit der Jahrtausendwende in einem tiefgreifenden Transformationsprozess, an dessen Ende die Klimaneutralität stehen soll. Um den Fortschritt dieser Transformation adäquat und zuverlässig beurteilen zu können, bedarf es geeigneter Indikatoren. Neben physischen Indikatoren zu Energieeinsatz und Emissionen werden auch Indikatoren benötigt, die die ökonomische Dimension der Transformation beschreiben.

In ökonomischer Perspektive bedeutet die Transformation des Energiesystems vor allem Strukturwandel, der mit einer fortlaufenden Veränderung des Kapitalstocks einhergeht. Darum ist es unumgänglich neben dem unmittelbaren Wandel in der Bereitstellung von Energie auch die mit dem Wandel verbundenen Investitionspfade mit in den Blick zu nehmen. Die Investitionspfade machen deutlich, welche ökonomischen Ressourcen für die Transformation eingesetzt werden, und wie die damit verknüpften wirtschaftlichen Aktivitäten die anderen Sektoren der Volkswirtschaft beeinflussen. Eine Herausforderung besteht darin, neue Technologien, die in Zukunft für die Transformation an Bedeutung gewinnen werden, rechtzeitig in die statistische Beobachtung einzubeziehen.

Die Grenzen des betrachteten Energiesystems werden definiert, sie gehen durch die Einbeziehung zusätzlicher Akteure über die klassische Energiewirtschaft hinaus, und können daher nicht allein durch die amtliche Statistik und ihre Klassifikationen erfasst werden. Bei der Auswahl der ökonomischen Indikatoren zur Beschreibung der Transformation wird ein besonderer Fokus auf Investitionen, auf die im Inland wirksame Nachfrage, auf die induzierte Bruttoproduktion sowie die daraus resultierende direkte und indirekte (Brutto)-Beschäftigung gelegt. Ihre Abschätzung erfolgt auf Basis der Input-Output-Analyse (offenes statisches Mengenmodell).

Das entwickelte Portfolio ökonomischer Indikatoren erlaubt die Darstellung des Standes der Transformation differenziert nach fossilen (acht Energieträger) und erneuerbaren Energien (elf Technologien) sowie nach Strom und Wärme. Weiterhin werden wesentliche Bestandteile der Infrastruktur zur Verteilung von Endenergie (Netze) und unterschiedliche Speichertechnologien ausgewiesen.

Die ökonomischen Indikatoren belegen, dass die Bedeutung der erneuerbaren Energien zwischen 2000 und 2011 deutlich gestiegen ist und seither stagniert. Spiegelbildlich hat die Bedeutung der Beschäftigung basierend auf fossilen Energien bis zum Jahr 2011 signifikant abgenommen, um danach zu stagnieren, bevor der Rückgang ab dem Jahr 2020 wieder an Dynamik gewonnen hat. Die ökonomischen Impulse für den Ausbau der Infrastruktur zur Verteilung von Endenergie sowie in Speicher haben vor allem seit 2011 kontinuierlich an Relevanz gewonnen. Damit wird unterstrichen, dass der nachhaltige Umbau des Energiesystems nicht nur den Ausbau erneuerbarer Erzeugungsanlagen erfordert, sondern auch verstärkte Investitionen in Verteilinfrastrukturen und in Flexibilitätsoptionen.

SUMMARY

Since the turn of the millennium, the German energy system has been undergoing a far-reaching transformation process, at the end of which climate neutrality is to be achieved. In order to be able to adequately and reliably assess the progress of this transformation, suitable indicators are needed. In addition to physical indicators on energy use and emissions, indicators are also needed to describe the economic dimension of the transformation.

From an economic perspective, the transformation of the energy system primarily means structural change, which is accompanied by a continuous change in the capital stock. Therefore, in addition to the immediate change in the provision of energy, it is also essential to consider the investment paths associated with the change. The investment pathways reveal which economic resources are used for the transformation and how the associated economic activities influence the other sectors of the economy. One challenge is to include new technologies, which will become more important for the transformation in the future, in the statistical observation in a timely manner.

The boundaries of the energy system under consideration are defined, they go beyond the classical energy economy due to the inclusion of additional actors, and therefore cannot be captured by official statistics and their classifications alone. In the selection of economic indicators to describe the transformation, a special focus is placed on investments, on domestically effective demand, on induced gross production, and on the resulting direct and indirect (gross) employment. Their estimation is based on input-output analysis (open static quantity model).

The developed portfolio of economic indicators allows the presentation of the status of transformation differentiated by fossil (eight energy sources) and renewable energies (eleven technologies) as well as by electricity and heat. It also shows the main components of the infrastructure for the distribution of final energy (grids) and various storage technologies.

The economic indicators show that the importance of renewable energies increased significantly between 2000 and 2011 and has stagnated since then. In a mirror image, the importance of employment based on fossil energies decreased significantly until 2011 and then stagnated, before the decline gained momentum again from 2020 onwards. The economic impetus for the expansion of infrastructure for the distribution of final energy as well as in storage facilities has continuously gained relevance, especially since 2011. This underscores the fact that the sustainable transformation of the energy system requires not only the expansion of renewable generation facilities, but also increased investment in distribution infrastructure and in flexibility options.

1 EINLEITUNG

Die Transformation des deutschen Energiesystems ist ein langfristiger Prozess, der in seinen Anfängen schon seit der Jahrtausendwende angestoßen wurde. Um den Fortschritt dieser Transformation adäquat und zuverlässig beurteilen zu können, bedarf es geeigneter Indikatoren. Neben physischen Indikatoren zu Energieeinsatz und Emissionen werden auch Indikatoren benötigt, die die ökonomische Dimension der Transformation der Energiewirtschaft beschreiben.

Die Darstellung der Transformation der Energieversorgung in langer Frist mit Hilfe ökonomischer Indikatoren ist notwendigerweise mit methodischen Herausforderungen behaftet. In ökonomischer Perspektive bedeutet die Transformation des Energiesystems vor allem Strukturwandel. Der Strukturwandel geht mit einer stetigen Veränderung des Kapitalstocks einher. Technologien und Branchen, die in der Vergangenheit wichtig waren, haben schon und werden weiter an Bedeutung verlieren. Neue Technologien haben bereits und werden weiterhin an Bedeutung gewinnen. Die neuen Technologien entwickeln sich im Zeitablauf, bisher unbekannte oder zumindest unbedeutende innovative Entwicklungen können an Gewicht gewinnen. Darum ist es unumgänglich neben dem eigentlichen Wandel in der Bereitstellung von Energie auch die mit dem Wandel verbundenen Investitionspfade mit in den Blick zu nehmen. Die Investitionspfade machen auch deutlich, welche ökonomischen Ressourcen für diesen Wandel notwendig sind. Gleichzeitig beschreiben die mit den Investitionen zusammenhängenden wirtschaftlichen Aktivitäten einen wesentlichen Teil der mit dem Wandel des Energiesystems verbundenen Auswirkungen auf die Sektoren der Volkswirtschaft jenseits des Energiesektors im engeren Sinne.

Die hier vorliegende Untersuchung ermittelt und dokumentiert relevante ökonomische Indikatoren in einer langen Zeitreihe seit dem Jahr 2000 bis zum aktuellen Rand. Sie baut auf vorangegangene Untersuchungen auf. Der für den Wandel des Energiesystems wichtige Ausbau der erneuerbaren Energien wurde im Hinblick auf seine ökonomischen Auswirkungen in einer Reihe von Studien untersucht (Staiß et al. 2006, Lehr et al. 2011, Lehr et al. 2015). Der hier vorgestellte breitere Ansatz, der auch die auf fossilen Brennstoffen basierenden Teile des Energiesystems sowie Infrastruktur zur Verteilung und Speicher mit in den Blick nimmt, wurde in erstmalig in O'Sullivan et al. 2018 und O'Sullivan et al. 2019 untersucht. Bei der Auswahl der möglichen ökonomischen Indikatoren, welche den Wandel des Energiesystems beschreiben, wird hier wie in den Vorgängeruntersuchungen ein besonderer Fokus auf Investitionen, im Inland wirksame Nachfrage, Bruttoproduktion sowie die daraus resultierende Beschäftigung gelegt.

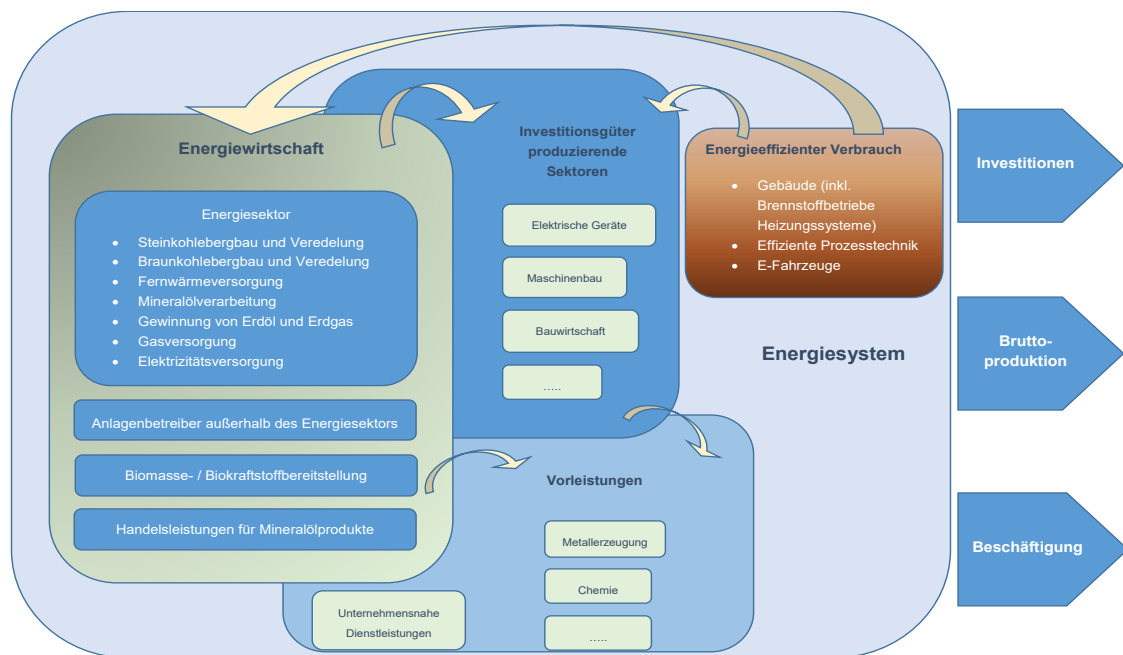
In der vorgelegten Untersuchung wird der Beobachtungszeitraum am aktuellen Rand um die Berichtsjahre 2018 bis 2021 erweitert. Soweit für die davor liegende Periode neue Erkenntnis oder verbesserte Daten vorliegen, werden diese berücksichtigt, was zu einer Revision bisher vorliegender Ergebnisse führt, die im Einzelnen dokumentiert sind. Im Bereich erneuerbare Energien wurde insbesondere im Bereich Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien eine Fundierung und Aktualisierung der dort für die Analyse verwendeten eigenständigen Input-Output-Vektoren vorgenommen (vgl. Abschnitt 5).

Als zusätzlich betrachtete Technologiebereiche wurden im Bereich Infrastruktur zur Verteilung von Energie zum einen Wasserstofftankstellen in die Analyse einbezogen, zum anderen wurden zum ersten Mal Daten und abgeleitete Indikatoren für die Ladeinfrastruktur von Elektrofahrzeugen berücksichtigt.

2 BESCHÄFTIGUNG DURCH DIE BEREITSTELLUNG VON ENERGIE

Die Beschäftigung, welche durch die Bereitstellung von Energie ausgelöst wird, wird im Rahmen dieses Projektes umfassend erfasst. Es werden nicht ausschließlich die Beschäftigten ermittelt, die unmittelbar in der Energiewirtschaft tätig sind (direkte Beschäftigung), sondern es werden auch jene Beschäftigten erfasst, die in den vorgelagerten Bereichen (upstream) tätig sind (indirekte Beschäftigung).¹ Der Begriff der Energiewirtschaft geht dabei über den üblichen Begriff des Energiesektors hinaus. Es werden weitere Akteure mit einbezogen, welche eine Rolle in der Energiebereitstellung spielen, aber nicht dem klassischen Energiesektor zuzurechnen sind. Beispiele, welche hierfür genannt werden können, sind z. B. Privathaushalte oder Betriebe aus anderen Industriezweigen, welche eine Anlage zur Bereitstellung von Energie betreiben. Die statistische Abgrenzung der Energiewirtschaft setzt hier auf die in O'Sullivan et al. 2019 beschriebenen Arbeiten auf.

Abbildung 1: Darstellung der Systemgrenzen (O'Sullivan et al. 2019)



Die Beschäftigung der Energiewirtschaft beinhaltet dabei im Wesentlichen die Bereiche des Betriebs sowie der Wartung der Anlagen zur Energieerzeugung, Speicherung und Verteilung sowie den Handel von Endenergie.

Die Methodik, welche angewandt wird, um die Beschäftigung der Energiewirtschaft zu ermitteln, basiert so wie die statistische Abgrenzung auf vorausgegangenen Arbeiten, welche in O'Sullivan et al. 2019 beschrieben sind. In den kommenden Abschnitten werden die Aktualisierungen und die Ergebnisse der verschiedenen Teilbereiche zusammenfassend dargestellt.

¹ In wenigen Bereichen ist die Ermittlung der indirekten Beschäftigung aus methodischen Gründen nicht möglich. In Abschnitt 1.2. wird dokumentiert, wenn nur die direkte Beschäftigung ausgewiesen ist.

2.1 BESCHÄFTIGUNG IN BETRIEB UND WARTUNG VON ANLAGEN ZUR NUTZUNG ERNEUERBARER ENERGIEN

Die Beschäftigung in Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien wird anhand der angesetzten Betriebs- und Wartungskosten ermittelt. Die Ermittlung dieser jährlich wiederkehrenden Kosten basiert auf einem prozentualen Anteil der Investitionskosten in die bestehenden EE-Anlagen, welche technologiespezifisch dargestellt werden. Die Methodik hierfür ist in früheren Projekten detailliert untersucht und beschrieben worden. Besonders relevant ist jedoch die Veröffentlichung von Lehr et al. (2015), in der eine Befragung von Anlagenbetreibern durchgeführt wurde, um die prozentualen Anteile an den Investitionen, welche für Betrieb und Wartung aufgewendet werden müssen, technologiespezifisch zu überprüfen. Die dort gewonnenen Erkenntnisse werden auch im Rahmen dieses Projektes genutzt.

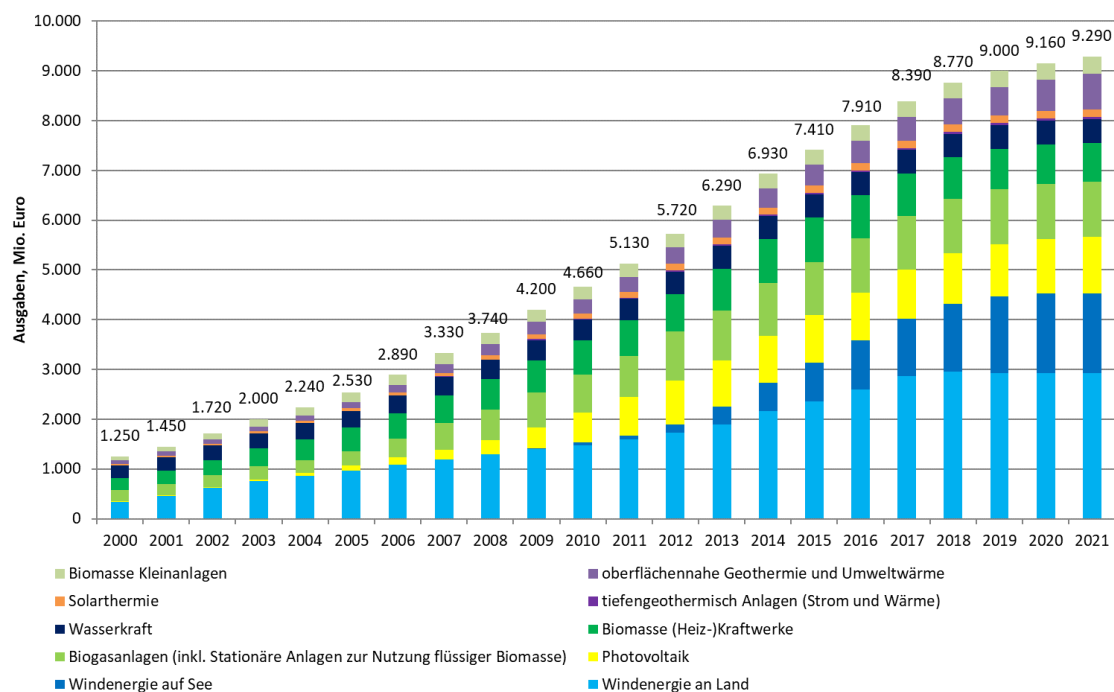
Eine Besonderheit, welche sich im Laufe des hier vorliegenden Projektes ergeben hat, ist der Umstand, dass die Betriebs- und Wartungskosten in einzelnen Technologien erstmals rückläufig waren. Hierfür sind vor allem zwei Entwicklungen im Zusammenspiel ursächlich. Zum einen fallen erstmals in signifikantem Umfang Anlagen aus der Ermittlung der Betriebs- und Wartungskosten heraus, da diese das Ende Ihrer angenommenen Lebensdauer erreicht haben, zum anderen war der Zubau von neuen Anlagen in den vergangenen Jahren teilweise so schwach, dass die Wartungskosten der Neuanlagen den Rückbau der Altanlagen nicht kompensieren konnten. Was hier zusätzlich zu berücksichtigen ist, ist der Umstand, dass Altanlagen auf Grund ihres geringeren technischen Reifegrades einen höheren Betriebs- und Wartungsaufwand mit sich bringen als moderne Neuanlagen. Daher ist dieser Rückgang der Betriebs- und Wartungskosten nicht unbedingt mit einem Rückgang der installierten Leistung gleichzusetzen. Da die Laufzeit der Anlagen an dieser Stelle eine sehr hohe Relevanz für die Untersuchung der Beschäftigungseffekte hatte, wurden die bislang getroffenen Annahmen zur Laufzeit der EE-Anlagen überprüft und dem aktuellen Stand des Wissens angepasst. Diese Zahlen wurden dabei u.a. mit der Herangehensweise der AGEE-Stat abgestimmt, um eine Konsistenz in den Annahmen zur Ermittlung anderer Indikatoren zu gewährleisten. Die getroffenen Annahmen zur Laufzeit der Anlagen sowie die angenommenen Betriebskostenanteile abhängig von den Investitionen sind in Tabelle 1 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 1: Annahmen zur Ermittlung der Betriebs- und Wartungskosten der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland

| Technologie | B&W-Kosten/a | Laufzeit |
|--|-------------------------|-----------------|
| Wasserkraft | 5 % Invest/a | 50 a |
| Wind onshore | 4% Invest/a | 20 a |
| Wind offshore | 5,5% Invest/a | 25 a |
| Photovoltaik | 1% Invest/a | 25 a |
| Solarthermie | 1% Invest/a | 20 a |
| Tiefengeothermische Anlagen (Strom & Wärme) | 3% Invest/a | 30 a |
| Oberflächennahe Geothermie und Umweltwärme | 3,5% Invest/a | 20 a |
| Biogasanlagen (inkl. Stationäre Anlagen zur Nutzung flüssiger Biomasse) | 6% Invest/a | 25 a |
| Biomasse (Heiz-)Kraftwerke | 5,5% Invest/a | 25 a |
| Biomasse Kleinanlagen | 1% Invest/a | 25 a |

Die Zeitreihe der jährlichen Betriebs- und Wartungskosten, welche aus diesen Annahmen und den Investitionen der Vergangenheit (vgl. auch Kapitel 3.2.3 und Abbildung 12) resultiert, ist in Abbildung 2 dargestellt. In Summe lagen die Betriebs- und Wartungskosten demnach 2021 bei etwa 9,3 Mrd. Euro. Gleichzeitig kann der Rückgang der Ausbaudynamik der Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien darin erkannt werden, dass sich die Betriebskosten in den vergangenen zwei Jahren in Summe um weniger als 2% jährlich erhöht haben.

Abbildung 2: Betrieb- und Wartungskosten von EE-Anlagen, gerundet Mio. Euro (eigene Berechnungen)



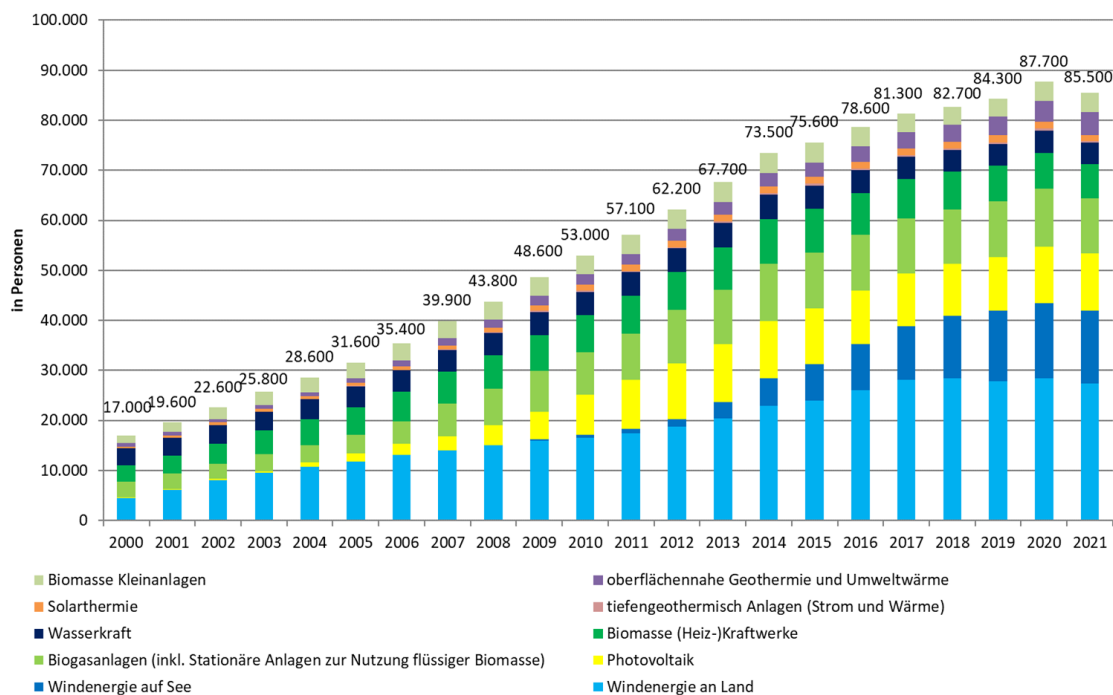
Die Abschätzung der Beschäftigung, welche aus den Betriebs- und Wartungskosten der Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien resultiert, ist im Rahmen dieses Projektes – wie in den Vorgängerstudien – auf der Basis von technologiespezifischen Input-Output-Vektoren unter Anwendung der Input-Output-Analyse vorgenommen worden. Die Berechnungsgrundlagen wurden entsprechend neu vorliegender Informationen aktualisiert, insbesondere wurden die technologiespezifischen Input-Output-Vektoren in eine aktuelle Input-Output-Tabelle eingepasst (vgl. Kapitel 5).

Die Entwicklung dieser Beschäftigung ist in Abbildung 3 dargestellt und zeigt im Grunde einen ähnlichen Verlauf wie die der Betriebs- und Wartungskosten. Am aktuellen Rand ist ein leichter Peak in der Beschäftigung in Höhe von 87.700 Personen im Jahr 2020 und ein darauffolgender leichter Rückgang im Jahr 2021 auf 85.500 Personen zu beobachten. Diese Entwicklung ist im Wesentlichen den Besonderheiten der Entwicklung der Arbeitsproduktivität in den Jahren 2020 und 2021 geschuldet, die stark von arbeitsmarktpolitischen Maßnahmen im Zuge der COVID-19 Pandemie geprägt waren. Insbesondere kam es zu einem starken Anstieg der der Kurzarbeit, die sich insbesondere im Jahr 2020 stark dämpfend auf die Arbeitsproduktivität je Erwerbstätigen ausgewirkt hat.² Diese sank im Vorjahresvergleich in der Wirtschaft um 3,8%, im Verarbeitenden Gewerbe sogar um 7,8%. Dies führt dazu, dass sich rechnerisch pro Einheit Betriebs- und Wartungskosten im Jahr 2020 eine größere Beschäftigung ergibt als im Jahr zuvor. Obwohl es auch 2021 noch Kurzarbeiterregelungen gab, nahm die Arbeitsproduktivität in

² Die Arbeitsproduktivität je geleistete Erwerbstätigenstunde entwickelte sich im Jahr 2020 in der Wirtschaft insgesamt dagegen stabil, während es im Verarbeitenden Gewerbe zu einem Rückgang kam, allerdings deutlich geringer als bei der Arbeitsproduktivität je Erwerbstätigen. Die Differenz zwischen beiden Produktivitätsentwicklungen lässt sich als Arbeitszeiteffekt bezeichnen, er belief sich in der Wirtschaft insgesamt auf 4,2 und im Verarbeitenden Gewerbe auf 3,7.

diesem Jahr wieder zu (um 2,8% in der Wirtschaft insgesamt und um 6,2% im Verarbeitenden Gewerbe). Rechnerisch nahm damit der Beschäftigungseffekt pro Einheit Betriebs- und Wartungskosten im Vorjahresvergleich wieder ab.

Abbildung 3: Beschäftigung in Betrieb und Wartung von EE-Anlagen, gerundet (eigene Berechnungen)



Die Verteilung der Beschäftigung auf die verschiedenen Sektoren der erneuerbaren Energien zeigt, dass die die Windenergien an Land mit 32% die Beschäftigung bei Betrieb und Wartung dominiert, gefolgt von der Windenergie auf See (17%). Die Photovoltaik trägt mit knapp über 13% zur Beschäftigung bei, während die Biogasanlagen mit ca. 13% in einer ähnlichen Größenordnung zu verorten sind. Es ist wichtig, darauf hinzuweisen, dass für Anlagen zur Nutzung von Biomasse an dieser Stelle keine Beschäftigten für die Biomassebereitstellung ausgewiesen wird. Diese Beschäftigung wird in Kapitel 2.3 dargestellt. Die anderen EE-Sektoren sind bei der Beschäftigung durch Betrieb und Wartung der Anlagen im einstelligen Prozentbereich vertreten: Biomasse (Heiz-)Kraftwerke (8%), oberflächennahe Geothermie und Umweltwärme (5%), Wasserkraft (5%), Biomasse Kleinanlagen (4%), Solarthermie (2%), tiefengeothermische Anlagen (0,4%).

2.2 BESCHÄFTIGUNG IM ENERGIESEKTOR

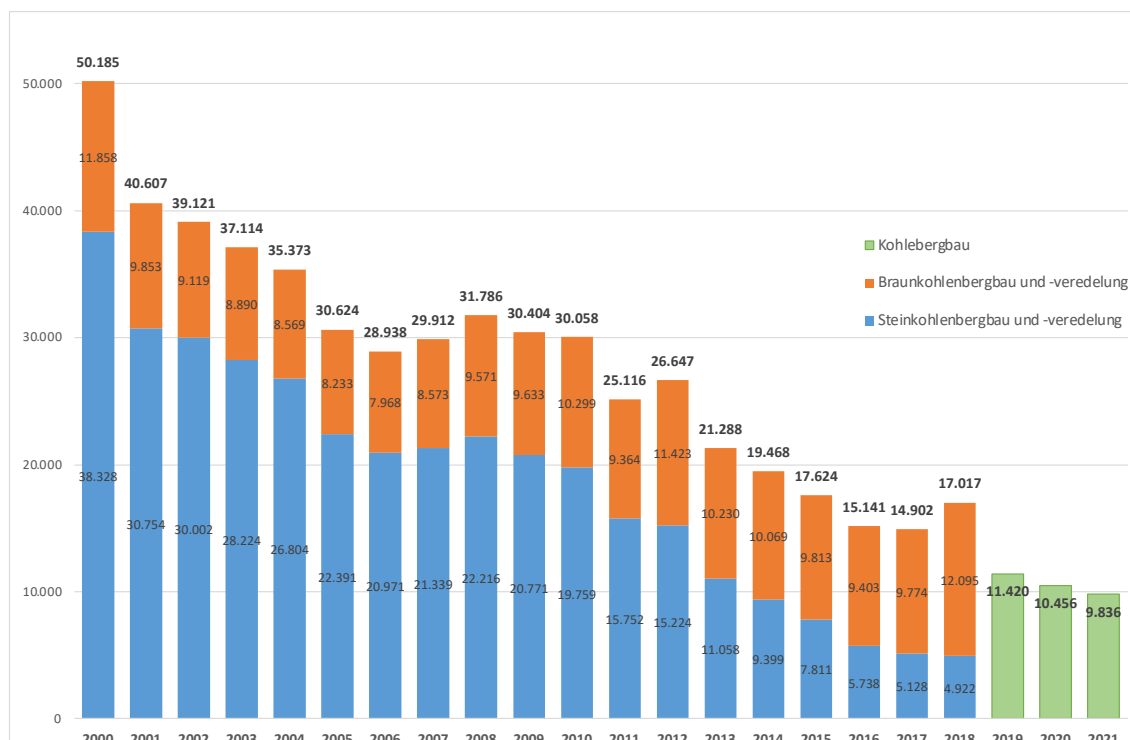
Die direkte Beschäftigung im Energiesektor wird vom Statistischen Bundesamt jährlich erfasst und im Rahmen der BMWK-Veröffentlichung Energiedaten ausgewiesen (BMWK 2022).

Tabelle 2: Beschäftigte im Energiesektor, Quelle: Statistisches Bundesamt (BMWK 2022)

| | Steinkohlenbergbau und -veredlung | Braunkohlenbergbau und -veredlung | Mineralölverarbeitung | Gewinnung von Erdöl und Erdgas | Elektrizitätsversorgung* | Gasversorgung* | Fernwärmeversorgung* |
|------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------|----------------------|
| 2000 | 63.153 | 19.538 | 21.559 | 5.193 | 137.197 | 37.747 | 16.180 |
| 2001 | 55.697 | 17.844 | 21.694 | 5.179 | 130.507 | 35.979 | 15.834 |
| 2002 | 51.168 | 15.552 | 20.573 | 5.066 | 131.801 | 34.882 | 15.717 |
| 2003 | 47.839 | 15.069 | 20.066 | 5.293 | 131.373 | 34.272 | 15.332 |
| 2004 | 44.928 | 14.363 | 18.858 | 5.136 | 126.746 | 33.404 | 15.358 |
| 2005 | 38.851 | 14.286 | 16.474 | 3.017 | 123.000 | 33.019 | 15.138 |
| 2006 | 37.616 | 14.292 | 16.259 | 2.891 | 122.150 | 32.371 | 15.238 |
| 2007 | 34.607 | 13.904 | 16.775 | 2.991 | 122.009 | 33.049 | 14.968 |
| 2008 | 31.937 | 13.759 | 18.966 | 2.879 | 121.195 | 33.502 | 14.372 |
| 2009 | 29.435 | 13.652 | 18.667 | 2.948 | 119.508 | 33.877 | 15.309 |
| 2010 | 26.344 | 13.731 | 16.835 | 3.034 | 121.161 | 33.967 | 15.284 |
| 2011 | 23.663 | 14.066 | 16.314 | 3.076 | 121.294 | 34.357 | 15.009 |
| 2012 | 18.538 | 13.910 | 16.298 | 3.019 | 118.459 | 34.547 | 14.660 |
| 2013 | 14.995 | 13.872 | 16.545 | 3.089 | 118.163 | 33.506 | 15.428 |
| 2014 | 12.795 | 13.708 | 16.860 | 3.055 | 117.823 | 33.627 | 15.131 |
| 2015 | 10.675 | 13.412 | 16.967 | 3.028 | 116.631 | 33.358 | 15.138 |
| 2016 | 7.794 | 12.871 | 16.779 | 2.843 | 119.107 | 34.286 | 15.513 |
| 2017 | 6.456 | 12.304 | 16.009 | 3.285 | 120.929 | 33.508 | 15.436 |
| 2018 | 4.917 | 12.084 | 16.448 | 3.177 | 126.800 | 33.956 | 15.451 |
| 2019 | 11.637 | | 18.034 | 3.033 | 128.153 | 34.061 | 15.379 |
| 2020 | 10.923 | | 18.228 | 2.641 | 130.907 | 35.099 | 15.573 |
| 2021 | 10.144 | | 17.675 | 1.861 | 131.629 | 36.016 | 16.084 |

*nach fachlichen Betriebsteilen

Die indirekte Beschäftigung für den Bereich des hier betrachteten klassischen Energiesektors kann nur grob und nur für ausgewählte Bereiche ermittelt werden, da die als Ausgangswerte für eine qualifizierte Schätzung notwendigen Nachfragegrößen nicht vorliegen. In O’Sullivan et al. 2019 wurde eine Methodik skizziert, wie die indirekte Beschäftigung hilfsweise modellmäßig mit einem Standardnachfrageimpuls ermittelt werden kann (vgl. O’Sullivan et al. 2019, Abschnitt 2.2). Ermittelt werden die indirekte Beschäftigung für den Steinkohlenbergbau und den Braunkohlenbergbau, seit dem Berichtsjahr 2019 ist nur noch eine Berechnung für den Kohlenbergbau (Summe aus Steinkohlen- und Braunkohlenbergbau) möglich, da die Ausgangswerte nicht mehr getrennt ausgewiesen werden. Es wird einerseits deutlich, dass die indirekte Beschäftigung in Relation zur direkten Beschäftigung ein erhebliches Gewicht hat.

Abbildung 4: Indirekte Beschäftigung im Braunkohlen- und Steinkohlenbergbau

Gleichzeitig wird auch bei der indirekten Beschäftigung die im Zeitablauf stark abnehmende Bedeutung des Kohlebergbaus in Deutschland sichtbar.

Aufgrund des Umstandes, dass auch der Energiesektor Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien betreibt, muss berücksichtigt werden, dass diese bei einer Zusammenführung der Beschäftigten des Energiesektors mit den Beschäftigten aus dem Betrieb und der Wartung von EE-Anlagen nicht doppelt gezählt werden. Hierfür wurde in O'Sullivan et al. 2019 eine Methodik entwickelt, welche es ermöglicht die Beschäftigung für den Betrieb sowie die Wartung von EE-Anlagen aus den Beschäftigten im Energiesektor herauszurechnen. Im Zentrum dieser Methode steht eine Abschätzung darüber, welcher Anteil der Anlagen von Unternehmen des Energiesektors betrieben werden. Die getroffenen Annahmen basieren auf Studien, die TrendResearch zu den Eigentümerstrukturen von EE-Anlagen durchgeführt hat. Insgesamt wurden bislang vier Studien für die Jahre 2010, 2012, 2016 und zuletzt 2019 durchgeführt (vgl. AEE 2020) deren Trends hier fortgeschrieben worden sind.

In Abbildung 5 werden die Annahmen zur Beteiligung des Energiesektors am Betrieb im Überblick dargestellt. Die entsprechende Beteiligungsquote liegt in den Bereichen Wasserkraft und Tiefengeothermie auf einem konstant hohen Niveau von über 80 % und in den Bereichen PV und Wind onshore auf einem konstant niedrigen Niveau von unter 20 %. Im Bereich Wind offshore ist ein Anstieg von 30 % im Jahr 2008 und auf 68 % im Jahr 2021 zu verzeichnen, während bei Biogasanlagen eine gegenläufige Entwicklung von 80 % im Jahr 2000 auf 11 % im Jahr 2021 zu beobachten ist. Dabei sei darauf hingewiesen, dass es sich hierbei lediglich um Anlagen des Stromsektors handelt. Hier wird davon ausgegangen, dass die Energiewirtschaft Biomassekleinanlagen, Solarthermie sowie oberflächennahe Geothermie und Umweltwärme keine nennenswerten Aktivitäten aufzuweisen hat.

Abbildung 5: Anteile der Energieversorgungsunternehmen am Betrieb von Erneuerbare-Energien-Anlagen im Stromsektor in Deutschland, 2000-2021 (eigene Berechnungen)

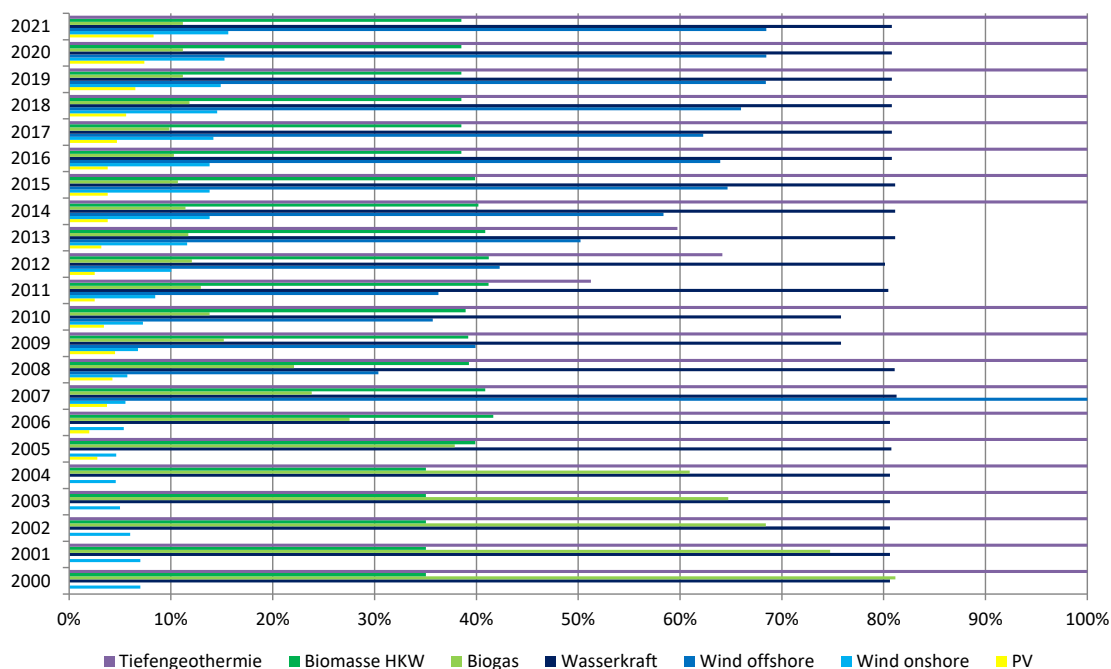
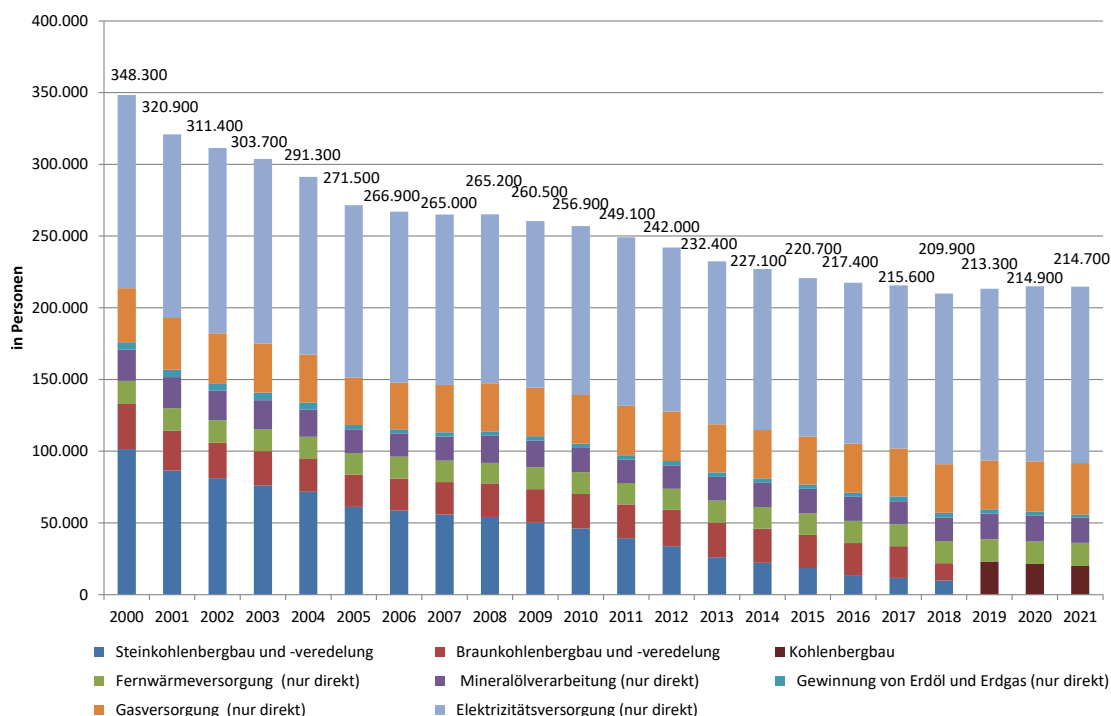


Abbildung 6: Beschäftigung im Energiesektor abzüglich des Betriebs sowie der Wartung von EE-Anlagen, gerundet (eigene Berechnungen)



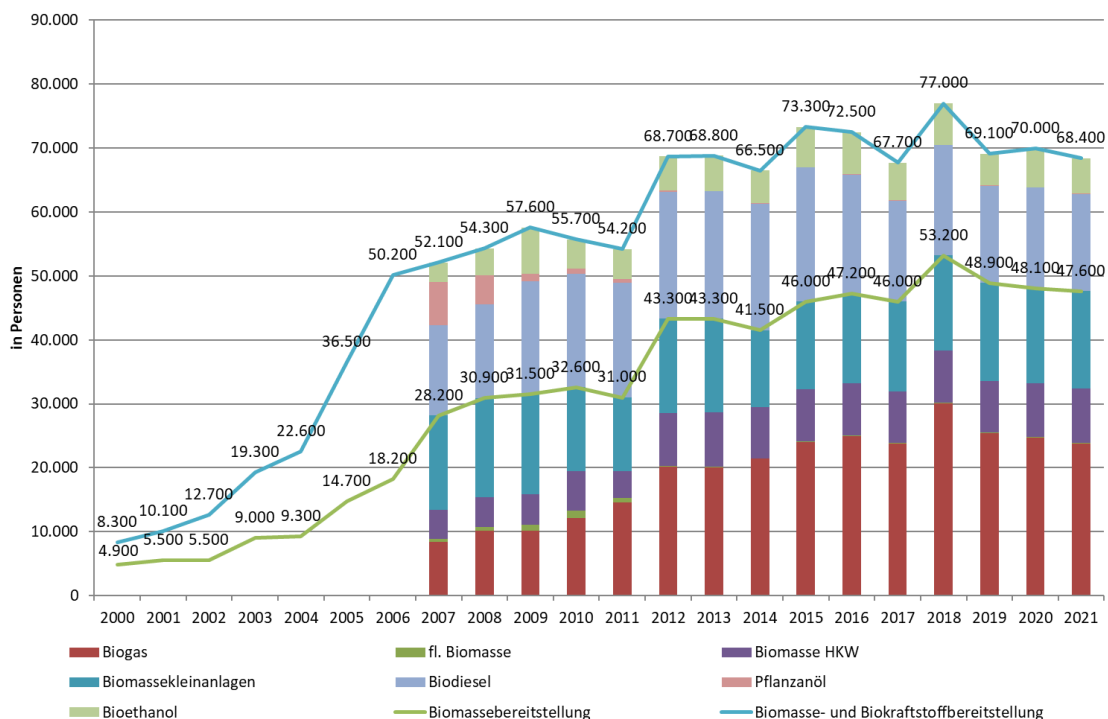
Insgesamt ist damit die Beschäftigung im Energiesektor ohne Einbeziehung der erneuerbaren Energien mit knapp 215.000 seit etwa fünf Jahren auf einem stabilen Niveau. Dabei gewinnen die Bereiche Elektrizitätsversorgung, Gasversorgung sowie

Fernwärmeversorgung an Relevanz, während Bereiche wie der Kohlebergbau sowie die Mineralölverarbeitung an Gewicht verlieren.

2.3 BESCHÄFTIGUNG DURCH DIE BEREITSTELLUNG VON BIOMASSE UND BIOKRAFTSTOFFEN

Die Abschätzung der Beschäftigten, welche auf die Bereitstellung von Biomasse und Biokraftstoffen zurückzuführen sind, basiert ebenfalls stark auf Vorarbeiten, welche in O’Sullivan et al. (2019) dargestellt worden sind. Die dort beschriebenen Datenquellen werden auch jährlich zur Anpassung und Erweiterung der Zeitreihe der Beschäftigung genutzt. Die beiden relevantesten Datenquellen sind dabei „Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland“ der AGEE-Stat, welche die zur Verfügung gestellte Primärenergie der verschiedenen Sektoren statistisch erfasst (AGEE-Stat 2022) sowie die Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung, welche die Abschätzung der Entwicklung der Arbeitsproduktivität der relevanten Wirtschaftssektoren ermöglicht (StaBuA 2022a). Weitere Faktoren, wie die Anbaufläche für Bioethanol sowie Biodiesel/Pflanzenöl (FNR 2022), die Pelletproduktion (DEPI 2022), die Pflanzenölproduktion in Deutschland (BLE 2022), die Biodieselproduktion - abgeleitet aus dem Absatz (AGEE-Stat 2022) und dem Außenhandel (AMI 2022) - sowie die Bioethanolproduktion (BDBe 2022), wurden ebenfalls in Ihrer Entwicklung berücksichtigt.

Abbildung 7: Beschäftigung durch die Bereitstellung von Biomasse und Biokraftstoffen, gerundet (eigene Berechnungen)



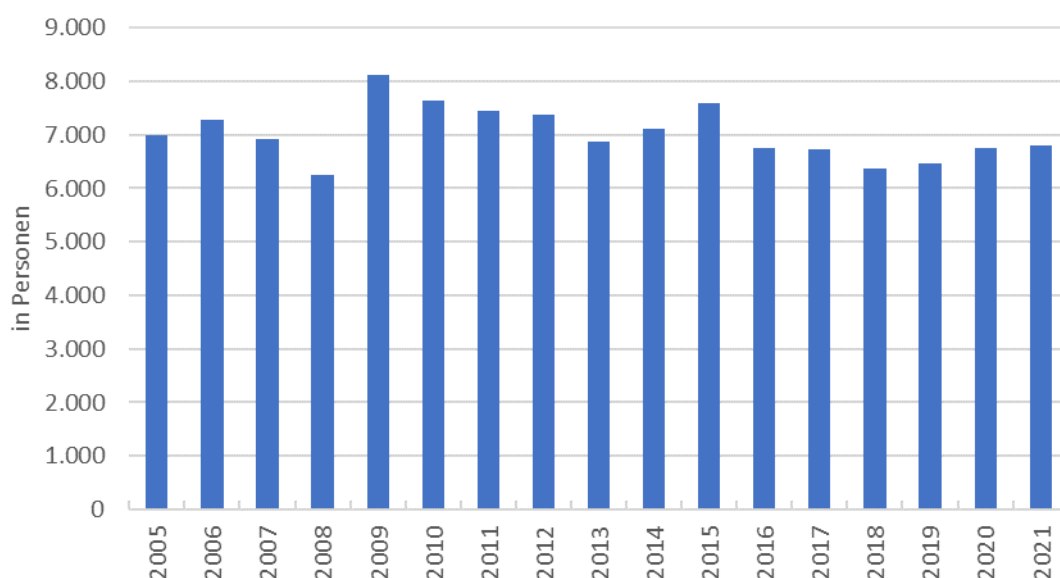
Die in Abbildung 7 dargestellte Zeitreihe der Beschäftigung durch die Bereitstellung von Biomasse und Biokraftstoffe macht deutlich, dass diese seit nunmehr 10 Jahren auf dem Niveau von knapp 70.000 Personen verharret. Etwa 70% der Beschäftigung entfällt dabei

auf den Bereich der Biomassebereitstellung und 30% auf die Bereitstellung von Biokraftstoffen.

2.4 BESCHÄFTIGUNG DURCH HANDELSLEISTUNGEN FÜR KRAFTSTOFFE (TANKSTELLEN)

Die Ermittlung der Beschäftigung, die mit dem Verkauf von Kraftstoffen an Tankstellen verbunden ist, steht vor der Herausforderung, dass Tankstellen ihre Umsätze wie sie in der Statistik erfasst sind, nicht nur aus dem Verkauf von Kraftstoffen generieren. Über den Anteil gibt es keine gesicherten bzw. jährlich aktualisierte Daten. Zuletzt erfolgte eine weitere Entkopplung der in der Statistik erfassten Umsätze (WZ 47.3) vom erfassten Absatz von Kraftstoffen (Absatzmenge multipliziert mit dem Durchschnittspreis). Daher wurde die Methodik zur Abschätzung gegenüber der letzten Veröffentlichung (O'Sullivan et al. 2019): angepasst. Die Tankstellenbetreiber erhalten eine Provision pro verkaufte physische Einheit. Es wird angenommen, dass jährlich 2 % der Verkaufserlöse den Handelsleistungen zum Endkunden – den Tankstellenbetreibern – zugeordnet ist. Die Absatzzahlen für Diesel- und Ottokraftstoff werden mit dem jährlichen Durchschnittspreis bewertet. Nach der Ermittlung des anteiligen Umsatzes für die Handelsleistungen wird die Arbeitsproduktivität der Branche unterstellt, um die Beschäftigung abzuschätzen. Aufgrund unplausibler Angaben zur Beschäftigung wurde für die letzten beiden Jahre die Arbeitsproduktivität aus dem Jahr 2019 verwendet. Seit 2005 hat sich die Beschäftigung durch Handelsleistungen für Kraftstoffe nicht stark verändert und bewegt sich um 7 000 Personen.

Abbildung 8: Beschäftigung durch Handelsleistungen für Kraftstoffe

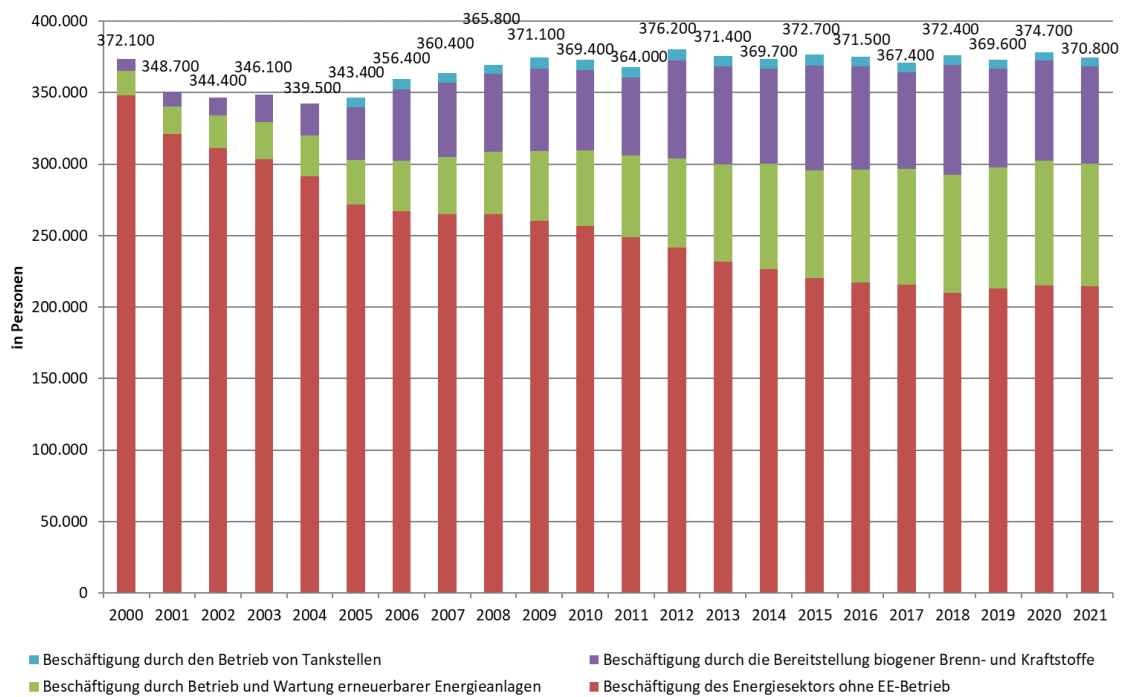


2.5 BESCHÄFTIGUNG IN DER ENERGIEWIRTSCHAFT

Wenn nun all die verschiedenen Bereiche zur Gesamtbeschäftigung der Energiewirtschaft zusammengeführt werden, so wird deutlich, dass die Beschäftigung dieses Bereichs seit 2000 vergleichsweise stabil bei etwa 370.000 Personen liegt (vgl. Abbildung

9). Nachdem die erneuerbaren Energien im Bereich des Betriebs sowie der Wartung aber auch der Bereitstellung von Biomasse und Biokraftstoffen insbesondere zwischen 2005 und 2017 einen deutlichen Anstieg in der Beschäftigung zu verzeichnen hatten, bleibt das Verhältnis zwischen den verschiedenen dargestellten Bereichen aktuell recht konstant. Bei dieser Darstellung sei noch einmal darauf hingewiesen, dass in Teilen des Energiesektors (diese Einschränkung betrifft Teile des fossilen Bereichs, der damit im Vergleich zum erneuerbaren Bereich unterrepräsentiert ist) keine Ausweisung der indirekt Beschäftigten möglich war, so dass ein direkter Vergleich der verschiedenen Segmente nicht unmittelbar erfolgen kann, da dies zu unzulässigen Schlussfolgerungen führen könnte.

Abbildung 9: Beschäftigung in der Energiewirtschaft, gerundet (eigene Berechnungen)



3 INVESTITIONEN IN DER ENERGIEWIRTSCHAFT

Die Investitionen der Energiewirtschaft sind für das Monitoring der Energiewende von besonderer Bedeutung, da die Investitionstätigkeit zeitnah abbildet, in welche Richtung sich das Energiesystem entwickelt. Während die Investitionen von verschiedenen Entitäten in unterschiedlicher Granularität und Abgrenzungen erhoben werden, versucht dieses Projekt einen möglichst technologiescharfen Überblick über die Investitionstätigkeit der Akteure der Energiewirtschaft zu geben, um den Bedarf an Informationen für das Monitoring der Energiewende bestmöglich bereitzustellen.

Die methodische Herangehensweise baut dabei auf externen Datenquellen auf. Eine eigene Primärdatenerhebung ist im Rahmen dieses Projektes nicht vorgenommen worden. Insgesamt werden auch in diesem Abschnitt wesentliche Quellen und Herangehensweisen aus O’Sullivan et al. (2018) übernommen. Die Änderungen der Datenquellen oder Erweiterungen werden in den kommenden Abschnitten neben den Ergebnissen detailliert beschrieben werden.

Die getätigten Investitionen werden dabei nachfolgenden Bereichen in jeweils separaten Kapiteln dargestellt werden:

- 3.1 Investitionen in Anlagen zur Bereitstellung von Brenn- und Kraftstoffen
- 3.2 Investitionen in Anlagen zur Bereitstellung von Strom und Wärme
- 3.3 Investitionen in Speicher
- 3.4 Investitionen in Infrastrukturen zur Verteilung von Endenergie

Kapitel 3.5 wird anschließend die verschiedenen Investitionssegmente Zusammenfassen und darstellen. Ergänzend wird in Kapitel 3.6 dann noch ein Überblick über die öffentlich bereitgestellten Mittel zur Forschung und Entwicklung des Bundes sowie deren Entwicklung gegeben werden.

3.1 INVESTITIONEN IN ANLAGEN ZUR BEREITSTELLUNG VON BRENN- UND KRAFTSTOFFEN

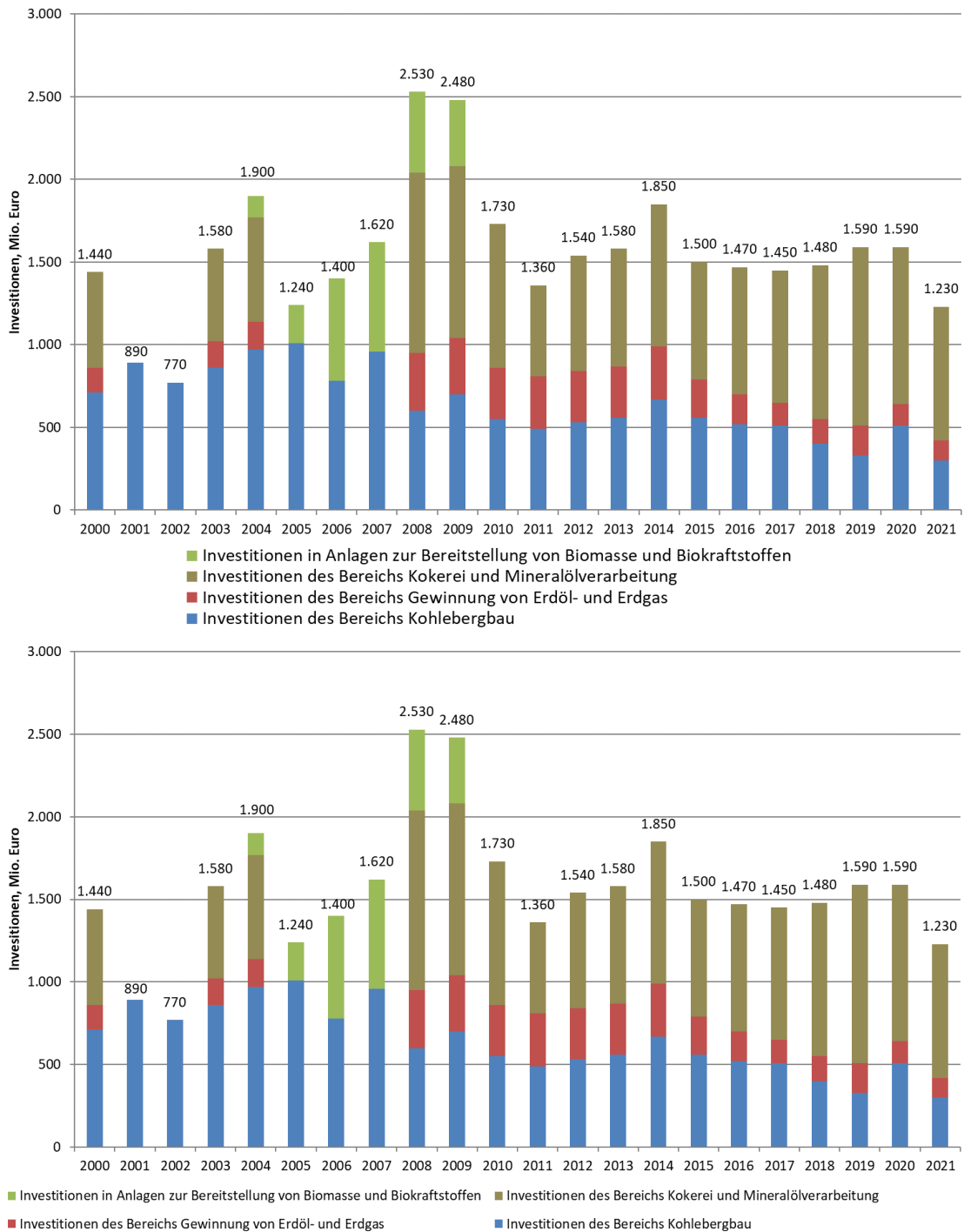
Die Investitionen in Anlagen zur Bereitstellung von Brenn- und Kraftstoffen lassen sich aus der amtlichen Investitionserhebung für Unternehmen und Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden (Fachserie 4, Reihe 4.2.1) ableiten. Die Erhebung liefert jährliche Daten für Einheiten mit mehr als 20 tätigen Personen³, aus Sicht der Energiewirtschaft sind folgende Wirtschaftszweige von Bedeutung

- Kohlenbergbau (WZ 05)
- Gewinnung von Erdöl und Erdgas (WZ 06)
- Kokerei und Erdölgewinnung (WZ 19).

³ Diese in der amtlichen Statistik häufig vorhandene Abschneidegrenze dürfte in diesem Segment eine untergeordnete Rolle spielen, da hier größere Einheiten dominieren.

Hier werden Ergebnisse für Betriebe ausgewertet, da diese seltener fehlende Daten auf Grund von Geheimhaltungsgründen aufweisen als Ergebnisse für Unternehmen (für Details zur Erhebung vgl. O’Sullivan et al. 2019, Abschnitt 3.1).

Abbildung 10: Investitionen in Anlagen zur Bereitstellung von Brenn- und Kraftstoffen, in Millionen Euro im Zeitraum 2000 – 2021 (eigene Darstellung)



Die Investitionen in Anlagen zur Bereitstellung von Brenn- und Kraftstoffen lassen sich nur für die fossilen Energieträger kontinuierlich ausweisen. Diese weisen bis 2020 eine

recht stabile Entwicklung aus, dürften aber wie 2021 erkennbar tendenziell eher abnehmen.

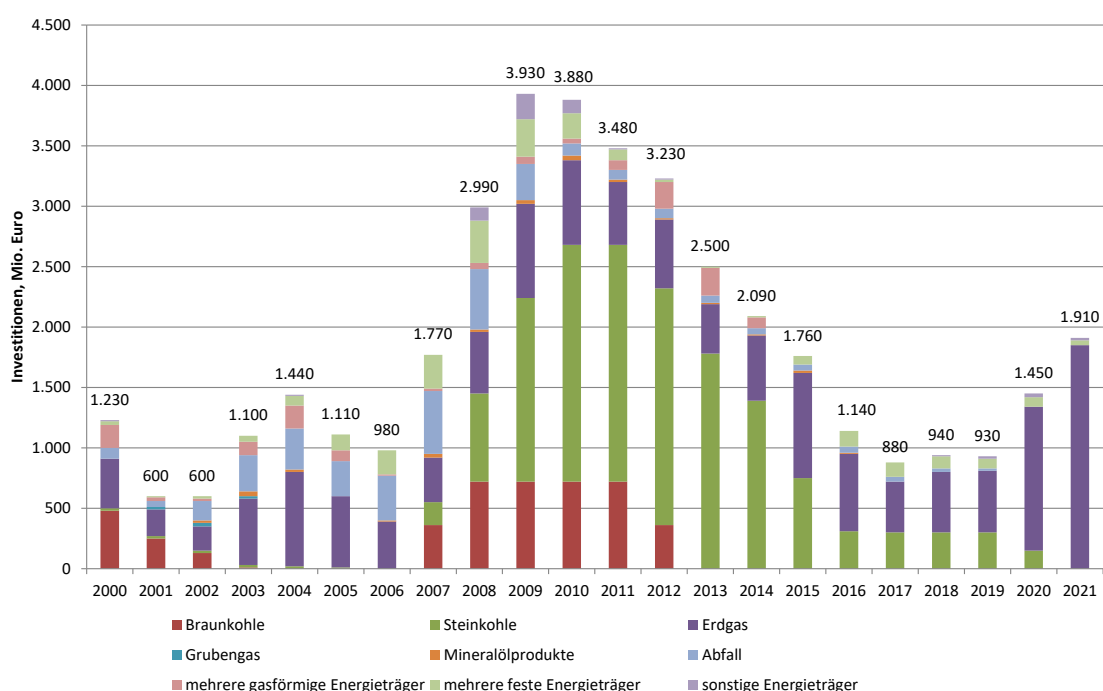
3.2 INVESTITIONEN IN ANLAGEN ZUR BEREITSTELLUNG VON STROM UND WÄRME

3.2.1 INVESTITIONEN IN KONVENTIONELLE ANLAGEN ZUR STROMBEREITSTELLUNG

Die Investitionen in konventionelle Anlagen zur Strombereitstellung werden auf Basis der Kraftwerksdatenbank der Bundesnetzagentur abgeschätzt (BNetzA 2022). Während in O’Sullivan et al. 2019 die Daten der BNetzA noch auf einer eigenen Monitoringerhebung basierten, beruhen die Daten der Kraftwerksdatenbank mittlerweile auf den Einträgen des Marktstammdatenregisters (MaStR 2022). In diesem Register sind die Stammdaten aller Stromerzeugungsanlagen zu registrieren, wodurch hier nun von einer weitestgehend vollständigen Marktabdeckung der Daten ausgegangen werden kann.

Ausgehend von den Informationen des Zubaus an Kraftwerksleistungen sowie der geplanten Kraftwerksleistungen wurden die Investitionskosten der einzelnen Kraftwerke per Desktop-Research ermittelt. Die Kosten der Kraftwerke, welche nicht öffentlich zugänglich waren, wurden hingegen mit einem Mittelwert der spezifischen Kosten je kW abgeschätzt. Darüber hinaus wurden die Investitionen über die mittlere Bauzeit der Anlagen verteilt (siehe hierzu auch O’Sullivan et al. 2019). Begründet wird dies damit, dass daraus ein realistischeres Bild der Investitionstätigkeiten erfolgt, welche auf für die Ableitung der Beschäftigung genutzt wird.

Abbildung 11: Investitionen in konventionelle Kraftwerke in Deutschland, Mio. Euro (eigene Berechnung)



Die Entwicklung der Investitionen, welche aus dieser Herangehensweise abgeleitet werden kann, ist in Abbildung 11 dargestellt. Was aus den Zahlen deutlich wird, sind die verschiedenen Investitionsschübe in unterschiedliche Kraftwerksarten. Zwischen 2006 und 2008 wurde mit dem Bau einer Vielzahl an Kohlekraftwerken begonnen, wohingegen in den vergangenen Jahren sehr viele Investitionen in Gaskraftwerken getätigt wurden. 2021 lagen die Investition in konventionelle Kraftwerksleistung bei insgesamt 1,9 Mrd. Euro, wobei der Großteil in erdgasbefeuerte Anlagen floss. Eine ganze Reihe dieser Anlagen sollen dabei Kohleblöcke in der Fernwärmeversorgung ersetzen. Wobei die Inbetriebnahme vieler dieser Anlagen für 2022 geplant war.

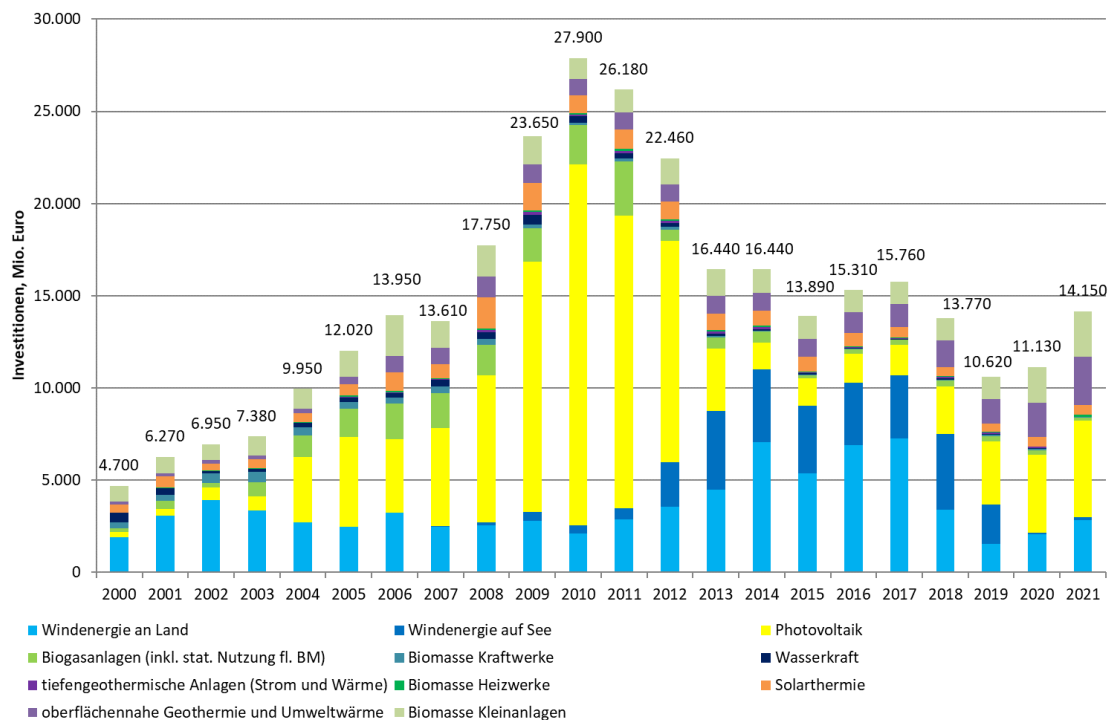
3.2.2 INVESTITIONEN IN KONVENTIONELLE ENERGIE-ERZEUGUNGSANLAGEN ZUR FERNWÄRMEBEREITSTELLUNG

Die Investitionen in konventionelle Energieerzeugungsanlagen zur Fernwärmebereitstellung sind in wesentlichen Teilen bereits in den Investitionen in konventionelle Kraftwerke enthalten, da die Kraftwerke, welche mit Kraft-Wärme-Kopplung betrieben werden, hier mit ausgewiesen werden. Da die Datenlage für den Wärmesektor grundsätzlich sehr viel schlechter ist als der für den Stromsektor, konnte leider keine Möglichkeit gefunden werden, die Datenlücke zu Investitionen in reine Wärmeerzeugungseinheiten zu schließen. Gleichzeitig wird davon ausgegangen, dass solche Investitionen auf Grund der deutlich geringeren Effizienz der Brennstoffnutzung kaum getätigt werden und sich lediglich im Rahmen von Spitzenlastkesseln anbieten.

3.2.3 INVESTITIONEN IN ANLAGEN ZUR NUTZUNG ERNEUERBARER ENERGIEN

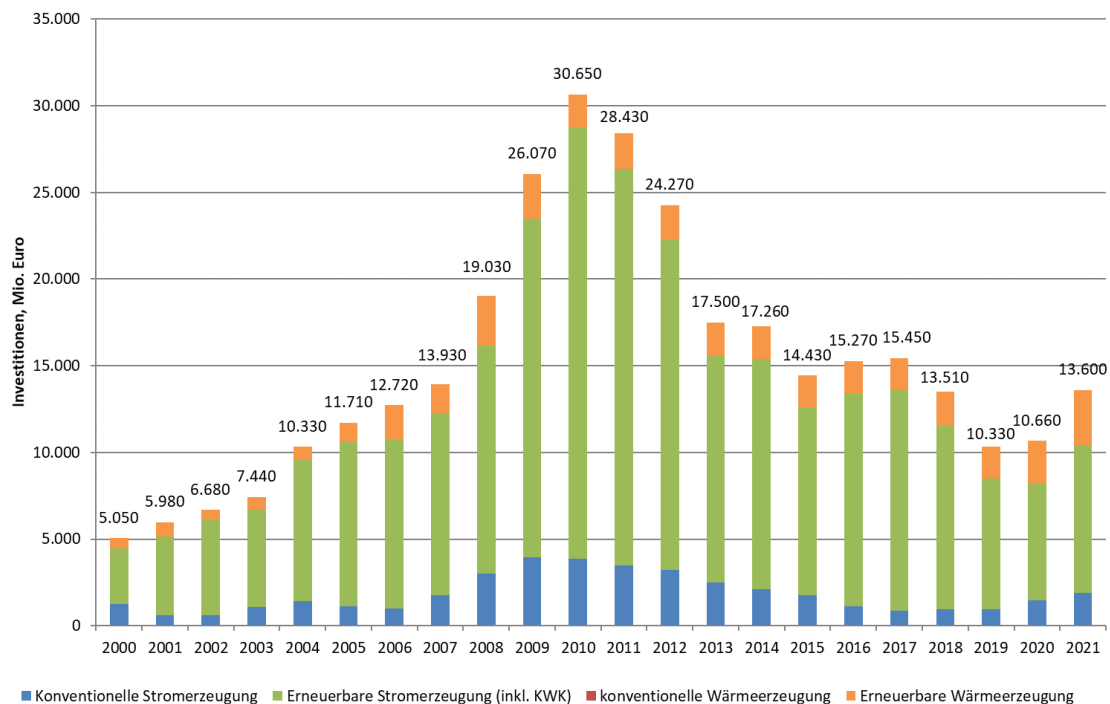
Die Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien werden von der Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energien Statistik (AGEE-Stat) für Deutschland abgeleitet und veröffentlicht (vgl. Abbildung 12). Im Jahr 2021 wurden demnach 14,15 Mrd. Euro in EE-Anlagen investiert worden. Der größte Anteil der Investitionen floss dabei in den Bereich der Photovoltaik (37%) gefolgt von der Windenergie an Land (20%). Ansonsten wurde vor allem in Technologien der Wärmebereitstellung investiert, die insgesamt 21 % der Investitionen ausgemacht haben, angeführt von der oberflächennahen Geothermie (18%) und der Biomasse Kleinanlagen (17%). In Summe sind in den vergangenen 22 Jahren knapp 320 Mrd. Euro in den Ausbau erneuerbarer Energien investiert worden. Davon sind etwa 35% in PV-Anlagen investiert worden und 34 % in die Windkraft (24% an Land und 9% auf See). Die Investitionen in die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien lagen mit 252 Mrd. Euro (79%) deutlich über den Investitionen in reine Wärmeerzeugungseinheiten 67 Mrd. Euro (21%).

Abbildung 12: Investitionen in die Errichtung von Erneuerbare-Energien-Anlagen in Deutschland (AGEE-Stat 2022)



3.2.4 ZUSAMMENFASSUNG - INVESTITIONEN IN ANLAGEN ZUR BEREITSTELLUNG VON STROM UND WÄRME

Die Investitionen in Anlagen zur Bereitstellung von Strom und Wärme, welche im Rahmen dieser Arbeiten identifiziert werden konnten, beliefen sich in den vergangenen 22 Jahren auf rund 330 Mrd. Euro (vgl. Abbildung 13). Auch wenn die Investitionen in konventionell gefeuerte Heizkessel in der Zusammenstellung fehlen, wird dennoch deutlich, dass die Investitionen in Stromerzeugungsanlagen die Investitionstätigkeit der Energiewirtschaft dominieren. Grund hierfür ist dabei nicht unbedingt, dass im Wärmesektor so viel weniger Investitionen erforderlich sind, sondern vielmehr, dass der Großteil der Investitionen hier bislang in Heizkessel bei Privatpersonen geflossen ist. Da die hier gewählte Abgrenzung lediglich diejenigen ökonomischen Indikatoren ausweist, welche den Umwandlungsbereich betreffen und nicht die reine Bereitstellung von Wärme durch Kleinanlagen. Aus diesem Grund sind die Daten der erneuerbaren Wärmeerzeugung in Abbildung 13 auch nicht mit den Daten der Abbildung 12 vergleichbar, da die Investitionen in Biomassekleinanlagen nicht enthalten sind.

Abbildung 13: Investitionen in Anlagen zur Bereitstellung von Strom und Wärme, Mio. Euro (eigene Berechnung)

3.3 INVESTITIONEN IN SPEICHER

Die Daten zu den Investitionen in Speicher werden aus einer Vielzahl unterschiedlicher Quellen zusammengetragen. Eine einheitliche Datenerfassung ist selbst für den Bereich der Stromspeicher aktuell nur schwer möglich. Die Daten zu den Pumpspeicherkraftwerken basieren auf den Daten der Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur und sind auf mit derselben Methodik wie bei den konventionellen Kraftwerken ermittelt worden (vgl. Kapitel 3.2.1).

Die Daten der Batteriespeicher basiert anders als in O'Sullivan et al. 2019 auf einer Veröffentlichung von Figgner et al. 2022. Hintergrund der Umstellung der Datenbasis ist die neue Verfügbarkeit der Daten aus dem Marktstammdatenregister (MaStR). Figgner et al. haben eine detaillierte Analyse und Bereinigung dieser Daten vorgenommen, die hier direkt verwendet werden konnte. Das Investitionsvolumen wird dabei aus dem technischen Zubau von Batteriespeichern abgeleitet, indem die spezifischen Kosten der differenziert nach Batteriegröße angenommen worden sind (Figgner et al. 2022; Figgner et al. 2021).

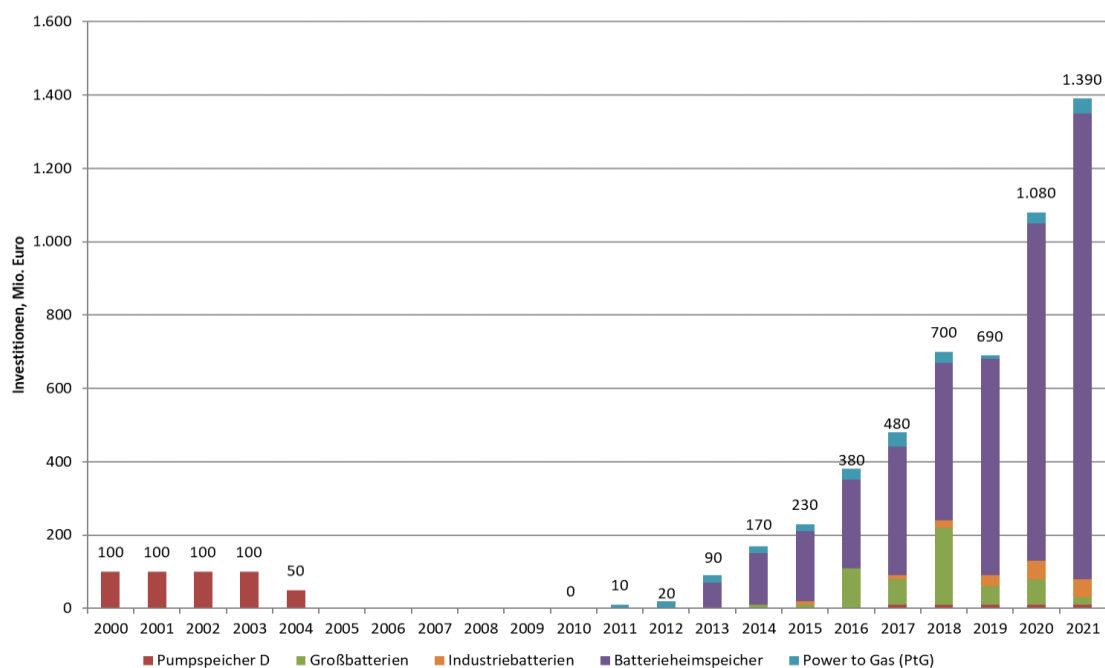
Power-to-Gas-Anlagen (PTG) wandeln elektrische Energie in chemische Bindungsenergie (z.B. Methan). Das bedeutet, dass die so gespeicherte Energie entweder zu einem späteren Zeitpunkt in Gaskraftwerken wieder in Strom und Wärme umgewandelt werden kann, dass Verbrennungsfahrzeuge mit erneuerbarer Energie betrieben werden können oder dass der erzeugte Energieträger direkt stofflich genutzt werden kann. In einem erneuerbaren Energiesystem überwiegt jedoch der große Vorteil der Speicherung elektrischer Energie zum Ausgleich von Erzeugungsschwankungen, weshalb PTG-Anlagen an dieser Stelle als Speicheranlagen eingestuft werden. Die Investitionen in Power-to-Gas-

Anlagen (PTG) basieren auf eigenen Recherchen und der Auswertung von DENA (2013), der Förderdatenbank EnArgus sowie einer großen Anzahl an Pressemitteilungen zu den entsprechenden Power-to-Gas Projekten.

Insgesamt wurde bei der Ableitung der Investitionen darauf geachtet, dass möglichst nur die privatwirtschaftlichen Investitionen berücksichtigt werden. Demonstrationsanlagen sowie Forschungsanlagen, welche durch Fördermittel der öffentlichen Hand unterstützt wurden, werden hier bewusst außenvor gelassen, damit keine Doppelzählungen mit den in Kapitel 3.6 ausgewiesenen Mitteln für Forschung und Entwicklung auftreten.

Die Entwicklung der Investitionen in Stromspeicher sind in Abbildung 14 in einer hohen technologischen Differenzierung zusammenfassend dargestellt. Es wird dabei deutlich, dass der Großteil der Investitionen in Stromspeicher aktuell im Bereich der Batterieheimspeicher vorgenommen wird. Dieses Segment hat in den vergangenen Jahren nochmal deutlich an Dynamik gewonnen, so dass über 90% der Investitionen 2021 auf dieses Segment entfielen.

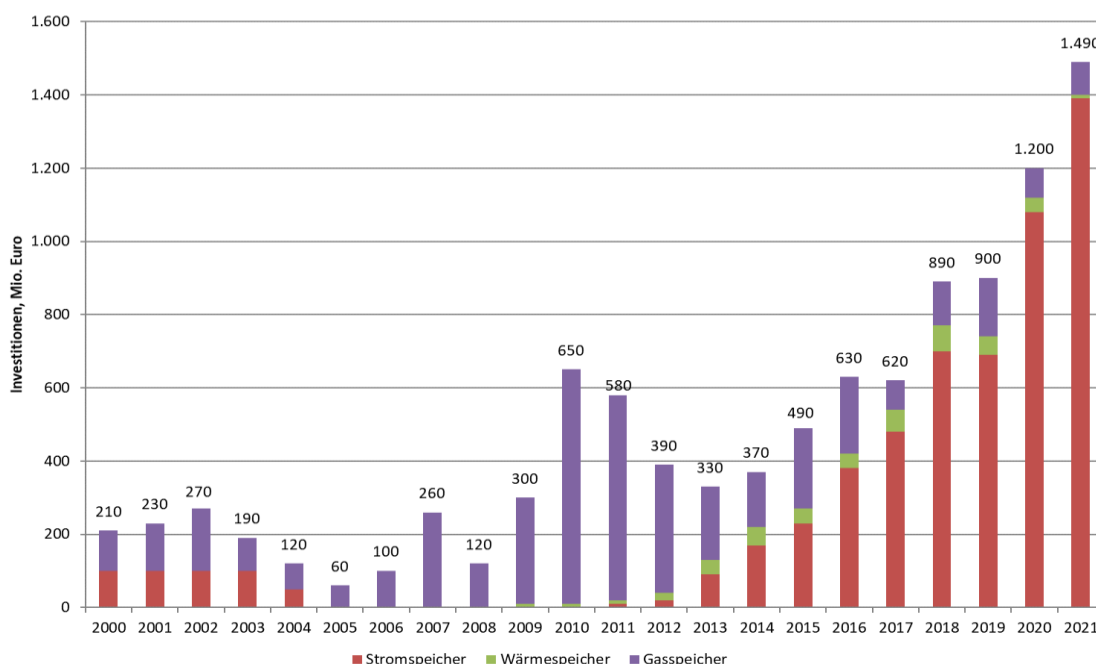
Abbildung 14: Privatwirtschaftliche Investitionen in Stromspeicher, Mio. Euro (eigene Berechnung)



Neben den Investitionen in Stromspeicher gilt es auch noch die Investitionen in Wärmespeicher und Gasspeicher zu berücksichtigen. Im Bereich der Wärmespeicher gibt es ähnlich wie bei anderen Investitionen im Wärmesektor keine umfassende Erhebung der Ausbautwicklung. Daher wird in diesem Projekt auf die Informationen zu Investitionen zurückgegriffen, die durch die Förderung des Marktanreizprogramms (KfW 2022) sowie des KWKGs (BAFA 2022) ausgelöst wurden. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Anträge zur Förderung über das KWKG nach erfolgter Investition gestellt werden, wodurch es zu einer zeitlichen Verzögerung der Erfassung kommen kann. Daher sind die Zahlen für 2021 hier noch nicht vollständig erfasst. Die Investitionen in Gasspeicher basieren auf der Investitionserhebung des BDEW (BDEW 2022).

In Summe nehmen die Investitionen in Energiespeicher in Deutschland im Trend deutlich zu (vgl. Abbildung 15). In Summe wurden 2021 demnach etwa 1,5 Mrd. Euro in den Ausbau von Energiespeichern investiert. Diese Entwicklung ist jedoch deutlich durch die Investitionen in Stromspeicher geprägt. Die Investitionen in Wärmespeicher ist in ihrer Trendentwicklung durch die verzögerte Meldung der Anlagen bei den Förderprogrammen noch nicht klar ersichtlich. Bis 2018 konnte jedoch ein klarer Aufwärtstrend beobachtet werden. Im Bereich der Gasspeicher scheinen die Investitionen jedoch tendenziell eher zu sinken.

Abbildung 15: Investitionen in Speicher der Energiewirtschaft in Deutschland, Mio. Euro (eigene Darstellung)



3.4 INVESTITIONEN IN INFRASTRUKTUREN ZUR VERTEILUNG VON ENDENERGIE

Die Investitionen in Infrastrukturen zur Verteilung von Endenergie umfassen insbesondere den Bereich der Netzinvestitionen für die Bereiche Strom, Wärme und Gas. Die Investitionen zum Strom- und Gasnetzausbau basieren dabei auf dem Monitoringbericht der Bundesnetzagentur (BNetzA 2022). Die Investitionen im Bereich der Wärmenetze werden nicht von diesem Monitoring erfasst und auch sonst nirgendwo umfassend erhoben. Daher basieren die hier ausgewiesenen Daten auf den Investitionsdaten, welche wie bei den Wärmespeichern im Rahmen des Marktanzreizprogramms (KfW 2022) sowie des KWKG (BAFA 2022) erfasst werden konnten.

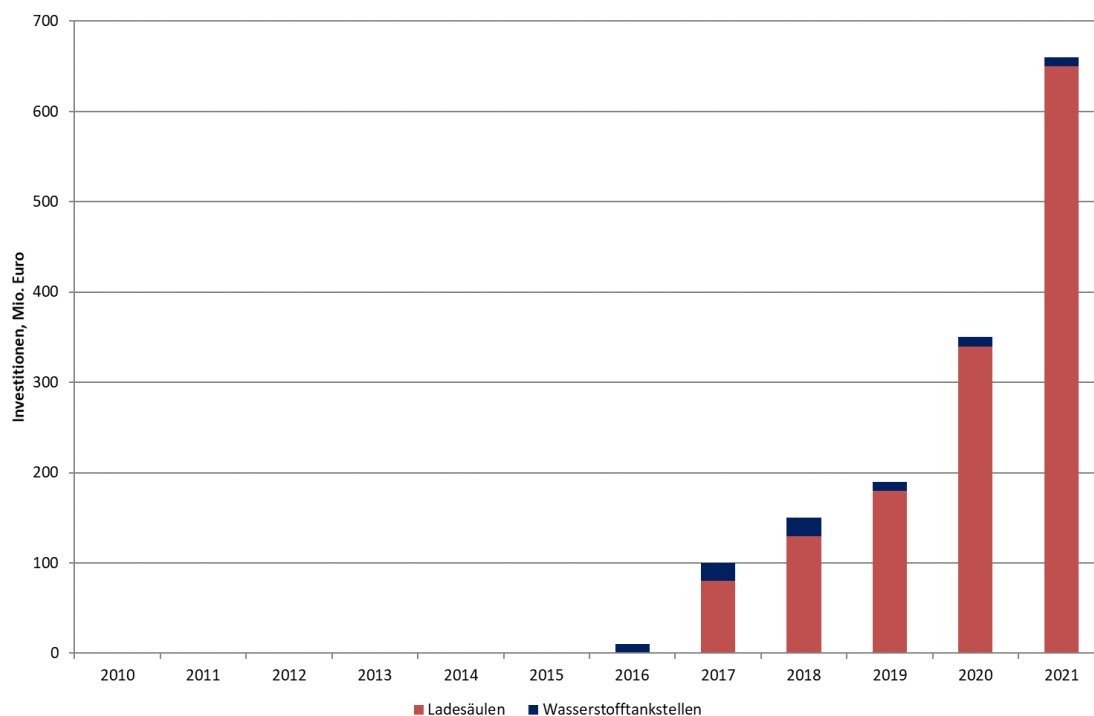
Da das Thema der Digitalisierung für die Energiewende immer mehr an Relevanz gewinnt, wurden im Rahmen dieses Projektes erstmals auch Investitionen zur Digitalisierung der Mess- und Zählwesens mit aufgenommen. Diese Investitionen werden ebenfalls im Rahmen des Monitoringberichts von der BNetzA erfasst (BNetzA 2022).

Weitere Bereiche wie die Ölpipelines sowie Tankstellen, welche theoretisch auch noch in die Investitionskategorie der Infrastrukturen zur Verteilung von Endenergie fallen würden, konnten bislang nicht erfasst werden (vgl. O’Sullivan et al. 2019).

Allerdings wurden im Rahmen des aktuellen Projektes die aktuell relevantesten Entwicklungen im Rahmen der Energiewende im Verkehr mit aufgegriffen, so dass nun auch Investitionen in Ladesäulen sowie Wasserstoff-Tankstellen erfasst sind. Für Ladesäulen wurde die Statistik der Ladeinfrastruktur in Zahlen (LiS) BNetzA als Basis zur Bestimmung der Ausbauraten herangezogen. Zur Berechnung der Investitionen werden diese Ausbauraten untergliedert nach Leistungsklasse der Ladesäule mit den spezifischen Investitionskosten multipliziert. Hierzu wird auf Literaturwerte (Deloitte 2018) zurückgegriffen. Für die Ausbauraten der Wasserstofftankstellen in Deutschland wurde die Datenbank der H2 Mobility Deutschland GmbH & Co. KG (www.h2.live) genutzt. Zum Zeitpunkt des Redaktionsschlusses wurden demnach 93 H2-Tankstellen errichtet. Die Anzahl der jährlich neu installierten Tankstellen wurde mit literaturbasierten spezifischen Investitionskosten zwischen 1,5 und 1,0 Millionen Euro (linear interpoliert von 2003-2022) multipliziert.

Die gerundeten Investitionen in die Ladesäulen und in Wasserstofftankstellen sind in Abbildung 16 dargestellt. Die Zeitreihe der Investitionen in Ladesäuleninfrastruktur beginnt aufgrund der Datenlage erst ab 2017. Es wird deutlich, dass der bisherige Ausbau an Wasserstofftankstellen eine deutlich geringere Investitionsnachfrage hervorgerufen hat. Zudem unterliegt der Ausbau der Ladesäuleninfrastruktur einer hohen Dynamik, die in den nächsten Jahren aufgrund der stetig steigenden Zahl an Elektrofahrzeugen weiter zunehmen wird.

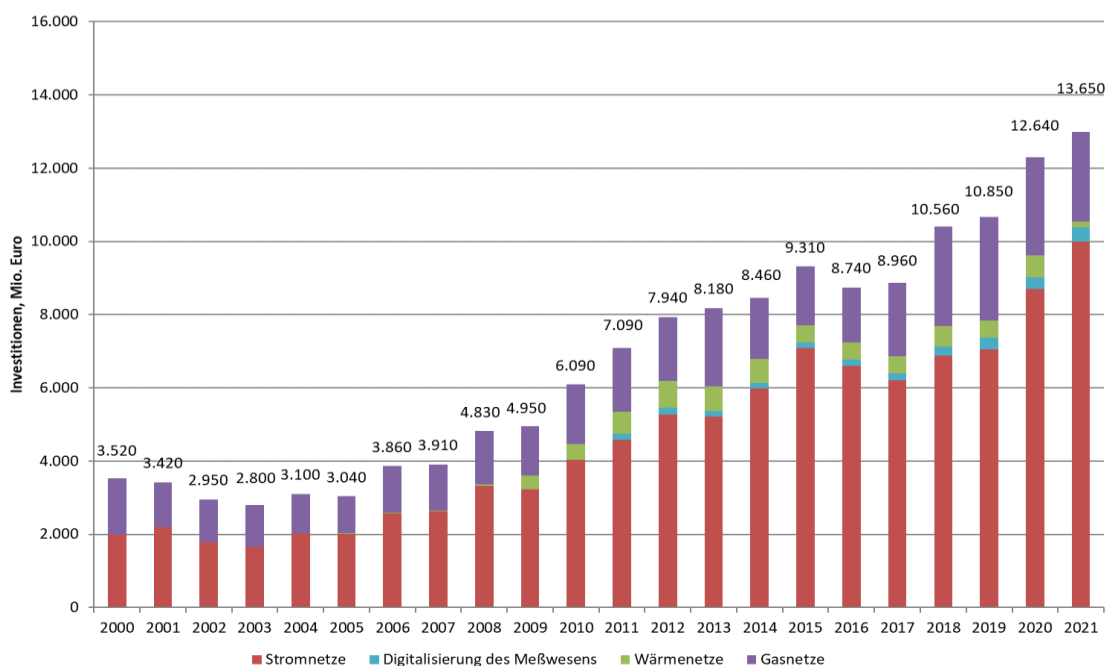
Abbildung 16: Investitionen in Ladesäulen und Wasserstofftankstellen



In einem weiteren Schritt wird aus den Investitionen die im Inland wirksame Nachfrage berechnet. Dazu wird der Saldo aus Im- und Exporten gebildet. Für den Außenhandel mit Ladesäulenteknologie wurde näherungsweise die Zolltarifnummer 8504 (Elektrische Transformatoren) verwendet. Diese Berechnung zeigt eine ausgeglichene Handelsbilanz, weshalb die Investitionen gleich der im Inland wirksamen Nachfrage gesetzt wurden. Für die Wasserstofftankstellen wurden die Investitionskosten literaturbasiert in ihre Einzelkomponenten zerlegt und für die Einzelkomponenten eine Außenhandelsbilanz erstellt. Die Ergebnisse zeigen, dass in etwa 10 % mehr an Komponenten exportiert als importiert wurde. Dies wurde bei der Berechnung der im Inland wirksamen Nachfrage berücksichtigt. Die Nachfrage ist Inputgröße für die Abschätzung der Beschäftigung in diesem Bereich (vgl. Kapitel 4.2.4).

In Summe lagen die Investitionen in Infrastrukturen zur Verteilung von Endenergie im Jahr 2021 bei rund 13,7 Mrd. Euro (vgl. Abbildung 17). Insgesamt ist hier ein deutlicher Aufwärtstrend zu verzeichnen, der mit den Anforderungen des Infrastrukturausbaus im Rahmen der Energiewende erklärt werden kann. Der Großteil der Investitionen, welche in diesem Segment erfasst werden konnte, findet dabei im Bereich der Stromnetze statt. Hier wurden 2021 rund 10 Mrd. Euro investiert. Eine besonders große Dynamik ist darüber hinaus in den neuen Themenbereichen der Digitalisierung sowie des Infrastrukturausbaus für die Verkehrswende zu beobachten.

Abbildung 17: Investitionen der Energiewirtschaft in die Infrastruktur zur Verteilung von Endenergie, Mio. Euro (eigene Darstellung)

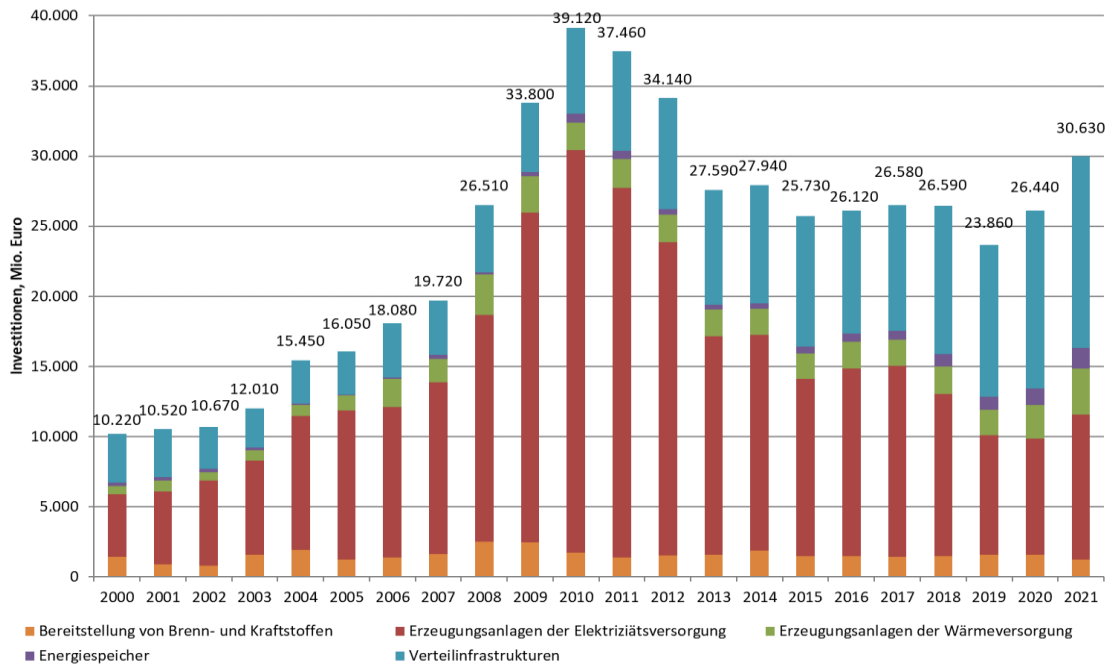


3.5 ZUSAMMENFASSUNG – INVESTITIONEN DER ENERGIEWIRTSCHAFT

In Summe wurden in den vergangenen 22 Jahren in Deutschland rund 520 Mrd. Euro in den Ausbau von Kapazitäten zur Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Endenergie investiert (vgl. Abbildung 18). Während die Investitionen in Erzeugungsanlagen der Elektrizitätsversorgung in der Vergangenheit den größten Teil der Investitionen

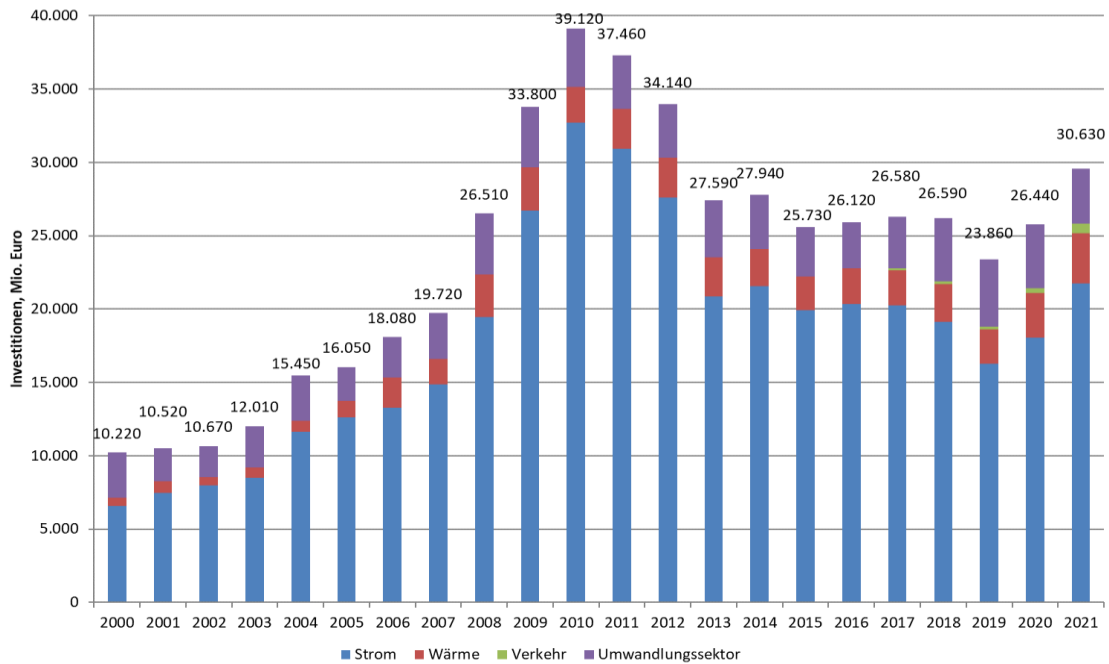
ausgemacht haben, lagen die Investitionen in die Verteilinfrastruktur in den letzten drei Jahren deutlich höher. Dies ist zum einen mit den stark gestiegenen Anforderungen an die Verteilinfrastruktur im Rahmen der Energiewende zu erklären. Zum anderen aber auch mit dem verringertem Investitionsniveau in der Elektrizitätsversorgung in den letzten Jahren, insbesondere im Bereich erneuerbarer Energien.

Abbildung 18: Investitionen der Energiewirtschaft, Mio. Euro (eigene Darstellung)



Die Betrachtung der Investitionen differenziert nach Sektoren ist in Abbildung 19 zu finden. Zum Umwandlungssektor zählen dabei die Sektoren „Anlagen zur Speicherung und Verteilung von Gas“ sowie die „Anlagen zur Bereitstellung von Brenn- und Kraftstoffen“. In der Abbildung sind nun auch die neu aufgenommen Bereiche des Verkehrs (Ladesäulen und Wasserstofftankstellen) zu erkennen. Investitionen aus diesem neuen Bereich hatten im Jahr 2021 einen Anteil von 2 % an den Gesamtinvestitionen. Insgesamt hinterlässt die Abbildung den Eindruck, dass der Stromsektor der mit Abstand größte Investitionsbereich der Energiewirtschaft ist. Dies ist durchaus möglich, allerdings muss hier darauf hingewiesen werden, dass er auch derjenige Sektor ist, für den die Datengrundlage deutlich besser ist als für alle anderen Sektoren (vgl. O’Sullivan et al. 2019). Ein weiterer Aspekt ist der, dass weite Teile des Wärme- sowie des Verkehrssektors nicht unter den Bereich der Bereitstellung von Endenergie fallen, sondern in die nachgelagerten Bereiche der Nutzung von Endenergie. Die hier getätigten Investitionen sind nicht Gegenstand der hier vorliegenden Studie.

Abbildung 19: Investitionen der Energiewirtschaft differenziert nach Sektoren, Mio. Euro (eigene Darstellung)



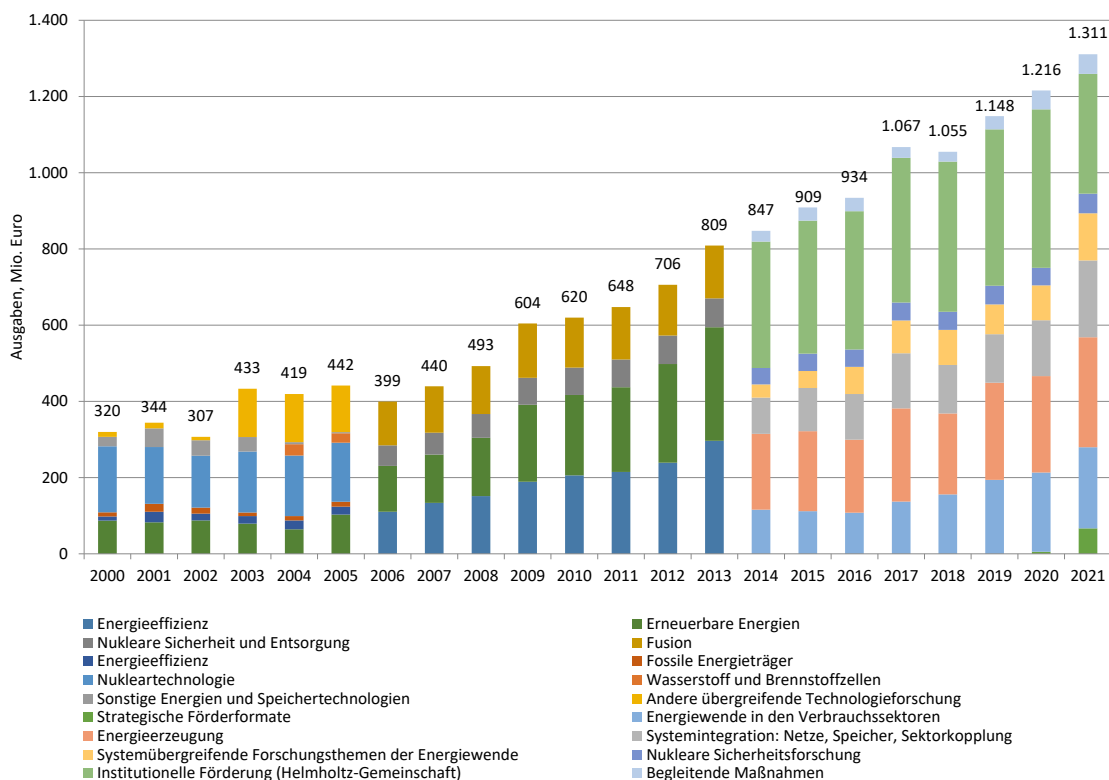
3.6 ÖFFENTLICH BEREITGESTELLTE MITTEL FÜR FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

Die privatwirtschaftlichen Investitionen der Energiewirtschaft werden durch eine Reihe von öffentlich bereitgestellten Mitteln unterstützt, um die Energietransformation durch Forschungs- und Demonstrationsprojekte zu unterstützen. In Deutschland werden hierfür Mittel auf Bundes- wie auf Landesebene zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus werden weitere Mittel durch europäische Forschungsprogramme bereitgestellt.

Der jährlich erscheinende Bundesbericht Energieforschung bietet einen hervorragenden Überblick über die in Deutschland bereitgestellten Mittel für Forschung und Entwicklung. Der weitaus größte Teil der Mittel wird dabei auf Bundesebene zur Verfügung gestellt, für die auch eine konsistente Zeitreihe seit 2000 existiert. Die Forschungsmittel der Länder werden seit 2008 ebenfalls ausgewiesen, erscheinen jedoch mit einer deutlichen zeitlichen Verzögerung, so dass aktuell nur Zahlen bis 2020 vorliegen.

Insgesamt lagen die Mittel, welche auf Bundesebene 2021 für die Energieforschung zur Verfügung standen bei rund 1,3 Mrd. Euro, wobei diese Mittel seit 2006 stetig gestiegen sind und aktuell viermal so hoch sind wie im Jahr 2000 (vgl. Abbildung 20). Die durch die Länder bereitgestellten Mittel entsprachen dabei 2020 in etwa einem Drittel der Gelder, welche auf Bundesebene zu Verfügung gestellt wurden.

Abbildung 20: Ausgaben für Energieforschung aus Bundesmitteln nach Themenschwerpunkten, Mio. Euro (BMWK 2022)



4 PRODUKTION UND BESCHÄFTIGUNG DURCH INVESTITIONEN DER ENERGIEWIRTSCHAFT

4.1 METHODISCHE HERANGEHENSWEISE

Aus den im vorigen Abschnitt ausführlich dargestellten Investitionen in die Energiewirtschaft wird modellgestützt die mit den jeweiligen Investitionen verbundene Bruttoproduktion und Beschäftigung abgeleitet. Die Abschätzung erfolgt mit Hilfe des offenen statischen Mengenmodells der Input-Output-Rechnung (vgl. zum Beispiel Holub, Schnabl 1994 und Stäglin, Edler, Schintke 1992 zu den Methoden und StaBua 2010 zu den konzeptionellen Grundlagen der Input-Output-Rechnung des Statistischen Bundesamtes). Die modellmäßige Abschätzung erfordert eine Reihe von zusätzlichen Informationen und Berechnungsschritten, die in der Vorgängerstudie O'Sullivan et al. 2019, Abschnitt 4.1 ausführlich dargestellt wurden.

Kurz zusammengefasst geht es zum Ersten darum, die durch Investitionen in das Energiesystem ausgelöste Produktion und Beschäftigung **im Inland** zu ermitteln. Es ist also notwendig, die mit den Investitionen verbundene **im Inland wirksame Nachfrage** zu bestimmen, die den Ausgangspunkt der durchgeführten modellbasierten Schätzungen bildet. Um von den getätigten Investitionen zu der im Inland wirksamen Nachfrage zu gelangen, ist es notwendig, die **importierten Investitionsgüter** abzuschätzen und von den getätigten Investitionen abzuziehen.⁴ Zur im Inland wirksamen Nachfrage wird neben dem Teil, der auf inländischen Investitionen beruht, auch der Teil gezählt, der auf **ausländischer Nachfrage** beruht. Es ist also wünschenswert, auch den Export von Investitionsgütern, also jenen Gütern, die im Ausland in das jeweilige Energiesystem investiert werden, aber aus deutscher Produktion stammen, abzuschätzen (vgl. hierzu ausführlich O'Sullivan et al. 2019, Abschnitt 4.1).

Zum Zweiten erfordert die Abschätzung der mit den Investitionen verbundenen Bruttoproduktion und Beschäftigung mit Hilfe der Input-Output-Analyse, dass die im Inland wirksame Nachfrage in einer Güterstruktur vorliegt, die der in den Input-Output-Tabellen verwendeten Güterklassifikationen entspricht. Für die mit erneuerbaren Energien verbundenen Bestandteile werden diese Strukturen in Abschnitt 5.4 erläutert, für die übrigen Bestandteile des Energiesystems wurden diese Strukturen ausführlich in O'Sullivan et al. 2019, Abschnitt 4.1 abgeleitet und dargestellt.

Zum Dritten ist es erstrebenswert, dass die modellbasierten Schätzungen am aktuellen Rand mit der zum Berechnungszeitpunkt aktuellen Input-Output-Tabelle vorgenommen werden. Für die Berichtsjahre 2020 und 2021 war dies die Tabelle für das Berichtsjahr 2018. Da ein besonderer Fokus der Modellberechnungen auf der Abschätzung der Beschäftigung liegt, wurde für diese Jahre eine Fortschreibung der Arbeitskoeffizienten⁵

⁴ Dies ist notwendig, weil die im Ausland produzierten und importierten Investitionsgüter keine Produktion und Beschäftigung in Deutschland auslösen.

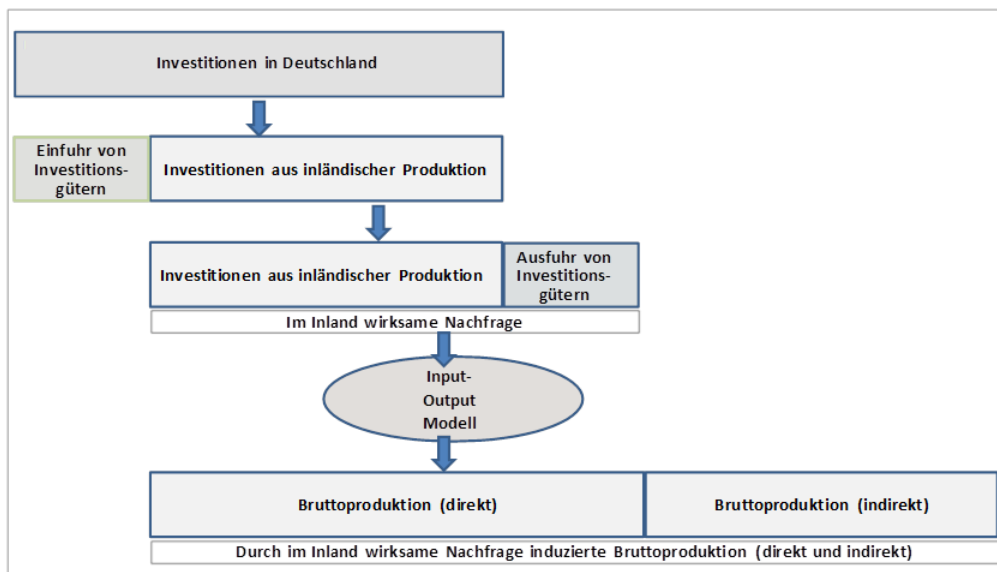
⁵ Die Arbeitskoeffizienten sind auf der Ebene der Produktionsbereiche definiert. Sie messen den Arbeits-einsatz in Personen pro eine Million Euro Bruttoproduktion. Die Arbeitskoeffizienten sind der reziproke Wert der jeweiligen Arbeitsproduktivität je Erwerbstätigen.

mit Daten zur Entwicklung der sektoralen Arbeitsproduktivität aus der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung vorgenommen. Dazu wurden die (jährlichen) Veränderungsrate der sektoralen Arbeitsproduktivitäten nach Hauptgruppen auf die in der Input-Output-Rechnung dargestellten Arbeitskoeffizienten übertragen und so eine Fortschreibung für die Berichtsjahre 2019, 2020 und 2021 durchgeführt.

4.2 IM INLAND WIRKSAME NACHFRAGE UND BRUTTOPRODUKTION

Im vorigen Abschnitt wurde erläutert, welche Bedeutung die im Inland wirksame Nachfrage als Ausgangsgröße der modellgestützten Schätzung von Bruttonachfrage und Beschäftigung hat. Im Folgenden werden die Ergebnisse getrennt nach Investitionsbereichen dargestellt. Darüber hinaus wird – als ein Ergebnis der Modellrechnungen – die mit dieser Nachfrage jeweils verbundene Bruttonachfrage dargestellt. Zur Verdeutlichung der methodischen Vorgehensweise sind die einzelnen Schritte zur Berechnung und die verwendeten Begrifflichkeiten in Abbildung 21 dargestellt).

Abbildung 21: Schematische Darstellung der Berechnungsschritte zur Ableitung der im Inland wirksamen Nachfrage und der Bruttonachfrage



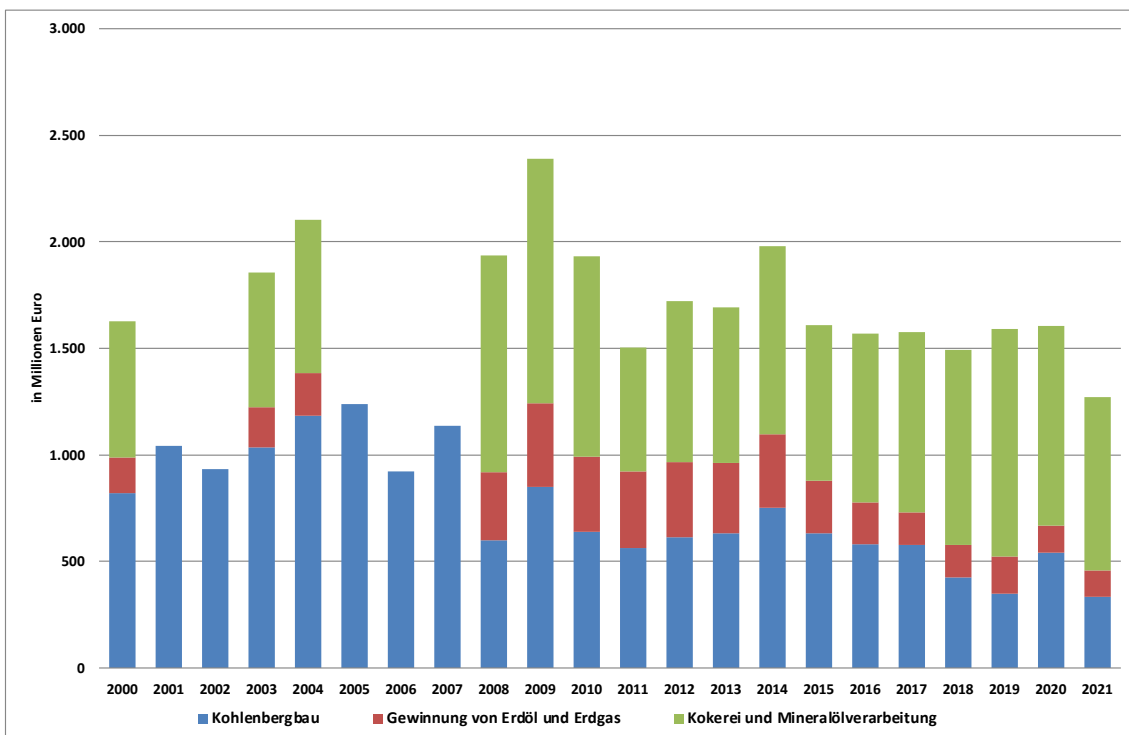
Die Darstellung der Ergebnisse zur im Inland wirksamen Nachfrage und zur dadurch induzierten Bruttonachfrage folgt inhaltlich der entsprechenden Gliederung für die Darstellung der getätigten Investitionen (Abschnitt 3). Es werden also nachfolgenden Bereiche des Energiesystems in separaten Unterabschnitten dargestellt:

- 4.2.1 Investitionen in Anlagen zur Bereitstellung von Brenn- und Kraftstoffen
- 4.2.2 Investitionen in Anlagen zur Bereitstellung von Strom und Wärme (differenziert nach konventioneller Stromerzeugung und erneuerbaren Energien)
- 4.2.3 Investitionen in Speicher
- 4.2.4 Investitionen in Infrastrukturen zur Verteilung von Endenergie

4.2.1 ANLAGEN ZUR BEREITSTELLUNG VON BRENN- UND KRAFTSTOFFEN

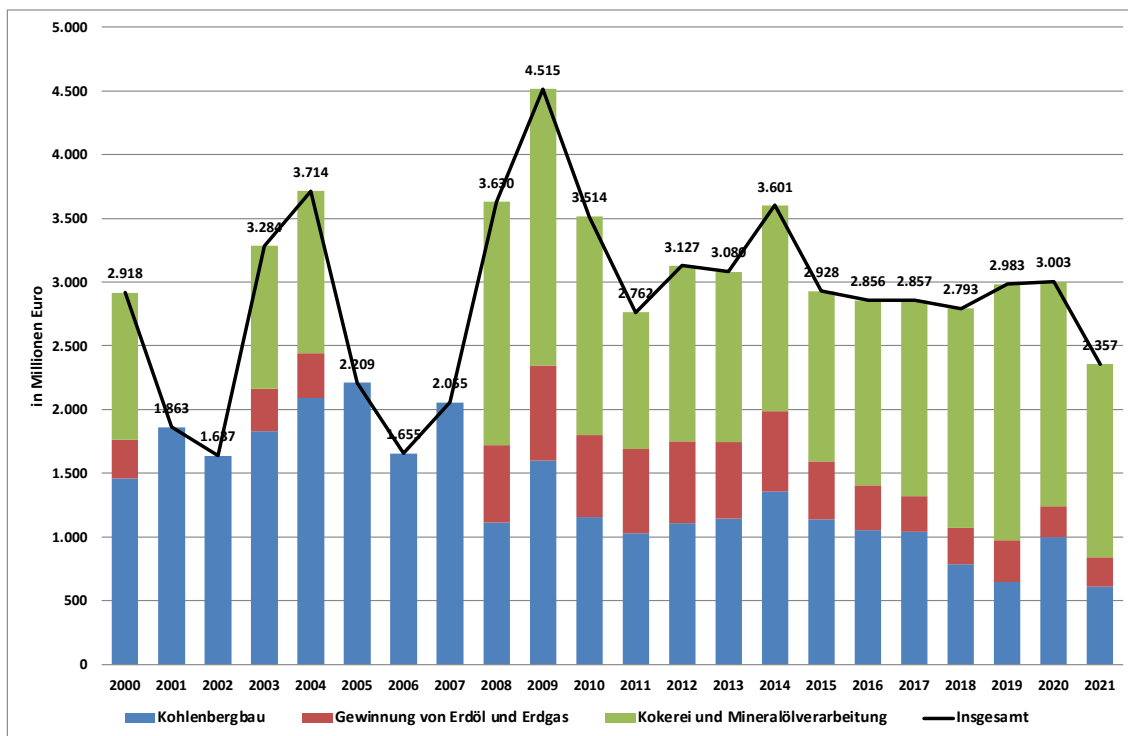
Im Investitionsbereich Anlagen zur Bereitstellung von konventionellen Brenn- und Kraftstoffen werden die Importe und Exporte von Investitionsgütern modellmäßig mit Hilfe von Informationen aus der jeweiligen Input-Output-Tabelle abgeschätzt (O’Sullivan et al. 2019, Abschnitt 4.1). Zuletzt haben sich Importe und Exporte auf einem gleichen Niveau bewegt. Wie bei der Erläuterung der Investitionsnachfrage beschrieben (Abschnitt 3.1), gibt es für einige Jahre vor 2008 Datenlücken aufgrund statistischer Geheimhaltungsvorschriften. Die Lücken schlagen sich auch in den hier aufbereiteten Ergebnissen zur im Inland wirksamen Nachfrage und zur Bruttonachfrage nieder. Bis zum Jahr 2020 verharrte die im Inland wirksame Nachfrage in der Summe in etwa auf dem Niveau des Jahres 2015 (rund 1,5 Mrd. Euro), wobei es leichte Verschiebungen zwischen den Teilbereichen gab, überwiegend zu Lasten des Kohlebergbaus. Im Jahr 2021 gab es einen deutlichen Rückgang, der alle drei Teilbereiche betraf, allerdings in unterschiedlichem Umfang.

Abbildung 22: Bereitstellung von Brenn- und Kraftstoffen: im Inland wirksame Nachfrage nach Teilbereichen aus im Inland getätigten Investitionen im Zeitraum 2000 – 2021, in Millionen Euro



Auch bei der Bruttonachfrage lässt sich im Zeitraum 2015 bis 2020 eine stabile Entwicklung beobachten (knapp 3 Mrd. Euro Bruttonachfrage), wohingegen es im Jahr 2021 einen Rückgang auf 2,4 Mrd. Euro gibt. Dabei erreicht die Bruttonachfrage im Kohlebergbau den geringsten Wert seit dem Jahr 2000.

Abbildung 23: Bereitstellung von Brenn- und Kraftstoffen: durch Investitionen und Exporte ausgelöste Bruttoproduktion im Zeitraum 2000 – 2021, in Millionen Euro

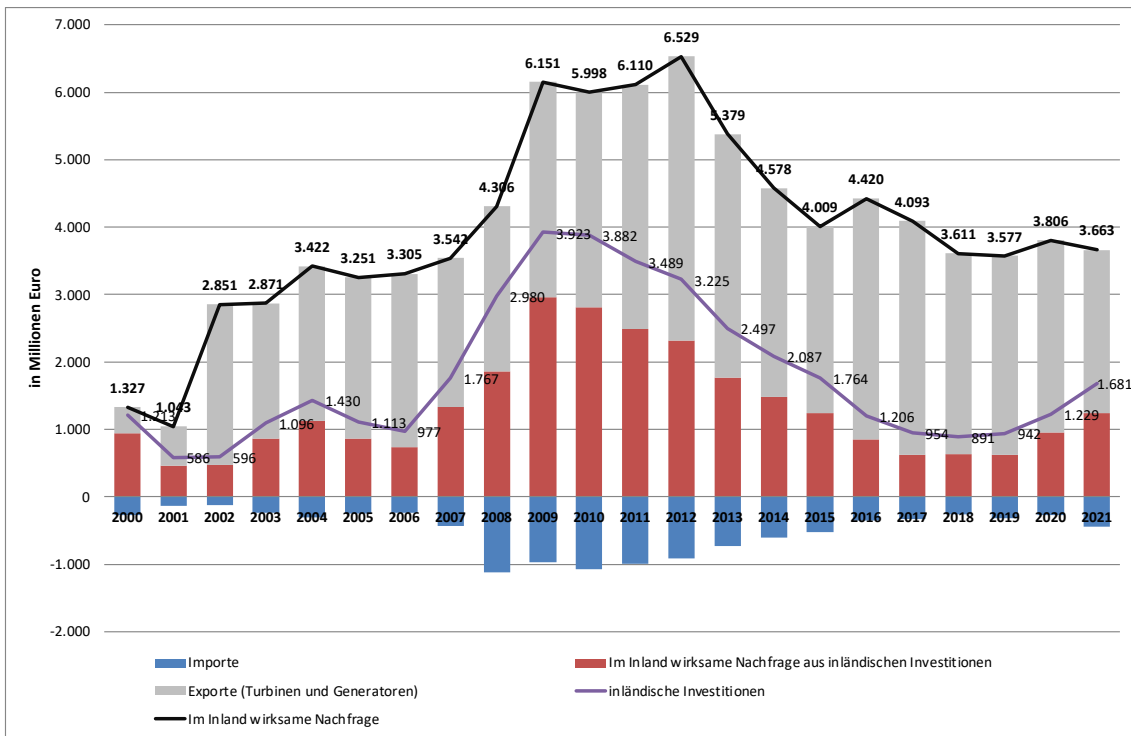


4.2.2 ANLAGEN ZUR BEREITSTELLUNG VON STROM UND WÄRME

4.2.2.1 Konventionelle Stromerzeugung

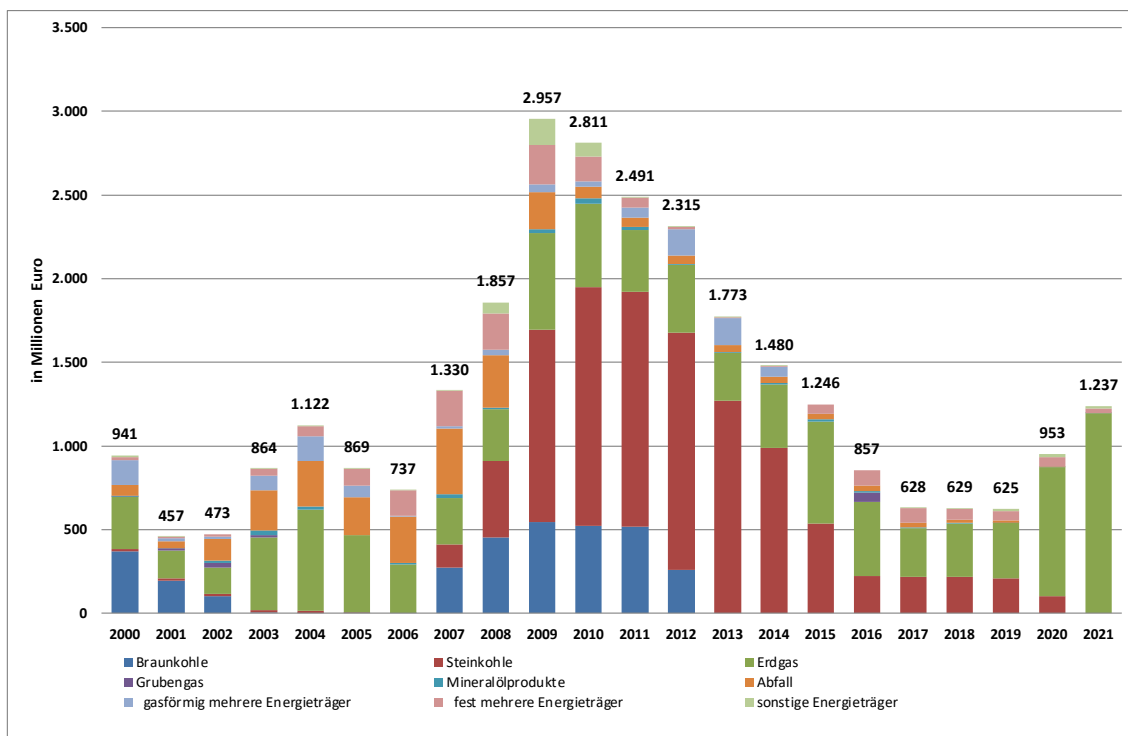
Im Investitionsbereich konventionelle Stromerzeugung basiert die Ableitung der im Inland wirksame Nachfrage auf der Methodik, welche in der Vorgängerstudie detailliert beschrieben worden ist (O'Sullivan et al. 2019, Abschnitt 4.1). Die Importe von Investitionsgütern werden modellmäßig mit Hilfe von Informationen aus der jeweiligen Input-Output-Tabelle abgeschätzt, die Exporte werden auf Basis der gewählten Abgrenzung von Gütern aus der COMTRADE-Datenbank abgeleitet. Die Exporte fallen in diesem Investitionsbereich höher aus als die Importe, so dass die im Inland wirksame Nachfrage deutlich über den in Deutschland getätigten Investitionen liegt (Abbildung 24). Allerdings nehmen die Exporte (und auch der Saldo aus Exporten und Importen) in diesem Bereich seit dem Jahr 2016 stetig ab. Der Saldo aus Exporten und Importen beläuft sich im Jahr 2021 auf knapp 2,9 Mrd. Euro.

Abbildung 24: Konventionelle Stromerzeugung: Investitionen, Importe, Exporte und im Inland wirksame Nachfrage im Zeitraum 2000 – 2021, in Millionen Euro



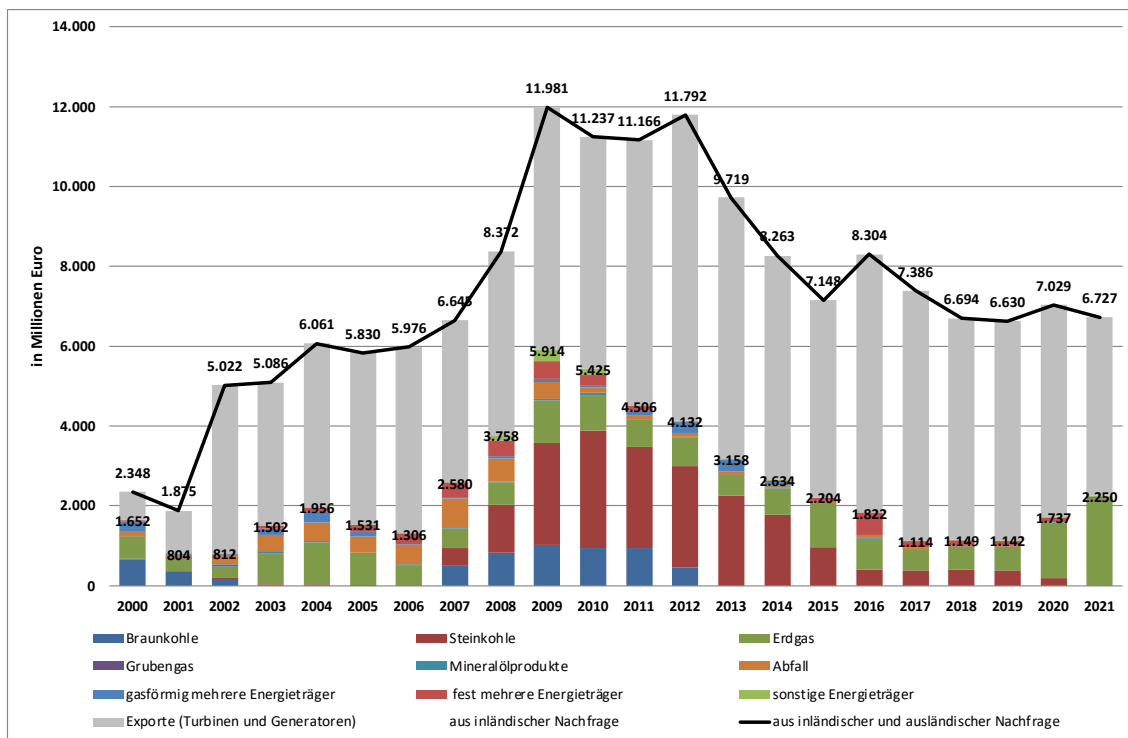
Die im Inland wirksame Nachfrage aus im Inland getätigten Investitionen hat im Bereich konventionelle Stromerzeugung zuletzt wieder leicht zugenommen (2021: 1,2 Mrd. Euro), vor allem ausgelöst durch einen Anstieg beim Energieträger Erdgas (Abbildung 25).

Abbildung 25: Konventionelle Stromerzeugung: im Inland wirksame Nachfrage nach Teilbereichen aus im Inland getätigten Investitionen im Zeitraum 2000 – 2021, in Millionen Euro



Die mit der im Inland wirksamen Nachfrage verbundene Bruttoproduktion hat sich zuletzt auf einen Betrag von knapp 7 Mrd. Euro eingependelt, davon entfallen 2,3 Mrd. Euro auf inländische Investitionen, der größere Teil auf die ausländische Nachfrage nach in Deutschland produzierten Investitionsgütern (Abbildung 26).

Abbildung 26: Konventionelle Stromerzeugung: durch Investitionen und Exporte ausgelöste Bruttproduktion im Zeitraum 2000 – 2021, in Millionen Euro



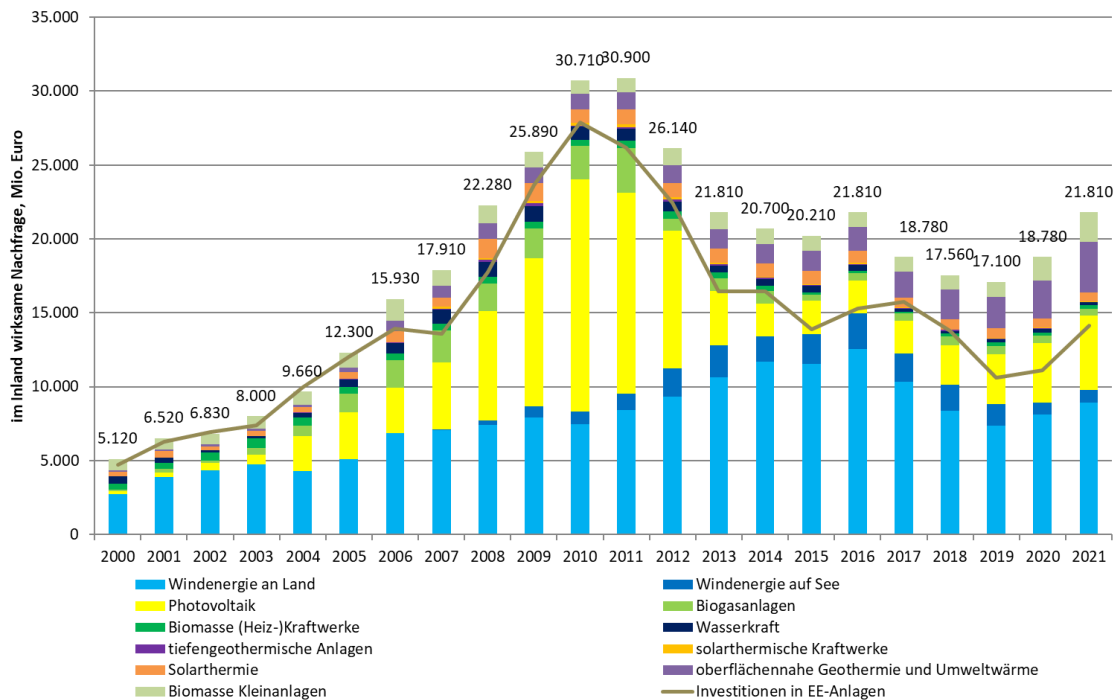
4.2.2.2 Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien

Die Ableitung der im Inland wirksamen Nachfrage nach Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien basiert in weiten Teilen auf der Methodik, welche im Rahmen von O’Sullivan et al. 2019 detailliert beschrieben worden ist. Kurz zusammengefasst basieren die Zahlen zur Ermittlung der im Inland wirksamen Nachfrage unter anderem auf Ergebnissen dreier Unternehmensbefragungen der Jahre 2004 (Staiß et al. 2006), 2007 (Lehr et al. 2011) und 2012 (Lehr et al. 2015). Im Rahmen dieser Umfragen wurden wesentliche Erkenntnisse bezüglich des Außenhandels gewonnen, welche für die späteren Jahre dann anhand weiterer statistischer Datenquellen fortgeschrieben worden sind. Dabei werden im Wesentlichen vier verschiedene Herangehensweisen vorgenommen. Für die Bereiche Windenergie an Land, Wasserkraft und Photovoltaik (für Wechselrichter und Module) werden die Exporte anhand der Entwicklung der Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamtes (StaBuA 2022b) fortgeschrieben. Die Abschätzung der Außenhandelsentwicklung der Solarthermie, oberflächennahen Geothermie sowie teilweise der Photovoltaik basiert auf der Entwicklung des Europäischen Marktes (ESTIF 2021, EHPA 2021, IEA-PVPS 2021). Damit wird hier angenommen, dass Deutschland seine Wettbewerbsposition beibehält. Für die Bereiche Tiefengeothermie, Biomasse (Heiz-/Kraftwerke und Biomasse Kleinanlagen) wurden die Exportquoten, welche sich aus den Unternehmensbefragungen ergeben haben, beibehalten. Der Außenhandel der Bereiche Biogas, Windenergie auf See sowie Solarthermische Kraftwerke ist hingegen seit dem letzten eigenen Erhebungsjahr (2013) konstant gehalten worden. Beim Biogas wurde dies durch die Aussagen von Branchenexperten gestützt. Bei den Segmenten Windenergie auf See und Solarthermische Kraftwerke war dies eher durch die Wettbewerbsposition der deutschen Industrie im internationalen Vergleich begründet.

Für diese letzten beiden Sektoren wurden im Rahmen der hier vorliegenden Studie jedoch Anpassungen vorgenommen. Hier werden nun die Exportdaten der Erhebung „Umsatz und Beschäftigte für den Umweltschutz“ des Statistischen Bundesamtes (StaBuA 2022c) herangezogen. Der Grund warum die Erhebung „Umsatz und Beschäftigte für den Umweltschutz“ bislang und auch jetzt nicht für alle Bereiche der erneuerbaren Energien genutzt wird ist der, dass sie zum einen mit einer deutlichen zeitlichen Verzögerung erscheint und dass es sich hier nicht um eine Vollerhebung handelt, wodurch es mitunter zu starken Schwankungen zwischen den Jahren kommen kann, die auf die Teilnahme einzelner Unternehmen bei der Befragung zurückzuführen sind. Im Falle der Windenergie auf See hat ein Vergleich mit der Erhebung „Umsatz und Beschäftigte für den Umweltschutz“ für das Jahr 2013 jedoch gezeigt, dass hier wohl eine gute Passgenauigkeit mit den eigenen erhobenen Daten vorliegt. Des Weiteren war die Herangehensweise die Exportdaten des Jahres 2013 weiterhin konstant zu halten nicht mehr zu tragen, da die inländischen Investitionen in den vergangenen Jahren einen sehr starken Rückgang aufzuweisen hatten und davon auszugehen war, dass die Unternehmen damit einhergehend so weit wie möglich ihre Exportaktivitäten maximiert hatten. In Summe wird daher davon ausgegangen, dass die Daten der Erhebung „Umsatz und Beschäftigte für den Umweltschutz“ damit eine bessere Abschätzung der Entwicklung ermöglichen als die bisherige Herangehensweise. Analog ist hier auch die Verwendung der Daten für den Bereich der Solarthermischen Kraftwerke zu sehen. Allerdings liegen hier erst seit 2016 Daten für diesen Bereich vor. Auf Grund der zeitlichen Verzögerung der Veröffentlichung dieser Daten, liegen jedoch keine neuen Erkenntnisse für 2021 vor, so dass hier die Werte von 2020 fortgeschrieben worden sind.

Die Ergebnisse der Abschätzung der im Inland wirksamen Nachfrage sind in Abbildung 27 zusammenfassend dargestellt. Die im Inland wirksame Nachfrage ist dabei im gesamten Verlauf der Entwicklung von etwa 5 Mrd. Euro 2000 auf rund 31 Mrd. Euro 2010/2011 gestiegen. Bis 2019 war dann ein konstanter Rückgang dieser „Umsätze“ auf etwa 17 Mrd. Euro zu verzeichnen gewesen. In den vergangenen beiden Jahren konnte eine Trendwende beobachtet werden. 2021 wurden demnach EE-Güter im Wert von rund 22 Mrd. Euro im In- und Ausland von in Deutschland ansässigen Unternehmen veräußert.

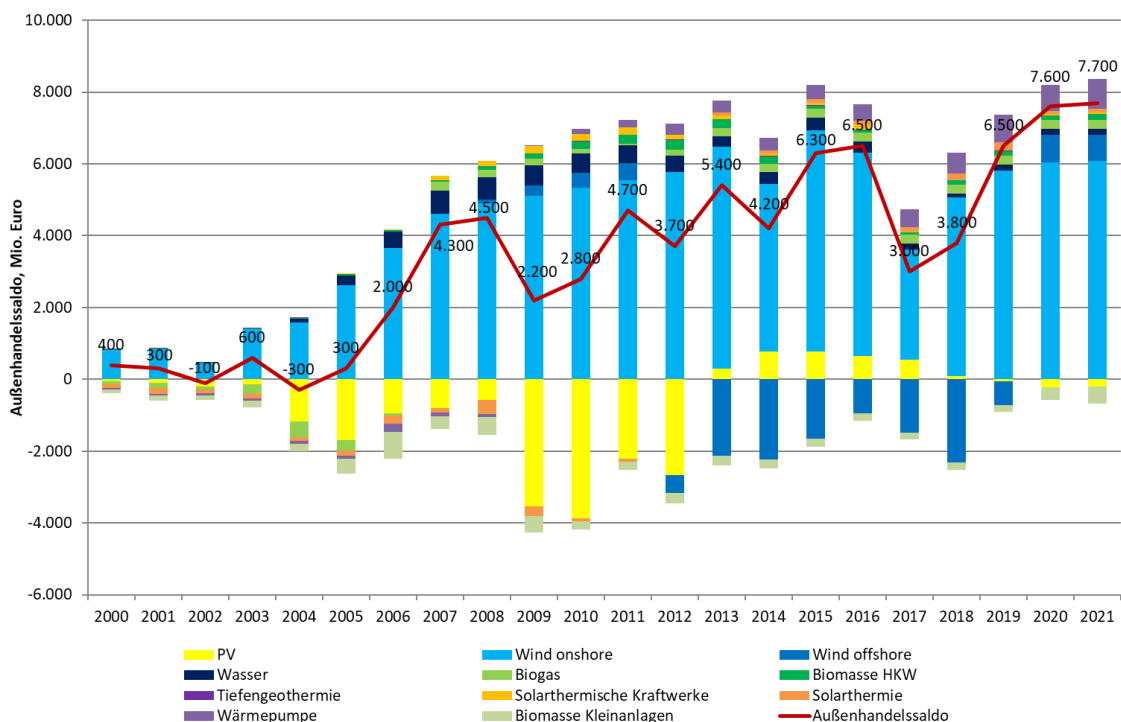
Abbildung 27: Im Inland wirksame Nachfrage nach Anlagen und Komponenten zur Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland, Mio. Euro (eigene Berechnung)



Vergleicht man die Entwicklung der im Inland wirksamen Nachfrage mit den Investitionen so wird deutlich, dass die Trendentwicklungen von Grundsatz recht ähnlich sind. Die Unterschiede, die insbesondere in der Relevanz der Bereiche Photovoltaik und Windenergie an Land offenkundig werden, sind auf die Außenhandelsentwicklung zurückzuführen. Um dies noch mal klar zu verdeutlichen, ist in Abbildung 28 die Entwicklung des Außenhandelssaldos der verschiedenen EE-Technologien dargestellt. Legt man hier einen Blick auf den Bereich Photovoltaik, so wird deutlich, dass Deutschland von 2000 bis 2012 durchgehend eine negative Außenhandelsbilanz aufzuweisen hatte. Hintergrund war hier vor allem der hohe Import von Modulen und Zellen. Durch den massiven Rückgang des heimischen PV-Marktes kam es ab 2013 zu einer positiven Außenhandelsbilanz, welche vor allem durch die Exporte an Wechselrichtern dominiert wurde. Durch den erneuten Aufschwung des heimischen Marktes in den vergangenen beiden Jahren kehrte sich dieses Verhältnis wieder um. Der Großteil der Zellen und Module, welche in Deutschland aktuell installiert werden, kommt aus dem Ausland. Diese Importe können aber noch zu großen Teilen durch den Export von Wechselrichtern ausgeglichen werden.

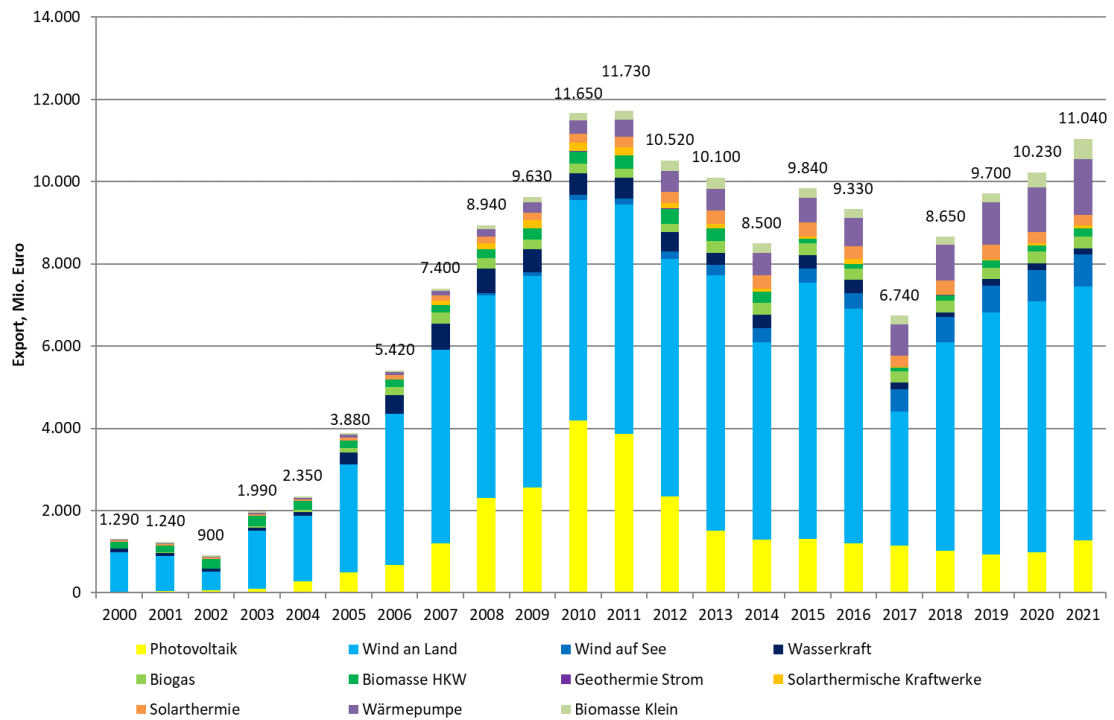
In Summe war der Außenhandelssaldo Deutschlands im Bereich der erneuerbaren Energien durchgehend positiv und hat 2021 seinen Höchststand von 7,7 Mrd. Euro erreicht.

Abbildung 28: Deutscher Außenhandelsaldo von EE-Anlagen und Komponenten, Mio. Euro (eigene Berechnung)



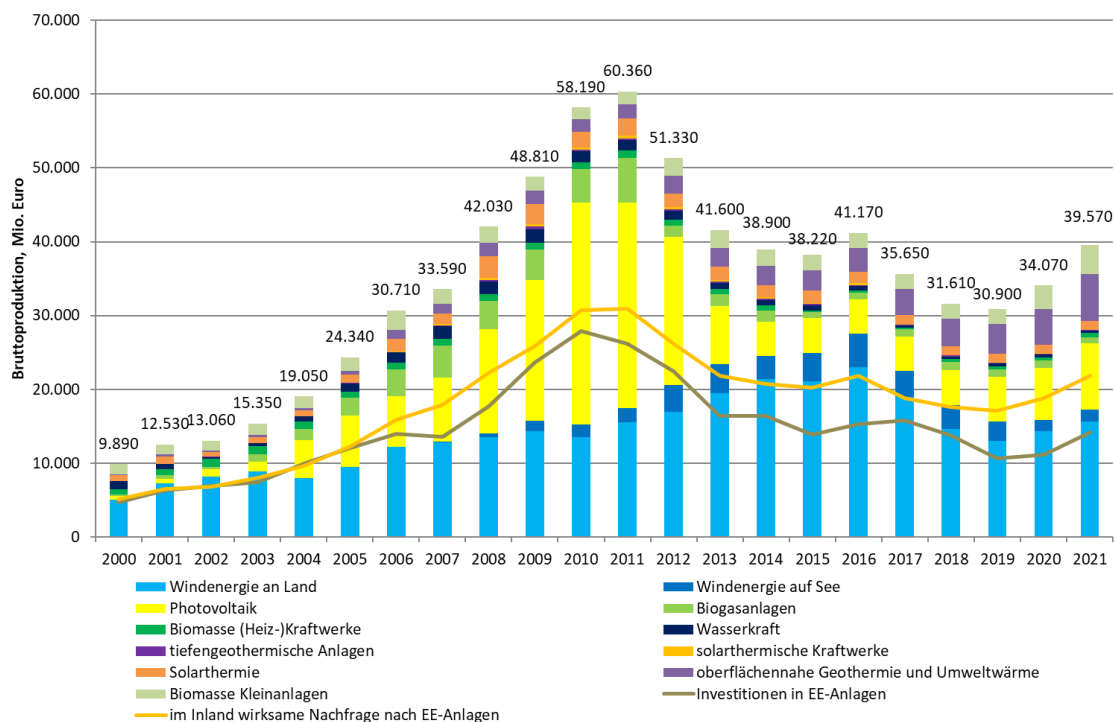
Um die Exporte an sich zu spezifizieren sind diese in Abbildung 29 noch einmal differenziert aufgeführt. Was hier deutlich wird ist, dass Deutschland insbesondere bei der Windenergie an Land eine wichtige Rolle als Exporteur spielt. Im Bereich der Photovoltaik sind, wie bereits erwähnt, insbesondere die Wechselrichterhersteller sehr erfolgreich. In Summe lagen die Exporte 2021 bei rund 11 Mrd. Euro und damit auf dem Niveau, welches zuletzt 2012 zu verzeichnen gewesen war.

Abbildung 29: Export von Anlagen und Komponenten zur Nutzung erneuerbarer Energien aus Deutschland, Mio. Euro (eigene Berechnung)



Die Bruttoproduktion, welche durch die Investitionen in Deutschland ausgelöst wurde, liegt knapp doppelt so hoch wie die im Inland wirksame Nachfrage und weist eine vergleichbare zeitliche Entwicklung auf (vgl. Abbildung 30). Die Bruttoproduktion umfasst neben der Lieferung der finalen Produkte an die Endnachfrage (hier: Investitionen und Exporte) auch die inländischen Vorleistungen, die aus den vorgelagerten Produktionsstufen (upstream) in die Endprodukte einfließen. Ein anschauliches Beispiel ist der Stahl oder Metallerzeugnisse, die der Produzent einer Windkraftanlage bei Zulieferern einkauft. Diese Vorleistungen umfassen nicht nur Waren, sondern auch Dienstleistungen, z.B. Planungsleistungen oder Dienstleistungen der Schifffahrt bei der Installation von Windkraftanlagen auf See.

Abbildung 30: Bruttoproduktion von Anlagen und Komponenten zur Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland, Mio. Euro (eigene Berechnung)

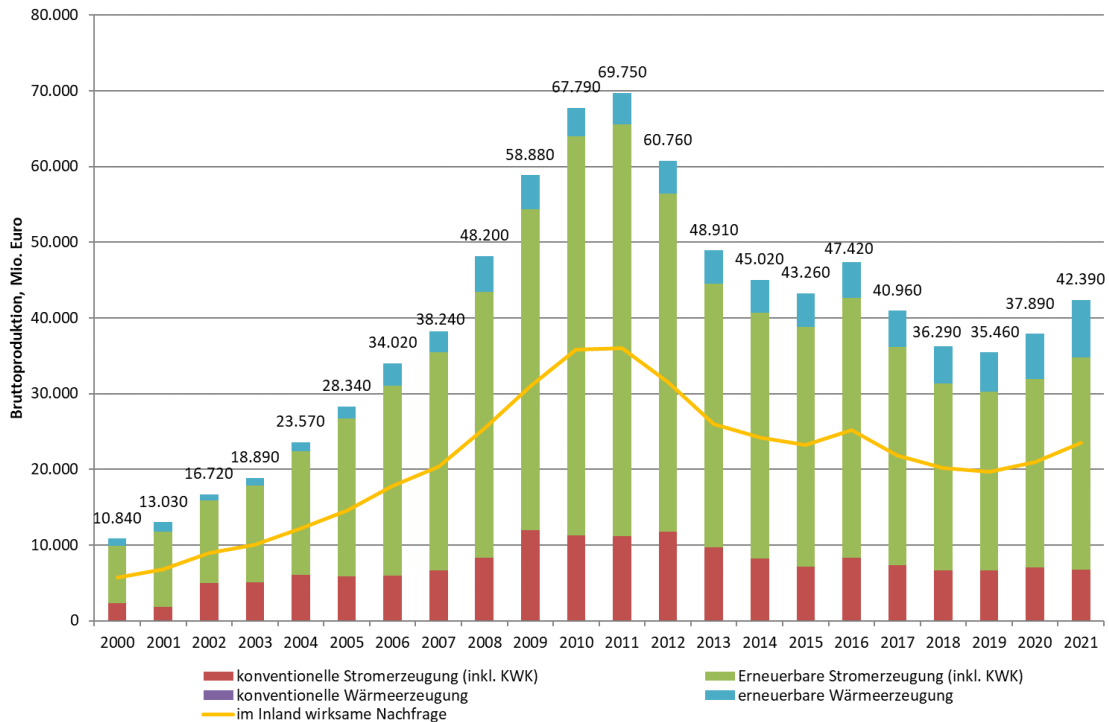


4.2.2.3 Zusammenfassung – Bereitstellungsanlagen von Strom und Wärme

Die Bruttoproduktion, welche aus den Investitionen in Anlagen zur Bereitstellung von Strom und Wärme in Inland und Ausland resultiert, ist zusammenfassend in Abbildung 31 dargestellt. Analog zu den Investitionen der Energiewirtschaft in Deutschland, hat auch die Bruttoproduktion einen Schwerpunkt auf Anlagen zur erneuerbaren Stromproduktion. In Summe wurde im Beobachtungszeitraum seit dem Jahr 2000 ein Bruttoproduktionswert von mehr als 860 Mrd. Euro in Deutschland erzeugt. 457,5 Mrd. Euro entfielen dabei auf die im Inland wirksame Nachfrage, welche aus den Investitionen aus dem Inland und Ausland resultiert. Die Bruttoproduktion des Jahres 2021 belief sich auf rund 42,4 Mrd. Euro. Davon entfielen rund 28 Mrd. Euro auf die erneuerbare Stromproduktion und 7,6 Mrd. Euro auf die erneuerbare Wärmebereitstellung.⁶

⁶ Die Bruttoproduktion, die aus Investitionen in Biomassekleinanlagen resultiert, wird hier aus systematischen Gründen wiederum nicht berücksichtigt.

Abbildung 31: Bereitstellungsanlagen von Strom und Wärme, durch Investitionen ausgelöste Bruttoproduktion im Zeitraum 2000 – 2021, in Millionen Euro (eigene Berechnung)



4.2.3 SPEICHER

Im Investitionsbereich Speicher spielen die – modellmäßig mit Hilfe von Informationen aus der jeweiligen Input-Output-Tabelle abgeleiteten – Importe und Exporte eine untergeordnete Rolle, nicht zuletzt deshalb, weil in den bisher quantitativ dominierenden Investitionsfeldern Gasspeicher und Pumpspeicher auf Grund der Güterstruktur der Investitionen Bauleistungen ein hohes Gewicht haben. Bauleistungen werden in der Regel ortsnah erbracht und international nur in sehr beschränktem Umfang gehandelt. Im Bereich der Batteriespeicher werden die Zellen der Lithium-Ionen-Batterien zu einem überwiegenden Teil aus dem Ausland bezogen. Mit der zunehmenden Bedeutung der Batteriespeicher geht also eine Zunahme der Importe einher.

Seit dem Jahr 2015 haben die kleinen Batteriespeicher die bis dahin dominierenden Gasspeicher an Bedeutung abgelöst. Gerade in den letzten Jahren weisen die kleinen Batteriespeicher eine große Dynamik aus und machen im Jahr 2021 85% der gesamten im Inland wirksamen Nachfrage im Investitionsbereich Speicher aus (Abbildung 32).

Eine vergleichbare Entwicklung ergibt sich bei der Bruttoproduktion, hier machen kleine Batteriespeicher im Jahr 2021 82% der gesamten Bruttoproduktion im Investitionsbereich Speicher aus (Abbildung 33).

Abbildung 32: Speicher, im Inland wirksame Nachfrage nach Teilbereichen im Zeitraum 2000 – 2021, in Mio. Euro

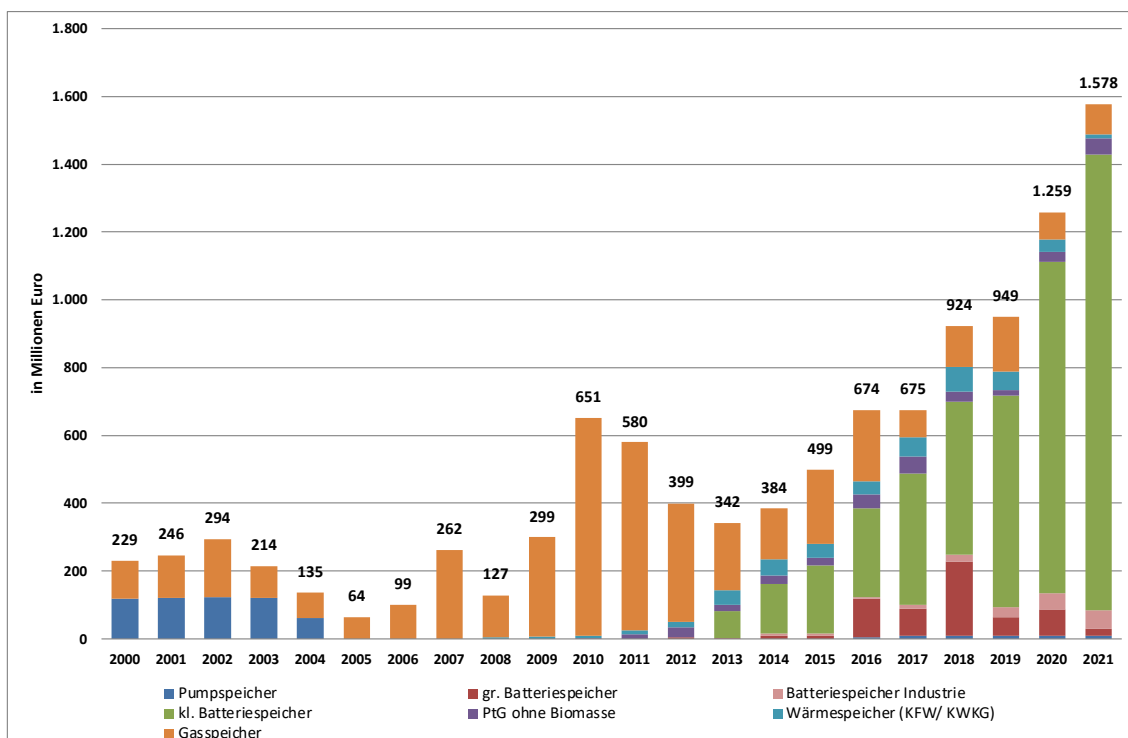
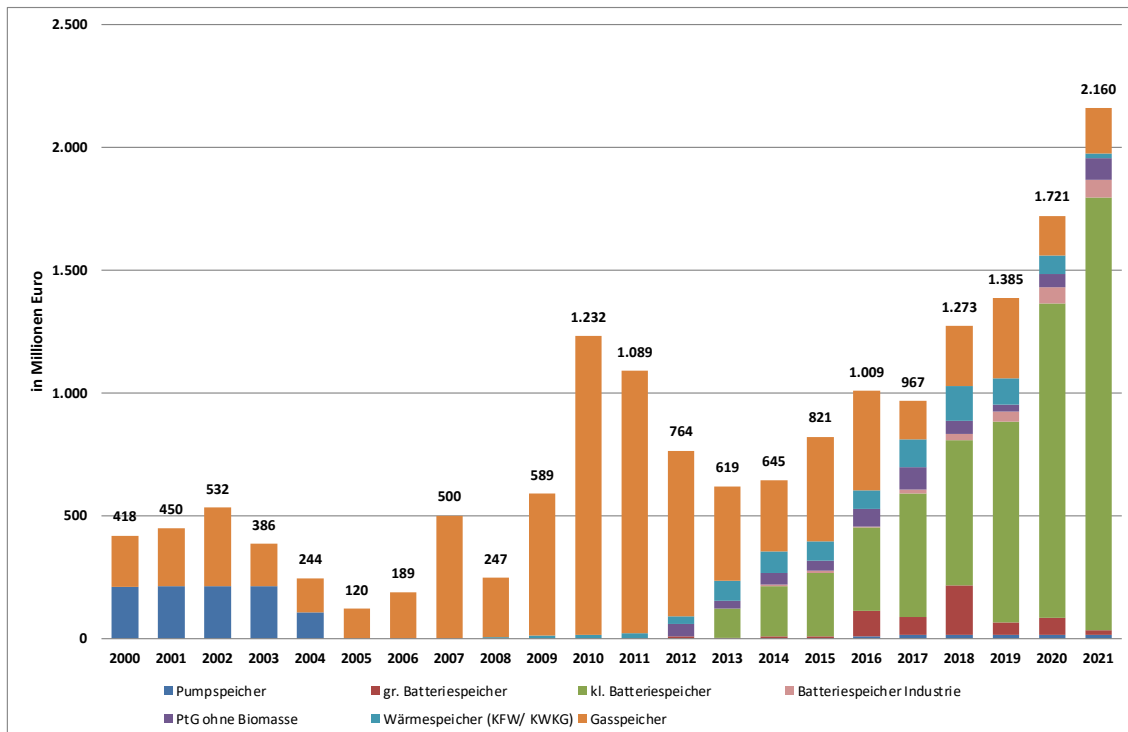


Abbildung 33: Speicher, durch Investitionen ausgelöste Bruttoproduktion im Zeitraum 2000 – 2021, in Mio. Euro



4.2.4 INFRASTRUKTUREN ZUR VERTEILUNG VON ENDENERGIE

Im Investitionsbereich Infrastrukturen zur Verteilung von Endenergie (Netze) werden die Importe von Investitionsgütern und die Exporte modellmäßig mit Hilfe von Informationen

aus der jeweiligen Input-Output-Tabelle abgeschätzt. Die Exporte fallen geringfügig höher aus als die Importe, so dass die im Inland wirksame Nachfrage leicht über den in Deutschland getätigten Investitionen liegt. Wichtigster Infrastrukturbereich ist der Bereich Stromnetze, der zuletzt mit einem Anteil von 77% an der gesamten im Inland wirksamen Nachfrage noch an Gewicht gewonnen hat (Abbildung 34). Gasnetze hatten in den letzten Jahren ein stabiles Niveau, die Bedeutung von Wärmenetzen bleibt gering. Seit dem Berichtsjahr 2017 ist auch die Ladeinfrastruktur ausgewiesen, auf sie im Jahr 2021 eine im Inland wirksame Nachfrage von 0,6 Mrd. Euro. Der Bereich Wasserstofftankstellen, der seit 2003 nachgewiesen wird, hat nach wie vor eine sehr geringe Bedeutung.

Abbildung 34: Infrastrukturen zur Verteilung von Endenergie, im Inland wirksame Nachfrage nach Teilbereichen im Zeitraum 2000 – 2021, in Mio. Euro

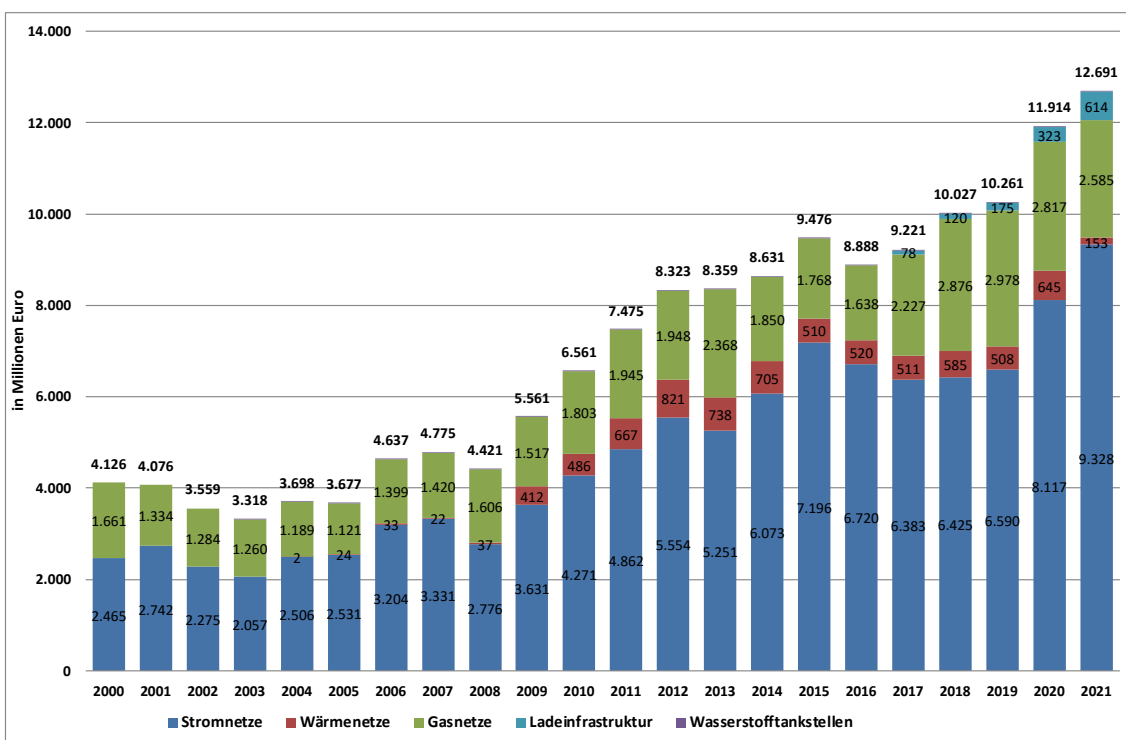
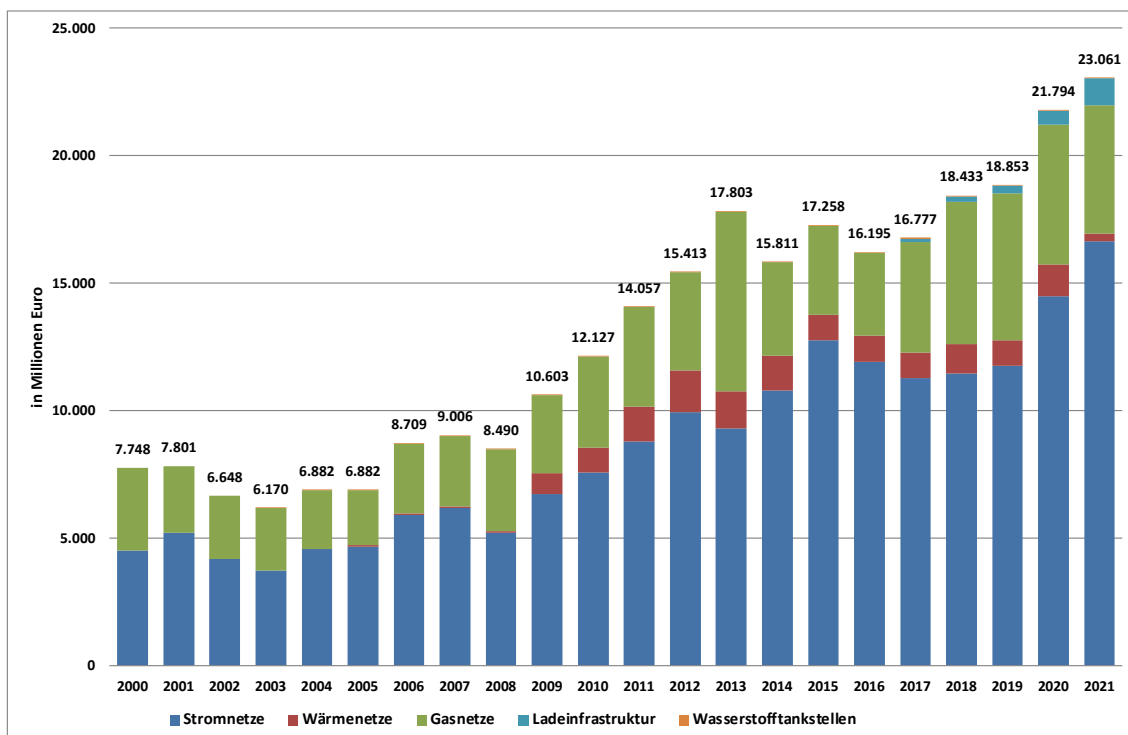


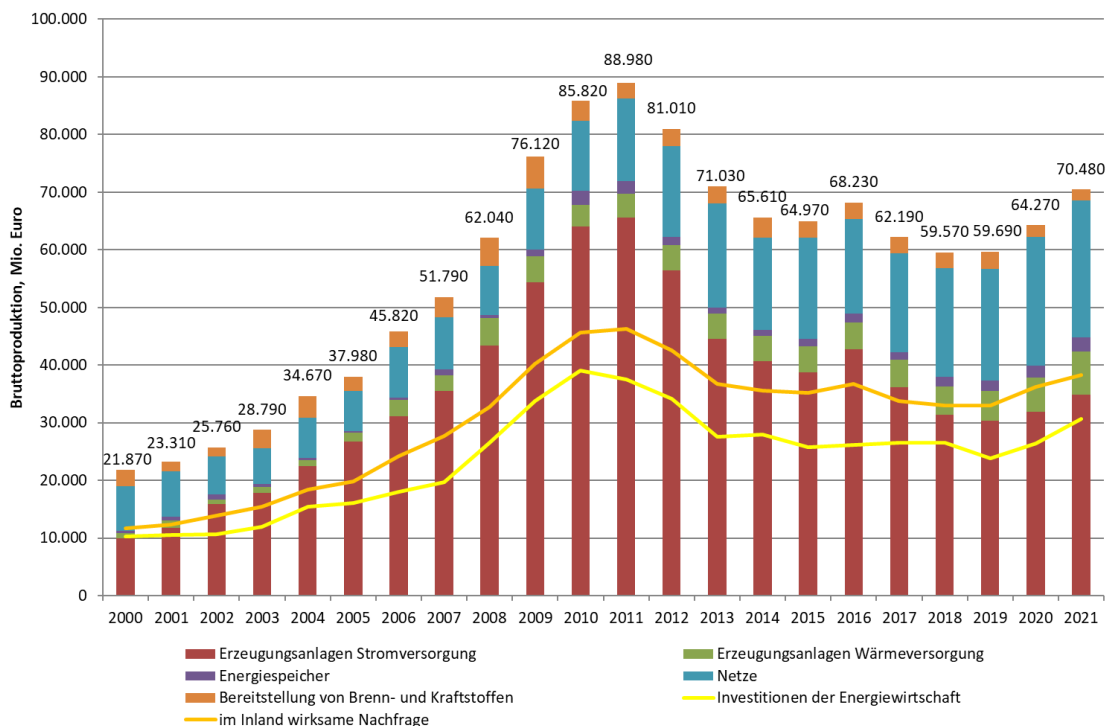
Abbildung 35: Infrastrukturen zur Verteilung von Endenergie, durch Investitionen ausgelöste Bruttoproduktion im Zeitraum 2000 – 2021, in Mio. Euro



4.2.5 ZUSAMMENFASSUNG – BRUTTOPRODUKTION

Insgesamt lag die Bruttoproduktion der durch die Investitionen der Energiewirtschaft ausgelösten wirtschaftlichen Aktivitäten in Deutschland 2021 bei rund 70,5 Mrd. Euro und damit auf einem vergleichbaren Niveau mit den vergangenen Jahren (vgl. Abbildung 36). Zwischen 2000 und 2021 wurden in Summe 1.243 Mrd. Euro durch die deutsche Wirtschaft in diesem Segment erwirtschaftet. Betrachtet man die beiden Linien in Abbildung 36, so wird deutlich, dass die im Inland wirksame Nachfrage nach Investitionsgütern der Energieerzeugung, Speicherung und Verteilung in Summe über den Investitionen in diese Technologien, welche in Deutschland erfolgt, liegen. Daraus wird deutlich, dass Deutschland insgesamt über alle Technologien hinweg einen positiven Außenhandelsaldo vorzuweisen hat.

Abbildung 36: Durch die Investitionen der Energiewirtschaft ausgelöste Bruttoproduktion im Zeitraum 2000 – 2021, in Millionen Euro



4.3 BESCHÄFTIGUNG

Wie im Abschnitt 4.1 ausführlich erläutert, wird die mit den Investitionen in das Energiesystem verbundene Beschäftigung modellmäßig mit dem offenen statischen Mengenmodell der Input- Output-Analyse abgeleitet. Im vorigen Abschnitt wurde für die Investitionsbereiche Bereitstellung von Brenn- und Kraftstoffen, konventionelle Stromerzeugung, Speicher und Infrastrukturen die Entwicklung der im Inland wirksamen Nachfrage und der Bruttoproduktion für den Zeitraum 2000 bis 2017 dargestellt. Die Beschäftigung wird aus der Bruttoproduktion mit Hilfe von jährlichen nach Produktionsbereichen tief disaggregierten Arbeitskoeffizienten rechnerisch abgeleitet. Die Ableitung der Beschäftigungseffekte steht am Ende der untersuchten Wirkungszusammenhänge zwischen Investitionen, Bruttoproduktion und Beschäftigung. Im Ergebnis leiten sich für unterschiedliche Investitionsbereiche unterschiedliche Beschäftigungswirkungen pro 1 Mio. Euro Investitionsnachfrage ab. Die Unterschiede bestehen auf der Ebene der untersuchten Technologien. So ergeben sich zum Beispiel im Bereich der erneuerbaren Energien unterschiedliche Beschäftigungswirkungen für Investitionen in Windenergie an Land im Vergleich zu Photovoltaik.⁷ Genauso gibt es Unterschiede zwischen den Beschäftigungswirkungen von 1 Mio. Euro Investitionsnachfrage nach Wärmenetzen im Vergleich zu Stromnetzen. Die Höhe der ermittelten Beschäftigungseffekte wird also in jedem Jahr (auch) von der Struktur der getätigten Investitionen beeinflusst.

⁷ In Abschnitt 5 wird ausführlich auf die Fundierung und Aktualisierung der IO-Vektoren im Bereich erneuerbare Energien eingegangen.

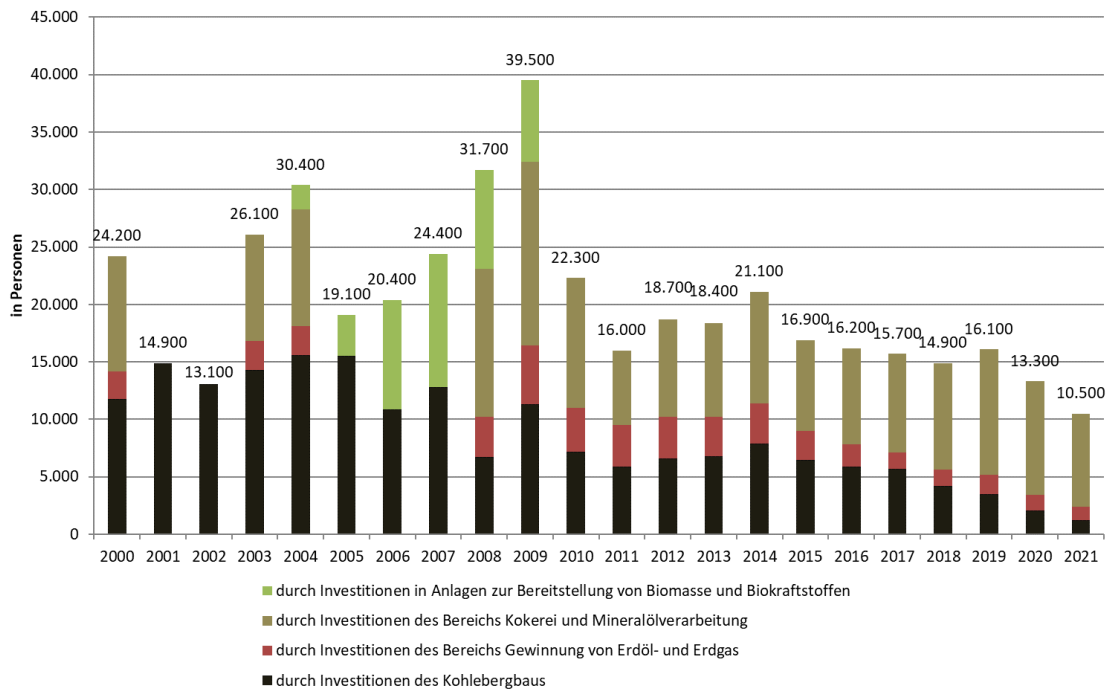
Im Folgenden werden die Ergebnisse dargestellt und kurz kommentiert. Die Beschäftigung umfasst neben der direkten Beschäftigung in den Unternehmen, die Investitionsgüter für den heimischen und den ausländischen Markt liefern, auch die indirekte Beschäftigung, also die Beschäftigung in jenen Unternehmen, die Vorleistungen für den jeweiligen Produktionsprozess liefern. Der Anteil der direkten bzw. indirekten Beschäftigung ist in den einzelnen Investitionsbereichen unterschiedlich. In grober durchschnittlicher Betrachtung entfallen auf die direkte und die indirekte Beschäftigung jeweils rund 50 Prozent der Gesamtbeschäftigung. Die Darstellung der unterschiedlichen Bereiche folgt wiederum der inhaltlichen Gliederung wie sie für die Investitionen in Abschnitt 3 gewählt wurde.

4.3.1 ANLAGEN ZUR BEREITSTELLUNG VON BRENN- UND KRAFTSTOFFEN

Die Beschäftigung, welche aus den Investitionen in die Bereitstellung von Brenn- und Kraftstoffen resultiert, weist eine abnehmende Tendenz auf (vgl. Abbildung 37). Begründet werden kann dies damit, dass zum einen der Ausstieg aus der Nutzung fossiler Energieträger geplant ist, zum anderen aber auch damit, dass die Ressourcen an Erdöl und Erdgas in Deutschland nicht mehr wirtschaftlich erschlossen werden können. Dies erklärt den Rückgang der Investitionen in diesem Bereich und damit einhergehend auch der Beschäftigung.

Die Beschäftigung, welche durch die Investitionen in Anlagen zur Bereitstellung von Biomasse und Biokraftstoffen ausgelöst wird. Konnte an dieser Stelle nicht erfasst werden, da keine geeigneten Datenquellen identifiziert werden konnten, welche eine Ableitung der getätigten Investitionen ermöglicht hätte. Lediglich für die Jahre 2004 bis 2009 wurden in vergangenen Arbeiten die Investitionen und die damit verbundenen Beschäftigten dieses Segments abgeschätzt (vgl. Lehr et al. 2011). Da die Bereitstellung von Biomasse und Biokraftstoffen seither jedoch keine deutliche Dynamik aufgewiesen hat (vgl. Abbildung 7), kann davon ausgegangen werden, dass sich die Investitionen in die Bereitstellung von Pellets, Hackschnitzeln, Pflanzenöl, Biodiesel und Bioethanol seit 2009 eher auf einem geringen Niveau gehalten haben.

Abbildung 37: Bereitstellung von Brenn- und Kraftstoffen, Beschäftigung (direkt und indirekt) durch Investitionen im Zeitraum 2000 – 2021, in Personen



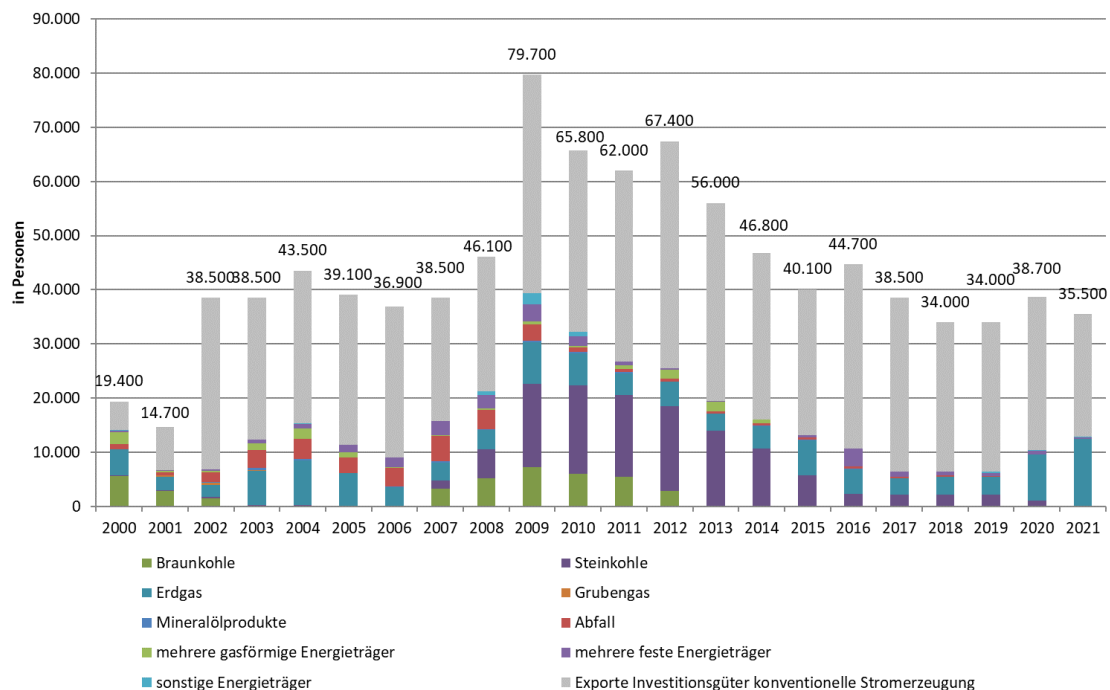
Der Bereich an Brenn- und Kraftstoffen, von dem eine Entwicklung in den kommenden Jahren zu erwarten ist, ist die Bereitstellung von Wasserstoff und dessen Derivaten. Die Investitionen, welche in den vergangenen Jahren hier zu beobachten waren, werden im Rahmen dieser Untersuchung bislang dem Bereich der Speicherung erneuerbaren Stroms zugerechnet (vgl. Kapitel 4.3.3). Streng genommen sind auch die hier beschriebenen Brenn- und Kraftstoffe ebenfalls Energiespeichermedien. Ob die gewählte Gruppierung der verschiedenen Bereiche der Investitionen der Energiewirtschaft daher langfristig so wie hier erfolgt noch sinnvoll ist, muss zu einem späteren Zeitpunkt erneut diskutiert werden.

4.3.2 ANLAGEN ZUR BEREITSTELLUNG VON STROM UND WÄRME

4.3.2.1 Konventionelle Stromerzeugung

Die Beschäftigung, welche aus den Investitionen in Anlagen der konventionellen Stromerzeugung resultiert lag 2021 bei rund 35.500 Personen (vgl. Abbildung 38). In dem betrachteten Zeitraum war die höchste Beschäftigung in diesem Bereich 2009 mit rund 79.700 Personen zu verzeichnen. Der überwiegende Teil der Beschäftigung entfällt dabei über den gesamten Betrachtungszeitraum auf den Export von Gütern für dieses Segment. Der deutsche Markt war zwischen 2009 und 2014 insbesondere durch den Ausbau der (Stein-)Kohlekraftwerke dominiert, seit 2005 ist der relevanteste Bereich der Bau von Gaskraftwerken.

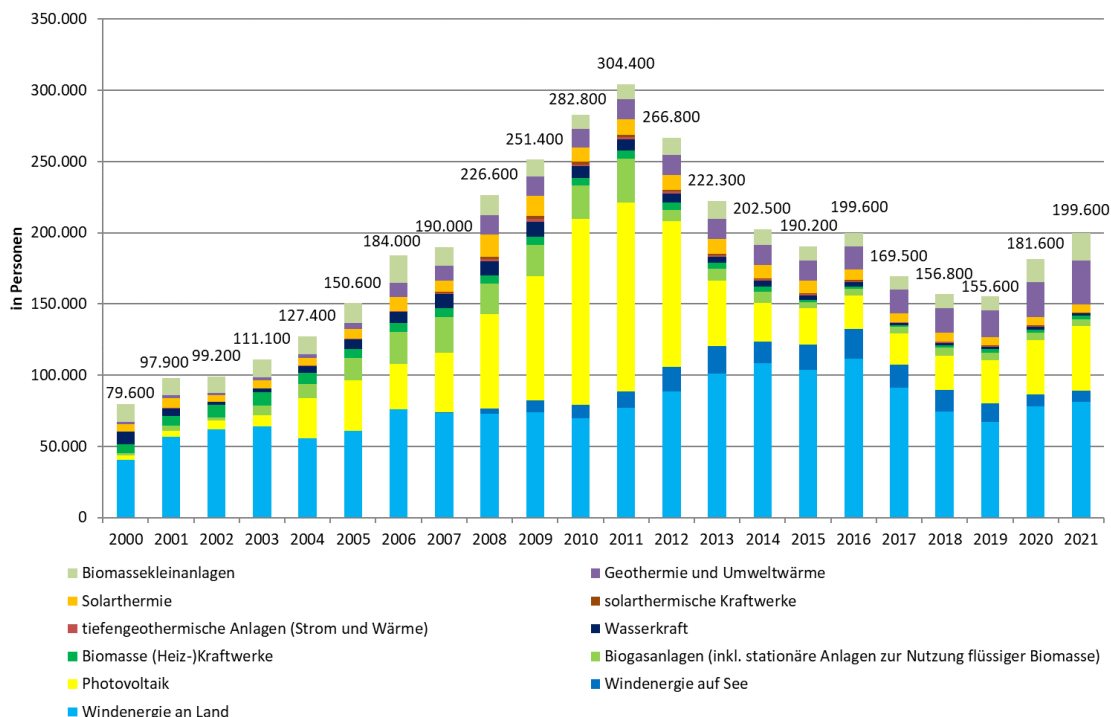
Abbildung 38: Konventionelle Stromerzeugung, Beschäftigung (direkt und indirekt) durch Investitionen im Zeitraum 2000 – 2021, in Personen



4.3.2.2 Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien

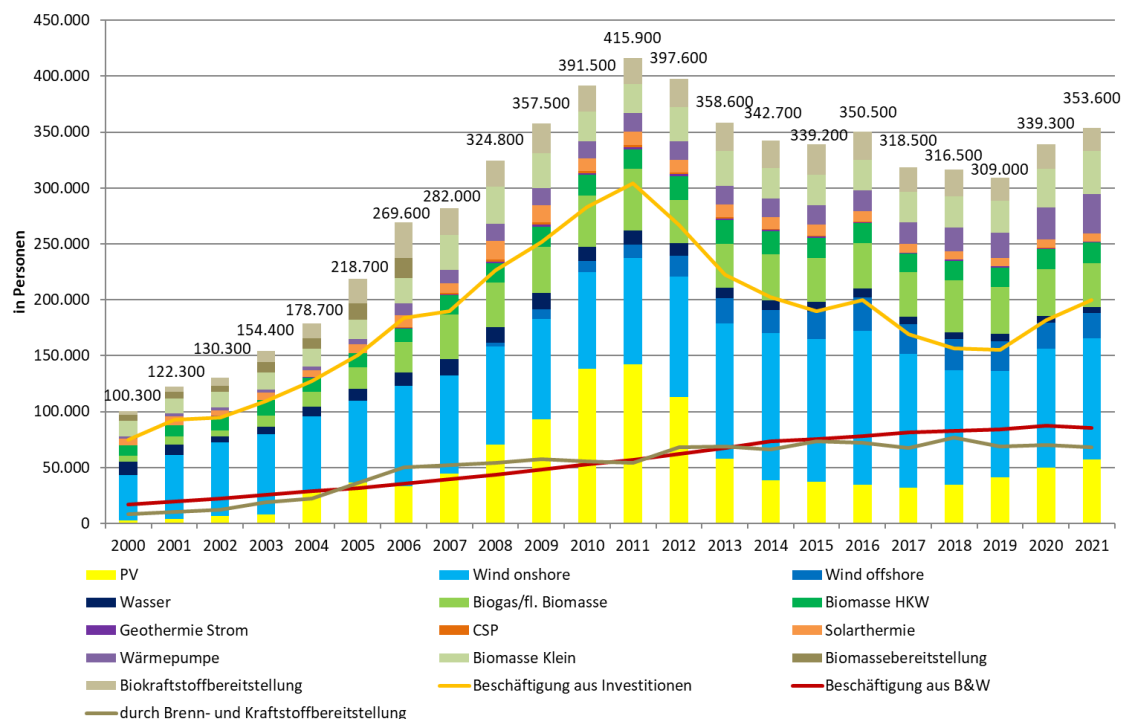
Die Beschäftigung in Deutschland, welche aus den Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien resultiert, ist in Abbildung 39 dargestellt. Ausgehend von 79.600 Personen im Jahr 2000 stieg die Beschäftigung auf rund 304.400 Personen im Jahr 2011 an. Diese Entwicklung war dabei maßgeblich durch den Photovoltaik Sektor getrieben gewesen. Ab 2012 kam es dann zuerst durch eine Reihe von Insolvenzen und später durch den massiven Rückgang des heimischen Marktes zu einer deutlichen Reduzierung der Beschäftigung in diesem Bereich, welche ab 2017 dann auch durch die negative Entwicklung des Windmarktes an Land verstärkt wurde (siehe hierzu auch O’Sullivan et al. 2019). In den vergangenen beiden Jahren deutet sich eine Trendumkehr an, welche sich durch die Ziele der aktuellen Bundesregierung fortsetzen könnte. 2021 waren in Deutschland in Summe 199.600 Personen durch die Investitionen in EE-Anlagen beschäftigt. Davon entfielen 41 % auf die Windenergie an Land und 23 % auf den Photovoltaikausbau. 15% der Beschäftigten waren dem Bereich der oberflächennahen Geothermie zuzuschreiben und 10% den Biomassekleinanlagen.

Abbildung 39: Erneuerbare Energien, Beschäftigung durch Investitionen im Zeitraum 2000 – 2021, in Personen



Bezieht man neben den Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien auch noch den Bereich des Betriebs sowie der Wartung der bestehenden Anlagen und die Bereitstellung von Brenn- und Kraftstoffen in diese Betrachtung mit ein, so lag die Beschäftigung, welche durch die Nutzung von erneuerbaren Energien in Deutschland ausgelöst wurde, 2021 bei rund 353.600 Personen (vgl. Abbildung 40). Damit wird deutlich, dass etwa 56% der Beschäftigung auf die Investitionen in EE-Anlagen entfallen. Die restlichen 44% werden durch den Bereich Betrieb und Wartung der Anlagen (24%) sowie Brenn- und Kraftstoffbereitstellung (20%) ausgelöst. Hinzu kommt, dass diese beiden Bereiche in den vergangenen 22 Jahren einen stabilisierenden Effekt auf die Beschäftigung der Nutzung erneuerbarer Energien ausgeübt haben, da sie durch den Anlagenbestand getrieben sind, welcher eine Lebensdauer zwischen 20 und 50 Jahren hat (vgl. Kapitel 2.1). Obwohl der spezifische Aufwand und die Beschäftigung pro installierter Kapazitätseinheit in der Tendenz sinken, kann es wegen der zunehmenden installierten Leistung auch in Zukunft zu einem weiteren Anstieg der Beschäftigung durch Wartung und Betrieb kommen.

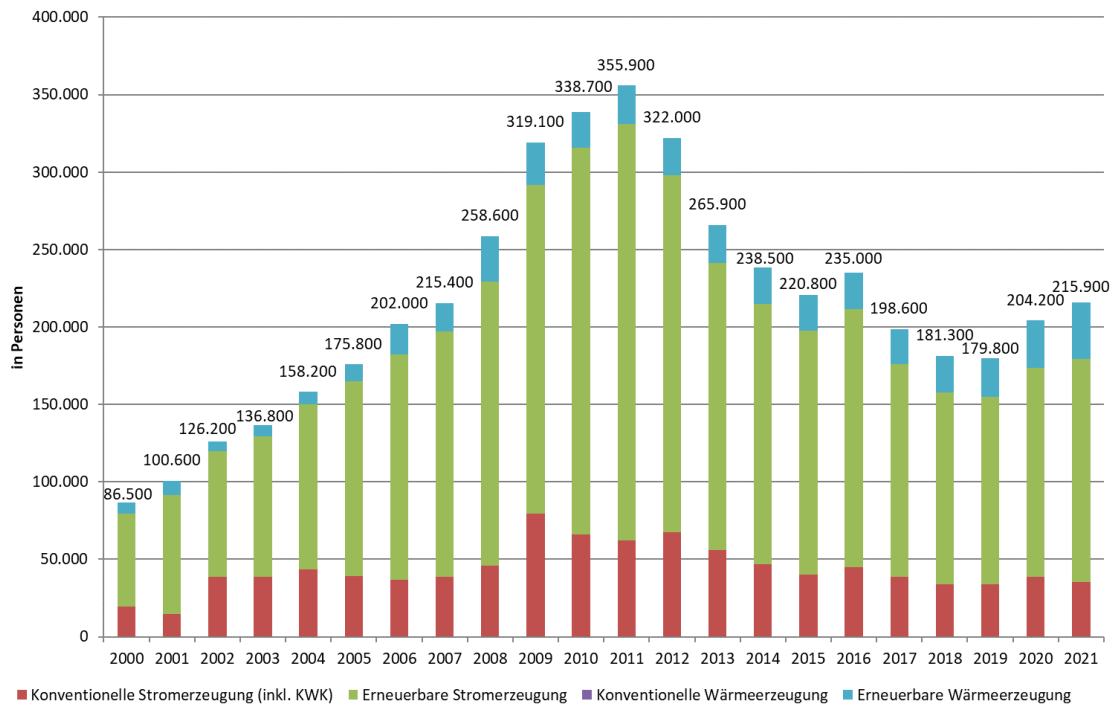
Abbildung 40: Entwicklung der Beschäftigung in der Branche der Erneuerbare Energien in Deutschland im Zeitraum 2000 – 2021, in Personen



4.3.2.3 Zusammenfassung – Bereitstellungsanlagen von Strom und Wärme

In Summe waren 2021 rund 215.900 Personen im Bereich der Herstellung sowie des Baus von Anlagen zur Nutzung von Strom und Wärme in Deutschland beschäftigt (vgl. Abbildung 41). Insgesamt dominiert auch hier die Entwicklung der Investitionen in erneuerbare Anlagen des Stromsektors die Entwicklung. Im Wärmebereich konnte allerdings zuletzt eine Zunahme bei Wärmepumpen konstatiert werden, hier ist die Beschäftigung durch Investitionen von 17.600 Personen auf 30.700 im Jahr 2021 angewachsen. Wie bereits in anderen Kapiteln erwähnt, ist auch diese Übersichtsdarstellung auf die Anlagen zur Bereitstellung von Endenergie beschränkt. Dadurch hat der Wärmesektor eine deutlich geringere Relevanz als der Stromsektor.

Abbildung 41: Erzeugungsanlagen, Beschäftigung durch Investitionen im Zeitraum 2000 – 2021, in Personen

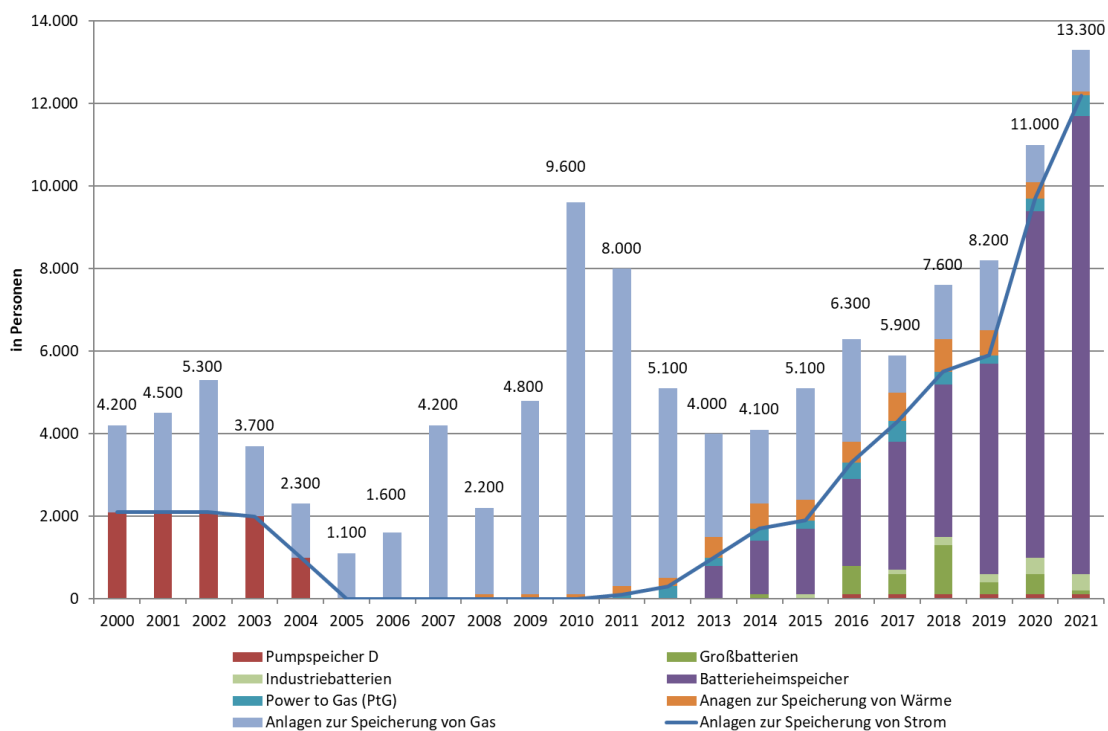


4.3.3 SPEICHER

Der Überblick über die Entwicklung der Beschäftigung, welche durch Investitionen in Energiespeicher in Deutschland ausgelöst wurde, ist in Abbildung 42 gegeben. Zu Beginn des Betrachtungszeitraums war noch ein Pumpspeicherkraftwerk im Bau befindlich, so dass die Entwicklung im Bereich der Energiespeicher sich nicht ausschließlich auf den Gassektor beschränkt hat. Die Investitionen in neue LNG-Terminals im Rahmen des LNG-Beschleunigungsgesetzes, welches am 1. Juni 2022 in Kraft trat, ist im dargestellten Zeitraum noch nicht relevant. Ab 2011 kam es dann zu den ersten Demonstrationsanlagen im Bereich Power-to-Gas⁸, welche ab 2013 durch die Entwicklung der Batteriespeicher ergänzt wurde. Aktuell haben die Investitionen in Batterieheimspeicher mit Abstand den größten Effekt auf die Beschäftigungsentwicklung des Speichersektors in Deutschland. Von insgesamt 13.300 Beschäftigten im Zusammenhang mit Energiespeichern entfielen 91% auf dieses Segment. Über alle Segmente der stationären Nutzung von Batterien verteilt, lag der Beschäftigungsanteil 2021 sogar über 95%.

⁸ Es wird allerdings nur der recherchierte, teilweise auch geschätzte Anteil, der Privatinvestitionen an diesen Demonstrationsanlagen für die Berechnungen verwendet.

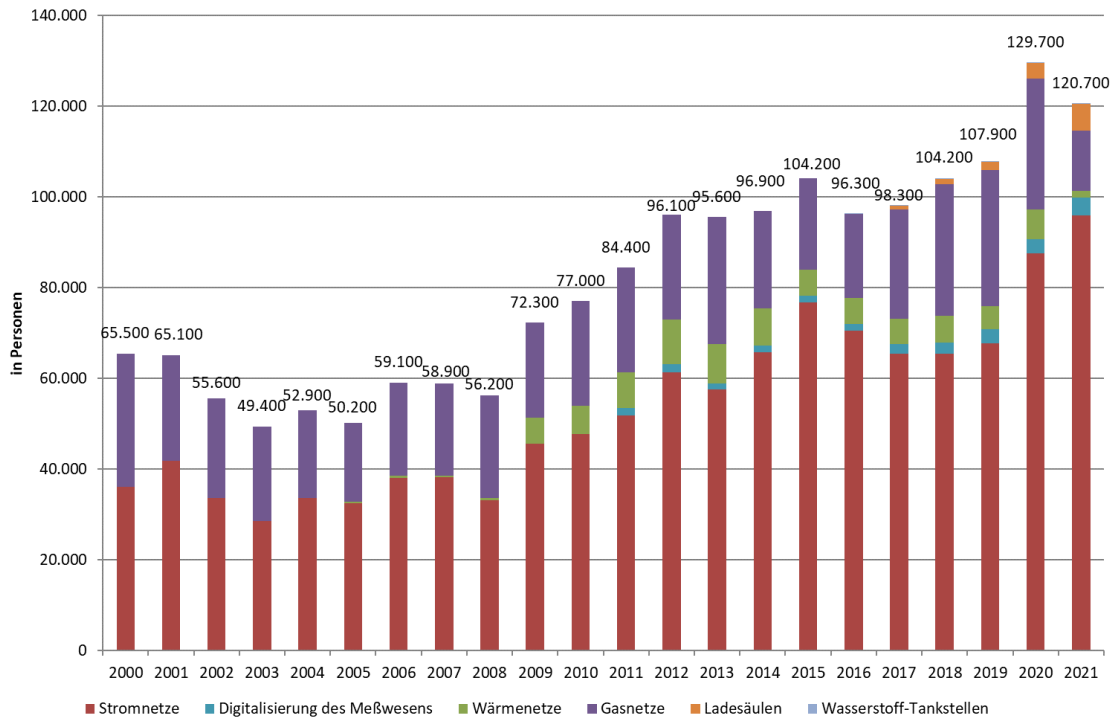
Abbildung 42: Speicher, Beschäftigung (direkt und indirekt) durch Investitionen im Zeitraum 2000 – 2021, in Personen



4.3.4 INFRASTRUKTUREN ZUR VERTEILUNG VON ENDENERGIE

Die Beschäftigung, welche aus den Investitionen in die Infrastruktur zur Verteilung von Endenergie resultiert, belief sich 2021 auf rund 120.700 Personen (vgl. Abbildung 43). Der größte Anteil davon entfiel auf Investitionen, welche in Stromnetzten durchgeführt wurden. Die neuen Segmente der Digitalisierung des Mess- und Zählwesens sowie der Ladesäulen und Wasserstoff-Tankstellen ist aktuell noch auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau, wobei hier aktuell die größte Dynamik zu verzeichnen ist. In Summe belaufen sich die Beschäftigten dieser drei Bereiche auf rund 9.900 Personen.

Abbildung 43: Infrastrukturen zur Verteilung von Endenergie, Beschäftigung (direkt und indirekt) durch Investitionen im Zeitraum 2000 – 2021, in Personen

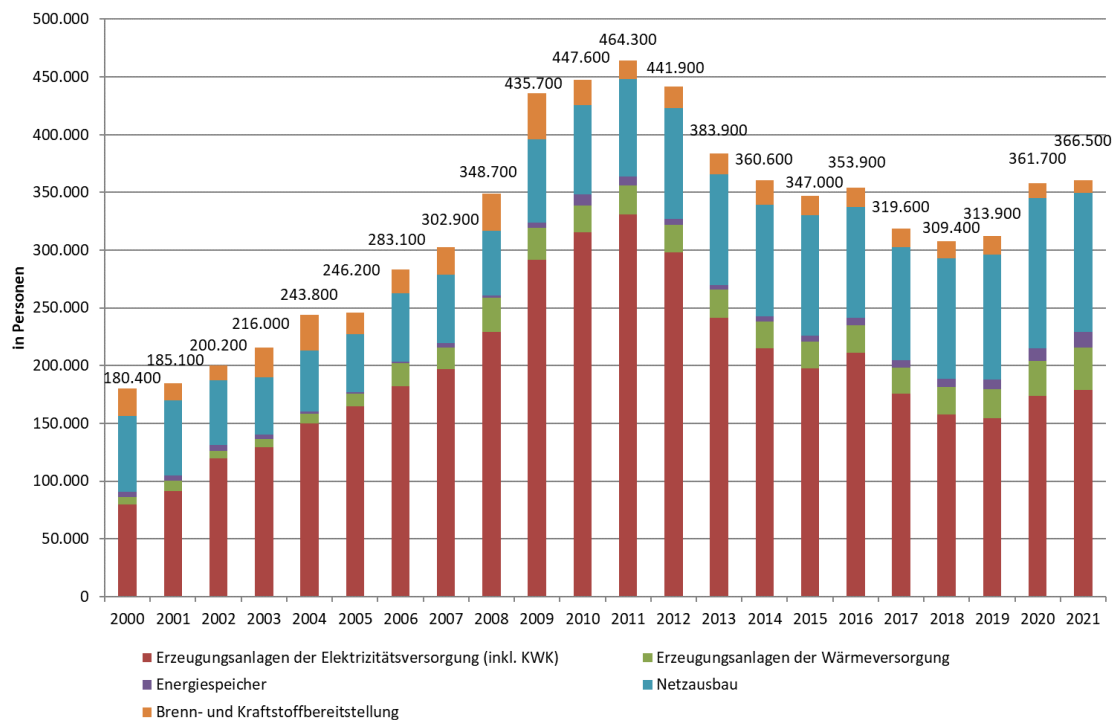


4.3.5 ZUSAMMENFASSUNG – BESCHÄFTIGUNG

Die durch die Investitionsaktivitäten der Energiewirtschaft ausgelöste Beschäftigung in Deutschland lag 2021 bei rund 366.500 Personen (Abbildung 44) und damit etwa auf dem Niveau des Vorjahres. Weite Teile der Investitionsgüterbranche, welche die Energiewirtschaft bedienen, haben dabei in den vergangenen 22 Jahren eine sehr stark schwankende Nachfrageentwicklung bedienen müssen. Dass diese derart schwankend ist, ist dabei insbesondere den jeweiligen Rahmenbedingungen geschuldet. Ausgehend von einer Beschäftigung dieses Segments in Höhe von 180.400 Personen im Jahr 2000 stieg die Beschäftigung auf 462.700 Personen im Jahr 2011. Nach einem Rückgang auf 304.200 Personen im Jahr 2018, stieg die Beschäftigung in den vergangenen Jahren wieder leicht an. Der starke Anstieg der Beschäftigung von 2019 auf 2020 ist dabei aber auch auf Sondereffekte im Kontext der Covid19-Pandemie (Kurzarbeiterregelung⁹) zurückzuführen.

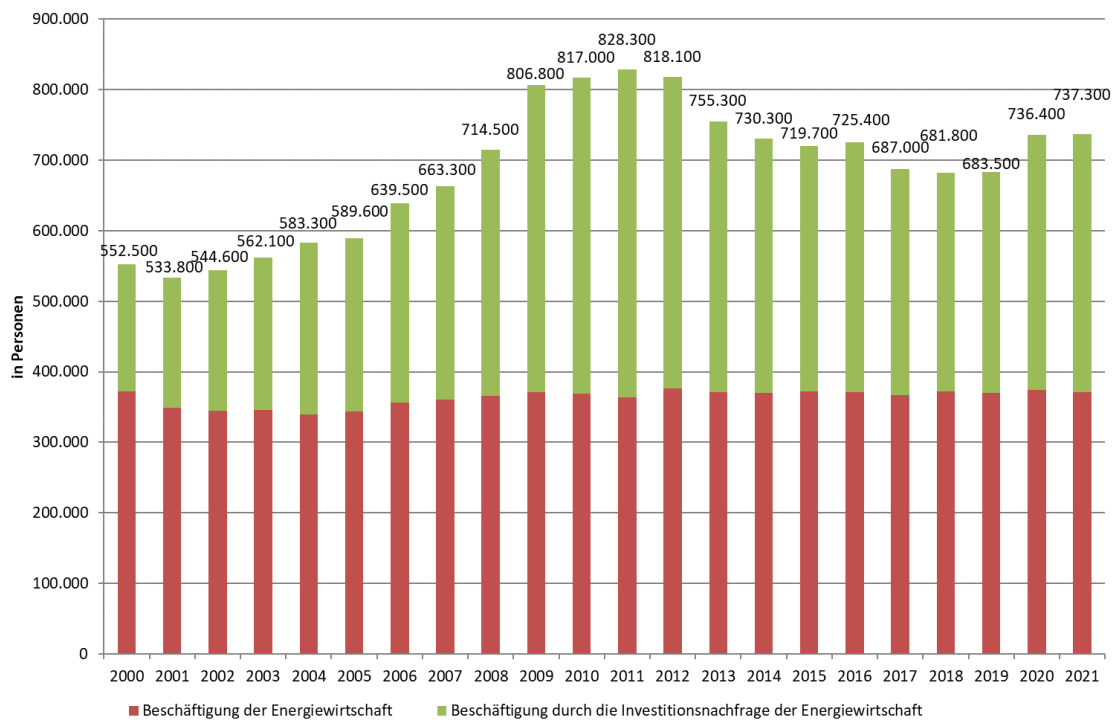
⁹ Vgl. hierzu die Ausführungen in Abschnitt 2.1.

Abbildung 44: Durch Investitionen der Energiewirtschaft ausgelöste Beschäftigung (direkt und indirekt) im Zeitraum 2000 – 2021, in Personen



Bezieht man nun auch die Beschäftigten der Energiewirtschaft selbst in die Betrachtung mit ein, so wird deutlich, dass jährlich 500.000 bis 800.000 Personen durch die Aktivitäten der Energiewirtschaft in Deutschland beschäftigt werden (vgl. Abbildung 45). Mehr als die Hälfte der Beschäftigung, welche durch die Bereitstellung von Endenergie ausgelöst wird, ist dabei in der Energiewirtschaft selbst zu finden ist. In den Jahren hoher Investitionen deuten die Zahlen zwar darauf hin, dass sich das Verhältnis umgedreht hat. Allerdings muss hier berücksichtigt werden, dass für wesentliche Teile der Energiewirtschaft keine indirekten Beschäftigungseffekte abgeleitet werden konnten, so dass die beiden Hauptsegmente nicht direkt zu vergleichen sind.

Abbildung 45: Beschäftigung durch die Aktivitäten der Energiewirtschaft im Zeitraum 2000 – 2021, in Personen



5 FUNDIERUNG DER DATENBASIS FÜR DEN BEREICH ERNEUERBARER ENERGIEN

Die Abschätzung der Beschäftigung im Energiesystem beruht wie in Abschnitt 4.1 erläutert auf dem offenen statischen Mengenmodells der Input-Output-Rechnung. Im Bereich erneuerbarer Energien werden hierzu – in Ergänzung zu den 72 Wirtschaftsbereichen, die in der amtlichen Input-Output-Tabelle ausgewiesen sind – zusätzliche Wirtschaftsbereiche in die Tabelle integriert. Diese beruhen auf technologiespezifischen Input-Output (IO) Vektoren, welche für 11 Technologiebereiche zur Nutzung erneuerbarer Energien abgeleitet wurden.

Die 11 Technologiebereiche, die in den Ergebnisdarstellungen für die erneuerbaren Energien in den vorigen Kapiteln ausgewiesen wurden, umfassen:

- Windenergie an Land (1)
- Windenergie auf See (2))
- Photovoltaik (3)
- Solarthermie (4)
- Wasserkraft (5)
- Biomasse Kleinanlagen (6)
- Biomasse (Heiz-) Kraftwerke (7)
- Biogasanlagen (8)
- Tiefengeothermische Anlagen (9)
- Oberflächennahe Geothermie und Umweltwärme (Wärmepumpen) (10) und
- Solarthermische Kraftwerke (CSP) (11).

Technologiespezifische IO-Vektoren existieren zum einen für die Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien und zum anderen für den Betrieb und die Wartung dieser Anlagen.

Die IO-Vektoren zur Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien basieren unter anderem auf detaillierten Unternehmensbefragungen, welche für die Jahre 2004 (Staiß et al. 2006), 2007 (Lehr et al. 2011) und 2012 (Lehr et al. 2015) durchgeführt wurden. Die Unternehmensbefragungen in den drei Stichjahren wurden ebenfalls genutzt, um detaillierte Informationen über den Export von Komponenten der betrachteten EE-Technologien zu generieren.¹⁰

Die IO-Vektoren für den Bereich Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien wurden nicht auf Basis von Daten aus Unternehmensbefragungen gewonnen, sondern im Wesentlichen durch ausführliche Markterkundung und durch leitfragengestützte Expertenbefragungen. Die letzte inhaltliche Fundierung für den Bereich

¹⁰ Die Exporte von Komponenten haben für die betrachteten Technologien ein unterschiedliches Gewicht, sie haben generell ein deutlich geringeres Gewicht als die im Inland getätigten Investitionen und die Exporte von Anlagen.

Betrieb und Wartung wurde für das Berichtsjahr 2011 durchgeführt (Lehr et al. 2015, insbesondere Kapitel 2.4.1 sowie Thobe, Lehr, Edler 2015).

Im Rahmen dieser Studie wurde für die Aktualisierung der IO-Vektoren für erneuerbare Energien entsprechend dem Studiendesign keine neue Unternehmensbefragung durchgeführt. Eine neue Unternehmensbefragung hätte angesichts der Heterogenität der am Markt beteiligten Unternehmen, insbesondere auch wegen der Notwendigkeit, Zulieferer in die Befragung einzubeziehen, eine große Zahl von Unternehmen aus unterschiedlichen Branchen in die Untersuchung einbeziehen müssen. Dies wäre mit erheblichen Kosten einschließlich der Belastungen der befragten Unternehmen verbunden gewesen. Darüber hinaus haben die Erfahrungen aus den zuvor durchgeführten Unternehmensbefragungen gezeigt, dass es sehr schwierig und aufwendig ist, differenzierte, auf die Informationsbedürfnisse des Untersuchungsansatzes zugeschnittene Ergebnisse zu gewinnen. Aus diesen Überlegungen erschien eine neue Unternehmensbefragung unter den gegebenen Rahmenbedingungen nicht zweckmäßig.

Stattdessen werden alle verfügbaren Quellen herangezogen, die es ermöglichen – ausgehend von den bereits vorliegenden IO-Vektoren – die Weiterentwicklung der EE-Branchen und der dort genutzten Produktionsprozesse zu berücksichtigen. Hierzu werden sowohl öffentliche Statistiken, wie die Außenhandelsstatistik, die Produktionsstatistik oder auch die Erhebung „Umsatz und Beschäftigung für den Umweltschutz“ (Statistisches Bundesamt Fachserie 19 Reihe 3.3) herangezogen. Es wird aber auch ein breites Spektrum anderer Informationsquellen genutzt, wie zum Beispiel die Unternehmenskommunikation der Hersteller. Besondere Relevanz haben bei der Aktualisierung aber auch aktualisierte techno-ökonomische Informationen bezüglich der Technologieentwicklung. Angesichts der besonderen Bedeutung wurde ein Fokus auf die Aktualisierung der Berechnungsgrundlagen für die Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien in den drei Technologiebereichen Windenergie an Land, Windenergie auf See und Photovoltaik gelegt (vgl. Abschnitte 5.3.1, 5.3.2 und 5.3.3). Für die anderen Technologiebereiche wurden vor allem technisch-ökonomische Informationen (Abschnitt 5.1) und weitere Datenquellen (Abschnitt 5.2) ausgewertet.

Die Weiterverarbeitung dieser Informationen zur Fundierung und Aktualisierung der IO-Vektoren wird im Anschluss in Abschnitt 5.4 beschrieben.

5.1 REVISION TECHNO-ÖKONOMISCHER INPUTFAKTOREN

Als technisch-ökonomische Inputfaktoren werden hier Informationen verstanden, welche die Kosten einer Energietechnologie auf Ebene der Komponenten bzw. verschiedenen Dienstleistungen differenziert. Diese Kostenverteilungen wurden in der Vergangenheit bereits für die Jahre 2004, 2007 und 2012 basierend auf Literaturdaten vorgenommen. Eine Veränderung der Kostenverteilung einzelner Technologien gibt dabei erste Hinweise darauf, ob sich die Relationen der verschiedenen zuliefernden Wirtschaftsbereiche zueinander verschoben haben. So wurde in der Vergangenheit beispielsweise bei der Herstellung von PV-Anlagen beobachtet, dass der Kostenanteil der Module an den Gesamtkosten einer Anlage deutlich gesunken ist. Während die Modulkosten 2004 noch etwa 57% der gesamten Investitionskosten einer PV-Anlage ausgemacht haben, lag dieser Anteil 2012 noch bei etwa 43% (Quelle: EEG-Erfahrungsberichte nach §97 EEG).

Für die Aktualisierung dieser Kostenverteilungen wurden verschiedene Informationsquellen auf ihre Tauglichkeit hin untersucht. Für die Windenergie sowie die Photovoltaik wurden Daten aus den USA von NREL (2020) identifiziert, welche in einer historischen Zeitreihe jährlich berechnet werden. Insbesondere die Existenz einer Zeitreihe, die den Verlauf der Entwicklung widerspiegelt, ist dabei interessant. Eine Analyse der Daten hat jedoch gezeigt, dass nicht die Kostenentwicklung einzelner Komponenten entscheidend für die zu beobachtende Veränderung war, sondern vielmehr die Veränderung in der Anlagenkonfiguration. Da sich die Daten aus den USA jedoch in vielfacher Hinsicht, von der Situation in Deutschland unterscheiden, wurden diese Daten schlussendlich nicht für die Aktualisierung der techno-ökonomischen Inputfaktoren berücksichtigt, die in der hier vorliegenden Untersuchung herangezogen werden. Zur Begründung ist hier vor allem zu nennen, dass sich die installierten Anlagen in den USA durch ihre Spezifikationen wie Leistung, Höhe, Standort aber auch durch die Einkommensstrukturen vom deutschen Markt unterscheiden.

Weitere Datenquellen, die ansonsten bezüglich der Kostenaufteilung auf Komponentenebene zur Verfügung stehen, beziehen sich auf eine spezifische Anlage und ihre Auslegung. Um einen Überblick über die Gesamtheit der im deutschen Markt zugebauten Anlagen zu erhalten, sind diese daher nur bedingt aufschlussreich, insbesondere, da sie keinen Schluss auf die Entwicklung im Vergleich zu den letzten verwendeten Kostenverteilungen zulassen.

Als die am besten geeigneten Quellen für die Entwicklung der Kostenaufteilung auf Komponentenebene haben sich daher die wissenschaftlichen Berichte im Rahmen der Evaluierung verschiedener Förderprogramme (EEG-Erfahrungsberichte nach §97 EEG) in Deutschland herausgestellt.

5.2 WEITERE DATENQUELLEN

Neben der Aktualisierung der techno-ökonomischen Inputfaktoren wurde der Versuch unternommen über zusätzliche Datenquellen Informationen zum aktuellen Stand der Industriestruktur der verschiedenen EE-Sparten zu gewinnen. Dabei bietet sich eine Reihe verschiedener Datenquellen an.

An erster Stelle stehen hier verschiedene offizielle Statistiken, wie die Produktionsstatistik (StaBuA 2022d) oder auch die Außenhandelsstatistik (StaBuA 2022e) des Statistischen Bundesamtes. Des Weiteren ist mit der Erhebung "Umsatz und Beschäftigung für den Umweltschutz" eine weitere offizielle Quelle hinzugekommen (StaBuA 2022c), die in den letzten Erhebungsjahren wertvolle Informationen liefert.

Des Weiteren gibt es eine Reihe weiterer Informationsquellen, welche von Unternehmen oder Verbänden zur Verfügung gestellt werden, wie eine Übersicht der Marktanteile verschiedener Anbieter einer Technologie oder auch Geschäftsberichte oder Nachhaltigkeitsberichte, welche im Rahmen der Unternehmenskommunikation veröffentlicht werden.

Bei all diesen Quellen besteht jedoch die Herausforderung, dass sie nicht im gleichen Maße für alle EE-Technologien vorliegen oder anwendbar sind. Die größte Herausforderung bei den amtlichen Quellen, wie der Produktionsstatistik bzw. der

Außenhandelsstatistik ist, dass nicht alle relevanten Technologien oder deren Komponenten im Einzelnen identifiziert werden können. Darüber hinaus werden einige der ausgewiesenen Technologien nicht spezifisch für die Nutzung in EE-Anlagen genutzt, so dass sich häufig das Multi-Usage-Problem stellt. Lediglich in einzelnen Bereichen, wie der Windenergie oder den Wasserturbinen sind die amtlichen Daten daher direkt aussagekräftig. Bei der Produktionsstatistik gab es für 2019 eine Umstellung der Erhebung, so dass nun beispielsweise die Bereiche der Photovoltaik eine höhere Auflösung erfahren.¹¹ Gleichzeitig deuten die Daten der Statistik jedoch ebenso darauf hin, dass die Daten vor 2019 mit den Daten ab 2019 nicht mehr direkt vergleichbar sind. Die Quelle, welche hier die beste technologische Auflösung vorweist, ist hier die Erhebung "Umsatz und Beschäftigung für den Umweltschutz". Hier besteht die Herausforderung jedoch darin, dass die Ergebnisse lediglich die Informationen jener Unternehmen erfasst, welche in jeweiliges Jahr zum Berichtskreis gehörten und ihre Informationen geteilt haben. Dies wird insbesondere bei einer genauen Betrachtung der Daten zur Windenergie deutlich, welche zwischen einzelnen Jahren deutliche Sprünge im Umsatz erkennen ließ, welche im Vergleich mit Ergebnissen aus der Produktionsstatistik oder der Außenhandelsstatistik nicht plausibel sind.

Was die Daten angeht, welche aus dem Bereich der Unternehmenskommunikation stammen, so sind auch diese sehr unterschiedlich insbesondere in Bezug auf ihre Transparenz. Unternehmensspezifische Daten sind insbesondere dann besonders hilfreich, wenn diese mit einer Übersicht der Marktanteile verschiedener Unternehmen kombiniert werden können. Für den Großteil der EE-Technologien ist die Datenbeschaffung über die Unternehmenskommunikation jedoch nicht möglich. Die Gründe hierfür liegen zum einen darin, dass meist nur größere Unternehmen ihre Unternehmenszahlen im Rahmen eines regelmäßigen Reportings veröffentlichen und dies auf den Großteil der EE-Unternehmen in Deutschland nicht zutrifft. Zum anderen gibt es in vielen Technologien aber auch keine übergeordnete Marktübersicht, wodurch die Einordnung einzelner Unternehmensdaten auf die Gesamtheit der Unternehmen in einem Technologiebereich nahezu unmöglich wird.¹²

In Summe konnten nur für die Bereiche Windenergie an Land, Windenergie auf See sowie Photovoltaik umfassende neue Erkenntnisse zur aktuellen Industriestruktur in Deutschland gewonnen werden. Die übrigen technologiespezifischen Input-Output-Vektoren stützten sich weiterhin teilweise auf die Erkenntnisse der Unternehmensbefragungen, welche für die Jahre 2004, 2007 und 2012 durchgeführt wurden sowie auf eine Fundierung und Aktualisierung der technisch-ökonomischen Inputfaktoren (Abschnitt 5.1). Eine genaue Darstellung der Zusammenführung der gewonnenen Erkenntnisse für die drei besonders in den Fokus genommenen EE-Sektoren erfolgt im folgenden Abschnitt.

¹¹ Der Code 261122401 hat in den Jahren vor 2019 für den Bereich der Solarzellen gestanden, welcher Zellen und Module in Summe dargestellt hatte. Nun sind diese als Zellen (GP19-261122402) und Module (GP19-261122403) separat ausgewiesen.

¹² Die Fachzeitschrift Sonne, Wind und Wärme, die solche Marktübersichten vor 10 Jahren noch geliefert hat, wurde eingestellt.

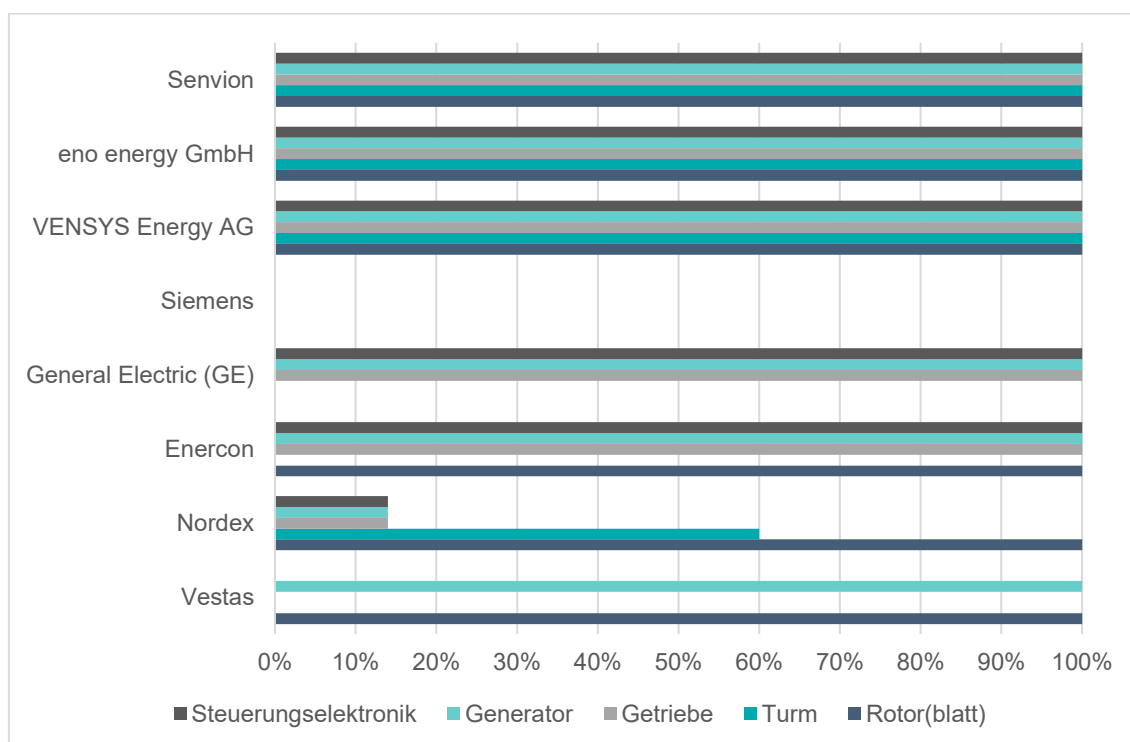
5.3 ZUSAMMENFÜHRUNG DER DATENQUELLEN

5.3.1 WINDENERGIE AN LAND

Der IO-Vektor für den Bereich Windenergie an Land wird anhand von Dokumenten der Unternehmenskommunikation der drei größten Hersteller in Deutschland mit einem Marktanteil von insgesamt 97% (Wert für 2019) ermittelt (FA Wind, 2018). Hierzu wurden spezifische Informationen zu den produzierten Komponenten der Hersteller inklusive ihrer Vorleistungsstrukturen zusammengetragen. Insbesondere kann dadurch die Wertschöpfungstiefe in Deutschland besser abgeschätzt werden.

Abbildung 46 zeigt die jeweilig ermittelten Wertschöpfungstiefen der verschiedenen Hersteller. Entscheidend für die deutschlandweite Produktionstiefe sind die drei größten Hersteller Enercon, Vestas und General Electric mit insgesamt über 80 % Marktanteil in Deutschland.

Abbildung 46: Wertschöpfungstiefe in Deutschland von Windenergieanlagenherstellern (2010-2019) (auf Basis eigener Recherche)

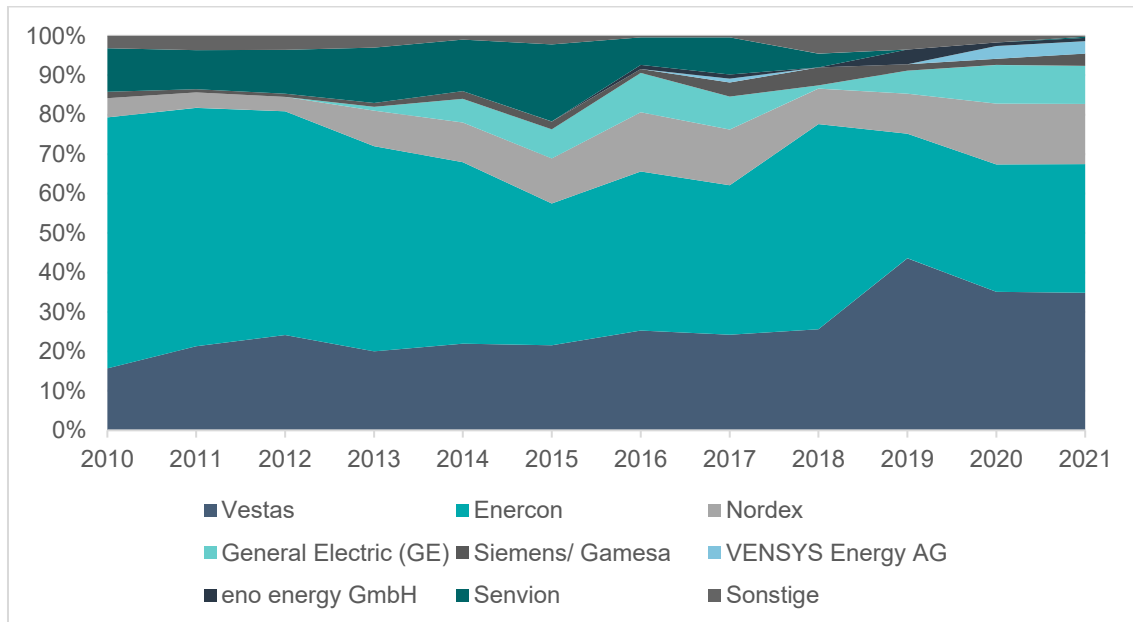


Zur Interpretation der Abbildung ist es wichtig zu erwähnen, dass die Wertschöpfungstiefe auf die Eigenfertigung bezogen ist. Sind Komponenten nicht in Eigenfertigung hergestellt, wie zum Beispiel die Türme bei Enercon, kann der zuliefernde Betrieb trotzdem in Deutschland ansässig sein. Informationen über solche Zulieferer wurden weitestgehend erfasst und in den weiteren Berechnungen berücksichtigt.

In einem weiteren Schritt werden die Produktionsstrukturen der Anlagenhersteller inklusive der Zuliefererstrukturen mit den jeweiligen Marktanteilen gewichtet. Die jahresspezifischen Marktanteile sind in Abbildung 47 dargestellt. Es wird deutlich, dass sich der Marktanteil Enercons in dem betrachteten Zeitraum fast halbiert hat. Auch Senvion konnte sich nicht am Markt halten und musste 2019 ein Insolvenzverfahren einleiten.

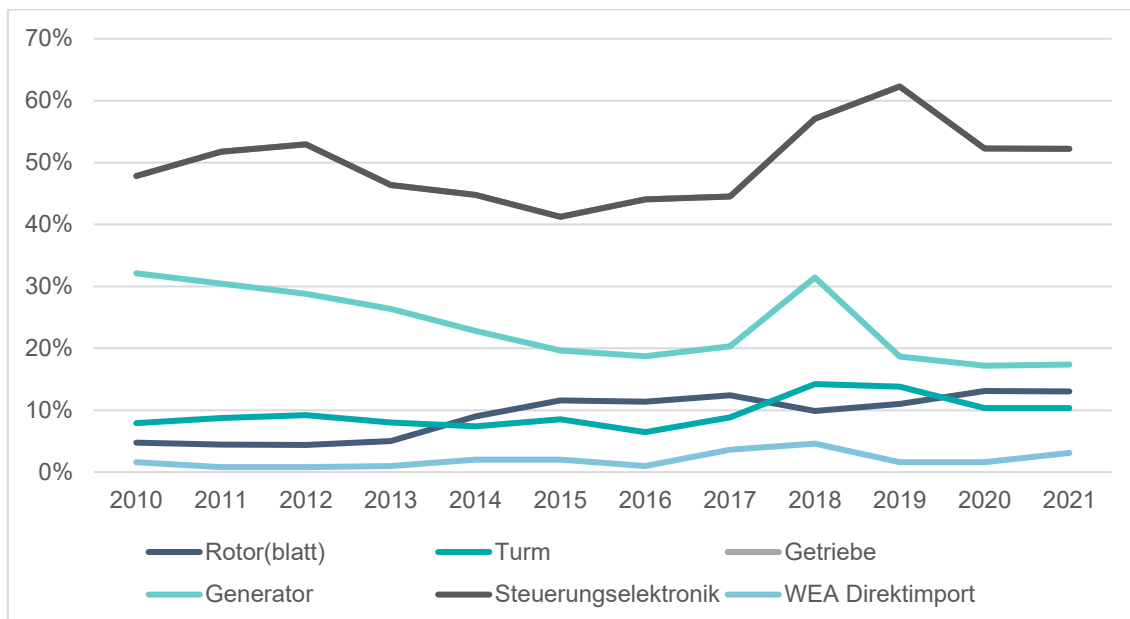
Da Enercon und Senvion inklusive der Zulieferbetriebe eine sehr hohe Produktionstiefe innerhalb Deutschlands aufwiesen, wird sich der Rückgang dieses Marktanteils auch in der gesamten deutschen Wertschöpfungstiefe bei der Herstellung von Windenergieanlagen widerspiegeln.

Abbildung 47: Marktverteilung der Onshore-Windenergieanlagenhersteller von 2010 bis 2021 (Quelle: FA Wind 2018 und Bernotat et al. 2015)



In Abbildung 48 werden die beiden vorangestellten Datenquellen zusammengeführt und es ergeben sich die komponentenweisen Importquoten im Zeitverlauf. Es wird deutlich, dass die Wertschöpfungstiefe in Deutschland bei der Steuerungselektronik deutlich geringer ist als bei anderen Komponenten. Mit Blick auf andere Industriezweige, wie zum Beispiel die Automobilindustrie ist diese Besonderheit auch zu erwarten. Während Vestas die Steuerungselektronik komplett aus Dänemark importiert, wurde bei Enercon auf Basis der Recherche eine 100-prozentige Eigenfertigung in Deutschland unterstellt. So führt ein Anstieg des Marktanteils von Vestas ab dem Jahr 2018 zu einem Anstieg des Imports von Steuerungselektronik für Windkraftanlagen (Anstieg 2017-2019 von 18 %).

Abbildung 48: Komponentenweise Importquoten auf Basis der Marktverteilung und den geschätzten Wertschöpfungstiefen der Windanlagenhersteller (2010-2021) (eigene Berechnungen)



Unter Verwendung der dargestellten Methodik wurde somit ein IO-Vektor erstellt, der die tatsächliche Produktionsstruktur in Deutschland widerspiegelt und nicht die Investitionsstruktur, was durch die geringe Anzahl an Akteuren und die gute Informationslage ermöglicht wird. In keinem anderen Sektor der EE-Branche ist ein solches Vorgehen möglich.

Die getätigten Gesamtinvestitionen in Windenergieanlagen in Deutschland werden anhand der Kostenaufteilung und der recherchierten Wertschöpfungstiefe auf die einzelnen Komponenten verteilt. Für die betrachteten Komponenten werden anhand von Unternehmensangaben die Vorleistungsanteile (aus dem Inland oder importierte VL) abgeschätzt.

Die Exportentwicklung wird an die Entwicklung der Exporte nach Comtrade HS-850231 (WEA) gekoppelt. Die Basis bilden die Werte aus den Umfragen. Zusätzliche Auswertungen der Geschäftsberichte von Enercon und Nordex haben gezeigt, dass die Größenordnung der Unternehmensexporte plausibel ist. Trotz anderer Herangehensweise ist die identifizierte im Inland wirksame Leistung mit StaBuA 2022c („Waren, Bau, Dienstleistungen“) vergleichbar.

Die dadurch bestimmte Gesamtexportmenge wird für die Bestimmung der durchschnittlichen Produktionstiefe auf die beiden deutschen Hauptexporteure Nordex (45%) und Enercon (55%), abgeleitet aus Geschäftsbericht, aufgeteilt. Die Verteilung wird fix gehalten, da Ableitung aus Geschäftsberichten unsicher. Die „Produktionstiefe“ der Komponentenherstellereporte werden nach den Ergebnissen der Umfragen und einer Nachrecherche fix festgelegt.

5.3.2 WINDENERGIE AUF SEE

Im Bereich der Windenergie auf See gibt es aktuell im Vergleich zu 2012 keinen Hersteller mehr, der vollständige Anlagen in Deutschland produziert. Siemens als ein wichtiger

Akteur im Bereich des Windenergieausbaus auf See hat den Großteil seiner Produktionskapazitäten historisch bedingt in Dänemark. Die neue Gondelproduktion sowie Planungsleistungen werden von Deutschland aus vorgenommen. Im Wesentlichen werden die Umsätze, welche in Deutschland erzielt, werden damit durch Komponentenhersteller und Dienstleister erbracht. Für die Bestimmung des Input-Output-Vektors für 2019 wurden daher die wirtschaftlichen Aktivitäten dieser Unternehmen an im Bau befindlichen Anlagen zusammengestellt.

Hierzu wurden wesentliche Informationen, welche für die Ermittlung der im Inland wirksamen Nachfrage zusammengetragen werden, gesammelt und aufbereitet. Die Investitionen in die Windparks Trianel Borkum II, Deutsche Bucht, Hohe See und Albatros welche sich 2019 noch im Bau befanden, stellen dabei die Grundlage der Überlegungen dar. Die Investitionen werden dabei anhand der theoretischen techno-ökonomischen Verteilung (siehe Kapitel 5.1) aufgeteilt und anhand der Informationen, welche für die einzelnen Projekte verfügbar sind, über die Bauzeit verteilt. Darüber hinaus wird berücksichtigt, welche der Teilarbeitsschritte und Komponenten von in Deutschland ansässigen Unternehmen bedient werden.¹³

¹³ Eine Studie zur maritimen Wertschöpfung in Deutschland (ISL et al. 2021) untersucht als Teilbereich die Wertschöpfung und Beschäftigung durch die Offshore-Windindustrie. In der Studie werden Ergebnisse für das Berichtsjahr 2018 dargestellt. Im Gegensatz zur hier gewählten Abgrenzung wird die Netzanbindung an das Übertragungsnetz an Land als Teil der Offshore-Windenergie betrachtet (ISL et al. 2021, S. 22), Weitere Unterschiede ergeben sich im methodischen Vorgehen. Es werden Ergebnisse einer anderen Studie (Wind:research 2019) genutzt, um über den Hilfsindikator Beschäftigung Zuordnungen von Wertschöpfungsstufen zu Wirtschaftszweigen vorzunehmen. Eine eindeutige und vollständige Zuordnung ist nur für einzelne Stufen möglich, für die überwiegende Mehrheit der Zuordnung sind zusätzliche Informationen aus der Sekundärliteratur berücksichtigt worden (ISL et al. 2021, S. 168), die nicht im Einzelnen spezifiziert sind. Der Vorleistungsvektor für Offshore-Wind entsteht durch Gewichtung und Addition mit Beschäftigungsanteilen als Gewichtungsfaktor. Die Studie berücksichtigt zusätzlich zu den direkten und indirekten Effekten noch sogenannte „induzierte“ Effekte, die einen Einkommensmultiplikator abbilden. Wegen der inhaltlichen und methodischen Unterschiede ist ein Vergleich der Ergebnisse nicht direkt möglich. Angesichts des Volumens der im Jahr 2018 getätigten Investitionen in neue Offshore-Windanlagen und der geschätzten Ausgaben für Wartung und Betrieb erscheint die ermittelte Beschäftigung von 64.000 Personen (82.200 einschließlich Multiplikatoreffekt) jedoch hoch.

Die Verteilung, die sich dabei für 2019 herauskristallisiert hat, wird in Tabelle 3 dargestellt. Dabei sei darauf hingewiesen, dass 2018 die letzten Rotorblätter für offshore Windenergieanlagen in Deutschland hergestellt worden sind. Seither ist die Produktion eingestellt.

Tabelle 3: Verteilung der wirtschaftlichen Aktivitäten im Zusammenhang mit den Investitionen in Windenergieanlagen auf See 2019 (eigene Ermittlung)

| Produkt | Verteilung 2019 |
|---------------|-----------------|
| Turm | 6% |
| Gondel | 47% |
| Netzanbindung | 5% |
| Fundament | 9% |
| Umspannwerk | 6% |
| Planung | 16% |
| Installation | 11% |

5.3.3 PHOTOVOLTAIK

Die Informationslage zu den Produktionsmengen der PV-Industrie ist in der Vergangenheit durch eine Reihe von Quellen erhoben und veröffentlicht worden. Zu nennen ist hier zum einen die Zeitschrift Photon, welche zwischen 2001 und 2014 in der ersten Ausgabe eines Jahres die produzierten Mengen an Wafern, PV-Zellen und -Modulen unternehmensscharf publiziert hat (Photon 2022). Ab 2006 kamen dann zusätzlich die vorhandenen Produktionskapazitäten hinzu, ebenso wie der Bereich Solarsilizium. Darüber hinaus wurden zwischen 2009 und 2012 auch noch die Produktion und die Kapazitäten für Wechselrichter spezifisch ausgewiesen. Im Anhang sind Auswertungen der Komponentenproduktion in Deutschland bis 2015 dargestellt.

Darüber hinaus wurden von Germany Trade and Invest (GTAI) eine Zusammenstellung aller Unternehmen der Modulwertschöpfungskette zwischen 2004 und 2015 vorgenommen, in der sowohl die vorhandenen Produktionskapazitäten als auch die Beschäftigung standortspezifisch ausgewiesen wurden (GTAI 2022).

Nach 2015 sind jedoch keine weiteren Informationen zu den spezifischen Entwicklungen der PV-Industrie in Deutschland mehr veröffentlicht worden, was mit dem starken Abschwung dieses Industriezweiges zu erklären ist und dem damit einhergehenden abnehmenden Interesse.

Im Rahmen der hier vorliegenden Untersuchung wurde ausgehend von den historischen Daten jährlich der Versuch vorgenommen eine Fortschreibung der Entwicklung vorzunehmen (vgl. O'Sullivan et al. 2019). Hierzu wurde die Entwicklung der wichtigsten Komponenten (Zellen, Module, Wechselrichter) spezifisch anhand der Außenhandelsentwicklung fortgeschrieben. Darüber hinaus wurde eine eigene Recherche zu den seit 2019 bestehenden Produktionskapazitäten von Zellen und Modulen in Deutschland durchgeführt, welche durch Hinweise anderer Forschungseinrichtungen, wie dem

Fraunhofer ISE unterstützt wurde (vgl. Tabelle 4). Die Ergebnisse wurden dazu genutzt, die durch die Weiterschreibung gewonnenen Umsätze und die damit verbundenen Kapazitäten zu plausibilisieren. Informationen zu Produktionsmengen konnten dabei nicht identifiziert werden.

Tabelle 4: Übersicht über Produktionskapazitäten von PV-Modulen und -Zellen (eigene Recherche)

| Produkt | Unternehmensname | 2019 | 2020 | 2021 |
|------------------|--|-------------------|--------------|--------------|
| Zellen | Meyer Burger | 0 | 0 | 400 |
| | Oxford PV | 0 | 0 | 125 |
| | Summe Silizium-Zellen | 0 | 0 | 525 |
| SI-Module | aleo solar GmbH/ SCP Solar | 280 | 280 | 300 |
| | SOLARWATT | 200 | 200 | 500 |
| | Sonnenstromfabrik | 325 | 325 | 525 |
| | ALGATEC Solar | 105 | 105 | 105 |
| | Heckert Solar | 300 | 300 | 300 |
| | LWD Solar GmbH (Tochter von Heckert Solar) | 0 | 0 | 400 |
| | asola | 45 | 45 | 45 |
| | GES/ GSS | 20 | 20 | 20 |
| | Sunset Solar | 40 | 40 | 40 |
| | solarnova | 85 | 85 | 85 |
| | Astronergy | 350 | 350 | 350 |
| | AxSun Solar | 50 | 50 | 50 |
| | Soluxtec | 250 | 250 | 550 |
| | Meyer Burger | 0 | 0 | 400 |
| | Summe Silizium-Module | 2.050 | 2.050 | 3.670 |
| | CIGS | Solibro (Hanergy) | 110 | 110 |
| AVANCIS | | 120 | 120 | 120 |
| CdTe | TS Solar GmbH | 85 | 85 | 85 |
| | Antec | 20 | 20 | 20 |
| GaAs | Azur Space Solar Power | 300 | 300 | 300 |
| OPV | Heliatek | 2 | 2 | 100 |
| | Summe Dünnschichtmodule | 637 | 637 | 625 |

Die Wertschöpfungsanteile, welche sich 2019 aus all diesen Überlegungen für die deutsche Wirtschaft ergeben, sind in Tabelle 5 dargestellt. Hier wird deutlich, dass die Modulproduktion einen deutlich geringeren Anteil an der im Inland wirksamen Leistung des

PV-Sektors hat, als die anhand der Investitionsverteilung zu erwarten wäre. Hintergrund ist hier der hohe Importanteil der spezifischen Produkte. Des Weiteren wurde aus der Zusammenstellung in Tabelle 4 abgeleitet, dass 23,7% der Zellen aus dem Inland stammten und der Rest ebenfalls importiert worden ist. Hier ist wichtig darauf hinzuweisen, dass es sich bei diesen Zellen nicht um Siliziumbasierte Zellen handelt, da es hierzu 2019 keine Produktion in Deutschland gab. Vielmehr wird hierunter der Anteil der Dünnschichtmodul-Produktion verstanden, welche die Wertschöpfungsstufe der Zellherstellung nicht hat.

Tabelle 5: Wertschöpfung der deutschen PV-Industrie 2019 (eigene Ermittlungen)

| | Verteilung der Investitionen | Verteilung der im Inland wirksamen Nachfrage |
|------------------------------|-------------------------------------|---|
| Module | 34,0% | 13,9% |
| Wechselrichter | 11,0 % | 29,1 % |
| Unterkonstruktion | 7,5 % | 7,8 % |
| Kabel, Netzanschluss | 15,0 % | 15,6 % |
| Planung, Gerüst, etc. | 12,5 % | 13,0 % |
| Montage | 20,0 % | 20,7 % |
| Summe | 100 % | 100 % |

Bei den Wechselrichtern wird hingegen deutlich, dass die im Inland wirksame Nachfrage deutlich höher liegt, als sich aus den Investitionen in Deutschland schließen lassen könnte. Dies zeigt den bereits zuvor beschriebenen Exporterfolg dieser Sparte.

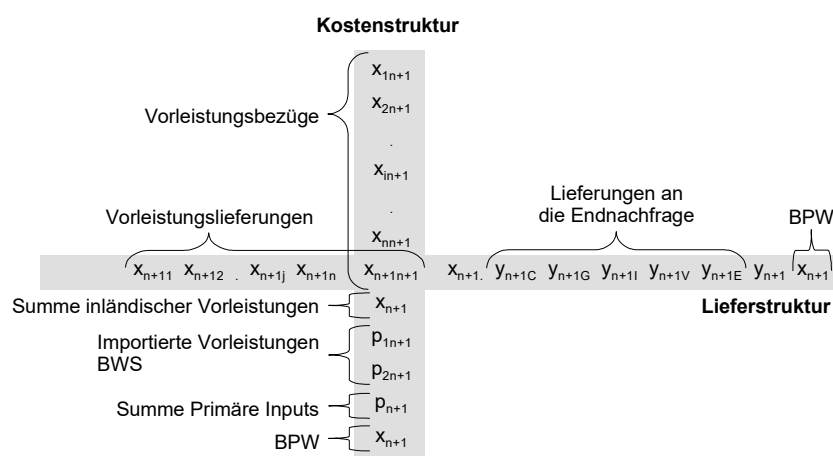
5.4 AKTUALISIERUNG DER ABBILDUNG DER EE-TECHNOLOGIEN IM KONTEXT DER INPUT-OUTPUT-ANALYSE

Die vertiefte Analyse der wirtschaftlichen Bedeutung des Ausbaus der erneuerbaren Energien nutzt bereits seit einem langen Analysezeitraum einen Forschungsansatz, der die EE-Technologien mit eigens abgeleiteten IO-Vektoren im Kontext der IO-Analyse abbildet und untersucht (Staiß et al. 2006, Lehr et al. 2011 und Lehr et al. 2015). Dieses Vorgehen erweist sich als notwendig, weil die EE-Technologien (als Querschnittstechnologien) in den amtlichen Tabellen nicht als eigenständige Produktionsbereiche ausgewiesen werden.¹⁴

¹⁴ Für einen Vergleich unterschiedlicher methodischer Ansätze vgl. Breitschopf, Resch, Nathani 2012. Der Input-Output-Ansatz wird als einziger Ansatz charakterisiert, der auch die indirekten Beschäftigungseffekte (Beschäftigungseffekte, die mit Vorleistungsbezügen aus vorgelagerten Produktionsstufen verbunden sind) erfassen kann. Gleichzeitig wird auch auf die hohen Datenanforderungen dieses Ansatzes verwiesen.

Abbildung 49 zeigt eine schematische Darstellung der Abbildung eines Produktionsbereichs und die damit verbundenen Datenanforderungen. Deutlich wird der erhebliche Datenumfang, insbesondere auch die Notwendigkeit, den Bezug von inländischen Vorleistungen nach Gütergruppen aufzuteilen (nach 72 Gütergruppen in der amtlichen IO-Tabelle). Eine detaillierte Aufteilung der Vorleistungslieferungen ist nicht notwendig, da die neuen Produktionsbereiche zur Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien nur an die Endnachfrage liefern (Investitionen, Exporte). Zur vollständigen Abbildung der Kostenstruktur sind weiterhin Informationen zum Umfang der importierten Vorleistungen und zu Komponenten der Bruttowertschöpfung (BWS) notwendig.

Abbildung 49: Schematische Abbildung eines neuen Produktionsbereichs im Kontext einer Input-Output-Tabelle (Entnommen aus Lehr et al. 2015)



DIW Berlin

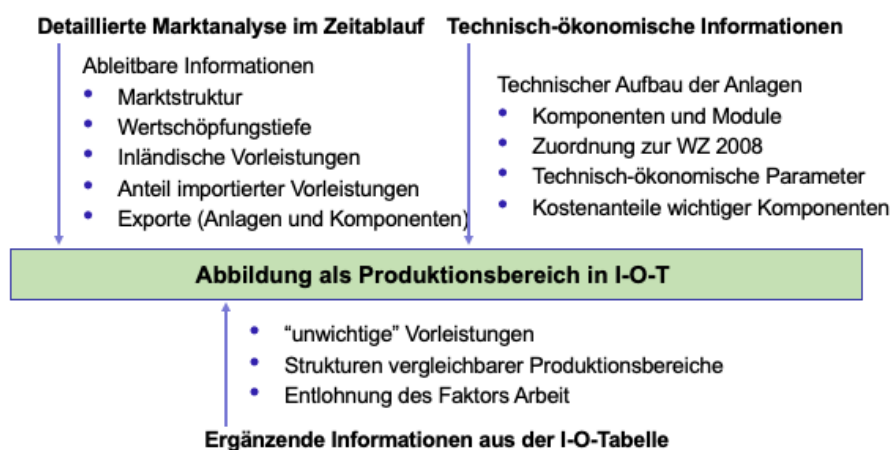
Wie bereits erörtert erweist es sich angesichts der technologischen Entwicklung der EE-Technologien als empfehlenswert, die eigenständigen IO-Vektoren zur Abbildung der EE-Technologien in zeitlichen Abständen zu aktualisieren. Es ändern sich aber auch die Verflechtungen der Produktionsbereiche in den anderen Sektoren der Volkswirtschaft, so dass für die Analyse die amtlichen Input-Output-Tabellen in der jeweils aktuellen Version genutzt werden sollten. Zum Zeitpunkt der Aktualisierung der IO-Vektoren lag eine amtliche Input-Output-Tabelle für das Jahr 2018 vor (StaBuA 2021), die den Rahmen für die Neuschätzung der IO-Vektoren für EE-Technologien bildete.

Die Aktualisierung der IO-Vektoren zur Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien wird entsprechend der Verfügbarkeit der unterschiedlichen Datenquellen und im Einklang mit der ökonomischen Bedeutung der verschiedenen EE-Technologien unterschiedlich tiefgreifend durchgeführt. Für die drei Technologien Windkraft an Land (vgl. Abschnitt 5.3.1), Windenergie auf See (vgl. Abschnitt 5.3.2) und Photovoltaik (vgl. Abschnitt 5.3.3) wird unter Zuhilfenahme der dort beschriebenen zusammengeführten Information eine fundierte Neuschätzung der IO-Vektoren durchgeführt.

Abbildung 50 zeigt die Informationen, die für diese drei wichtigen Technologiebereiche in die Aktualisierung eingeflossen sind. Insbesondere für den Bereich Windenergie an

Land konnte durch detaillierte Marktbeobachtung die Wertschöpfungstiefe in Abhängigkeit von Marktanteilen der Akteure bestimmt werden. Dies ist wichtig, da sich für die einzelnen Hersteller deutliche Unterschiede beim Einsatz von inländischen und importierten Vorleistungen ergeben. Bei der Struktur der Vorleistungen wird jeweils berücksichtigt, in welchem Umfang diese aus inländischen Produktionsstandorten oder aus Produktionsstandorten außerhalb Deutschlands (importierte Vorleistungen) kommen. Die technisch-ökonomischen Informationen, insbesondere der Kostenanteil wichtiger Komponenten an den gesamten Produktionskosten, sind entsprechen den ausgewiesenen Werten in den Abschnitten 5.3.1, 5.3.2 und 5.3.3 in die Neuschätzung eingeflossen.

Abbildung 50: Dateninput für die Fundierung und Aktualisierung der Bereich Herstellung von Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien für Windenergie an Land, - für Windenergie auf See und – für Photovoltaik



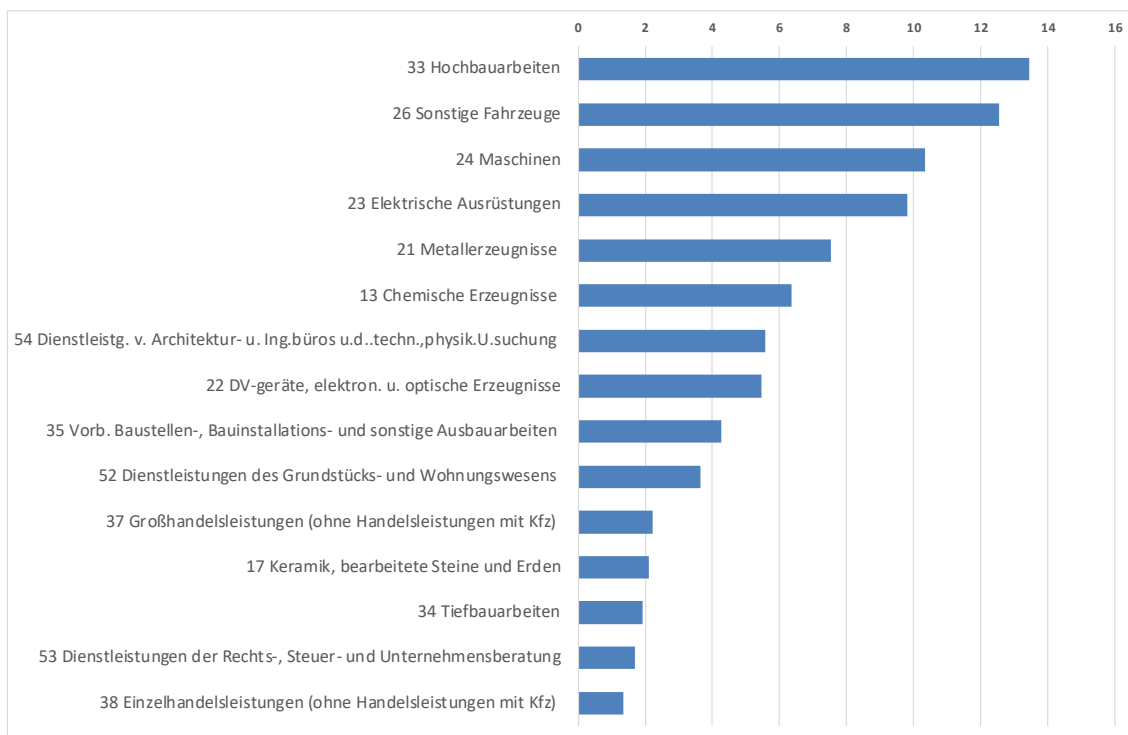
2

Die Aktualisierung der „unwichtigen“ Vorleistungen wurde auf Basis der aktuellen Input-Output-Tabelle des Berichtsjahres 2018 vorgenommen. Als „unwichtige“ Vorleistungen werden jene für das Unternehmen eher unbedeutende Kostenelemente bezeichnet, die in Unternehmen in der Regel eher dem Bereich der Gemeinkosten zuzurechnen sind. Diese Kostenbestandteile werden „synthetisch“ aus der Input-Output-Tabelle ermittelt, indem für jede der betrachteten Technologien mehrere Produktionsbereiche der vorliegenden amtlichen Input-Output-Tabelle identifiziert werden, die mit dem Produktionsprozess der abzubildenden Technologie aus Sicht der erzeugten Produkte und der angewandten Produktionsprozesse eine größere Ähnlichkeit aufweisen. Die Informationen über die „unwichtigen“ Kostenelemente der ähnlichen Produktionsbereiche werden dazu genutzt, die Kostenstrukturen der der abgebildeten EE-Technologien zu ergänzen (vgl. Lehr et al. 2015, insbesondere Abschnitt 2.2.2, in dem die Vorgehensweise ausführlich beschrieben wurde). In der Summe ergibt sich eine vollständige Beschreibung der Verflechtung der neuen Produktionsbereiche zur Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien mit den übrigen Sektoren der Volkswirtschaft. Diese erfüllt die Konsistenzbedingungen der Bilanzgleichungen der Input-Output-Analyse.

Auf der Grundlage der zuvor beschriebenen Informationsquellen und Arbeitsschritte werden für die drei Technologien Windkraft an Land, Windenergie auf See und Photovoltaik die jeweiligen IO-Vektoren zur Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien geschätzt. Berichtsjahr der Schätzung ist das Jahr 2019, auf das sich auch die folgenden Informationen und Abbildungen beziehen.

Betrachtet man die wichtigsten inländischen Vorleistungsbezüge für Windenergie an Land (Abbildung 51) so haben die Bereiche 33 Hochbauarbeiten, 26 Sonstige Fahrzeuge, 24 Maschinen und 23 Elektrische Ausrüstungen die größten Anteile an den inländischen Vorleistungen (zusammen 46%). Die Zulieferungen aus dem Produktionsbereich 33 Hochbauarbeiten repräsentieren zu einem großen Teil Zulieferungen für Türme, hinter den Lieferungen aus dem Produktionsbereich 26 Sonstige Fahrzeuge stehen Zulieferungen von oder für Rotoren. Getriebe sind ein wichtiger Bestandteil der Lieferungen aus dem 24 Maschinenbau. Die anderen inländischen Zulieferungen enthalten auch Dienstleistungen, zum Beispiel Planungsleistungen und Leistungen aus der Rechts-, Steuer- und Unternehmensberatung.

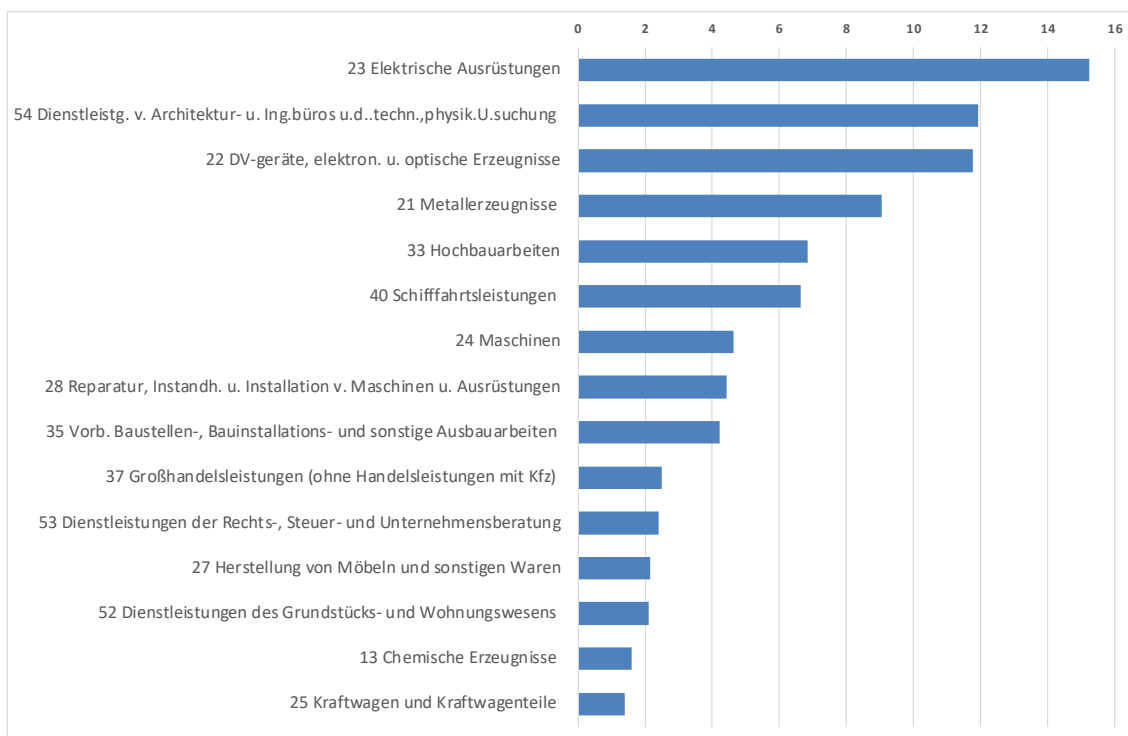
Abbildung 51: Anteile der 15 wichtigsten inländischen Vorleistungen an den gesamten inländischen Vorleistungen in Prozent – Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien Windenergie an Land



In Abbildung 51 sind die wichtigsten inländischen Vorleistungen im Bereich Windenergie auf See dargestellt. Vor allem wegen der unterschiedlichen Kostenstruktur und wegen des deutlich anders ausgeprägten Produktionsnetzwerks ergeben sich hier im Vergleich zum Bereich Windenergie an Land erkennbar andere Gewichte bei den inländischen Vorleistungsbezügen. Wie in Abschnitt 5.3.2 ausgeführt wird in diesem Bereich im Wesentlichen die Gondelproduktion sowie die Erbringung Planungsleistungen von Deutschland aus vorgenommen. Diese spiegelt sich auch im Bezug inländischer Vorleistungen wider. Hier haben die Produktionsbereiche 23 Elektrische Ausrüstungen und 22

Datenverarbeitungsgeräte, elektronische und optische Erzeugnisse sowie 54 Dienstleistungen von Architektur- und Ingenieurbüros hohe Anteile an den gesamten inländischen Vorleistungen. Technologiespezifisch ist auch der Anteil der Schifffahrtsleistungen hoch.

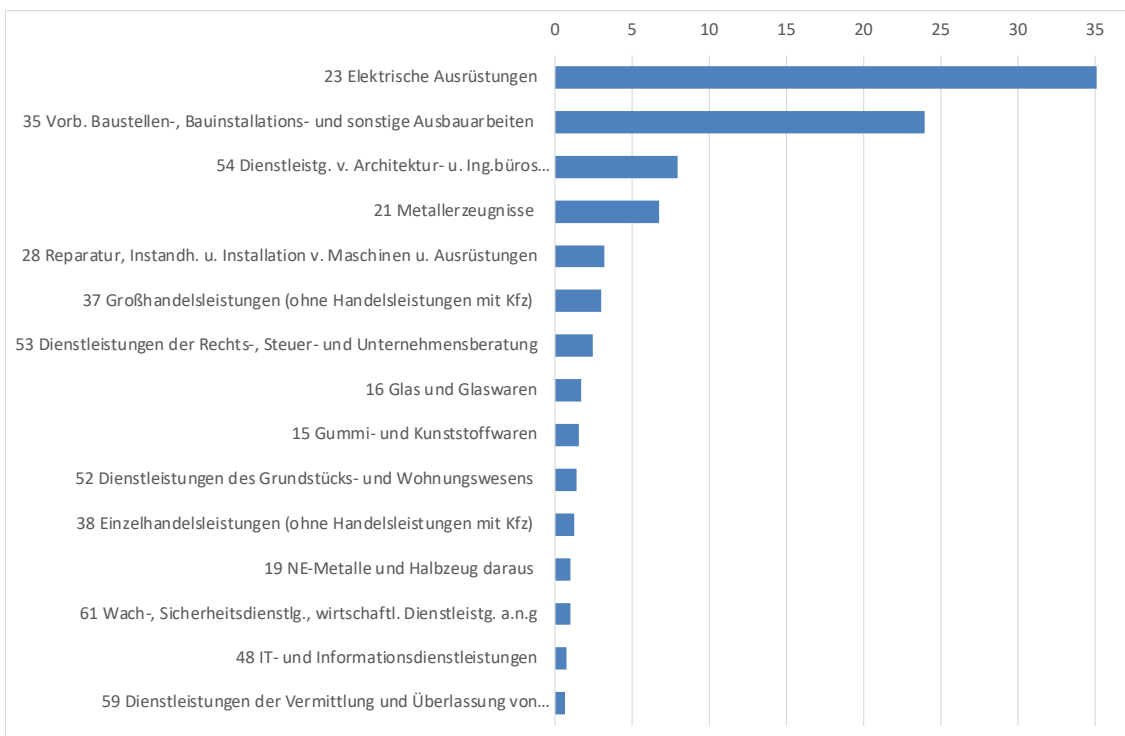
Abbildung 52: Anteile der 15 wichtigsten inländischen Vorleistungen an den gesamten inländischen Vorleistungen in Prozent – Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien Windenergie auf See



Der Technologiebereich Herstellung von Anlagen zur Nutzung von PV ist durch hohe Importanteile bei wesentlichen Komponenten einer PV-Anlage gekennzeichnet (vgl. Abschnitt 5.3.3). Neben kompletten Anlagen haben vor allem Module und Zellen hohe Importanteile, während bei Wechselrichtern die deutsche Produktionsbasis nach wie vor stark ist.

Vor dem Hintergrund dieser Faktoren hat der Produktionsbereich 23 Elektrische Anlagen, in dem in der amtlichen Statistik unter anderem die Wechselrichterproduktion angesiedelt ist, den bei weitem größten Anteil (35%) an den inländischen Vorleistungen. Als Endprodukte der Produktionsbereiche Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien sind konzeptionell betriebsbereite Anlagen definiert, so dass jeweils die Erstinstallation vor Ort in der Kostenstruktur mit abgebildet wird. Dies spiegelt sich im hohen Anteil des Produktionsbereichs 35 Vorbereitende Baustellen-, Bauinstallations- und sonstige Ausbauarbeiten wider, in dem die entsprechenden Gewerke des Ausbaugewerbes verortet sind. Weitere wichtige Vorleistungen, die aus dem Inland bezogen werden, sind Planungs- und Ingenieurleistungen sowie Metallerzeugnisse (z.B. Unterbau bei Dachinstallation).

Abbildung 53: Anteile der 15 wichtigsten inländischen Vorleistungen an den gesamten inländischen Vorleistungen in Prozent – Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien Photovoltaik

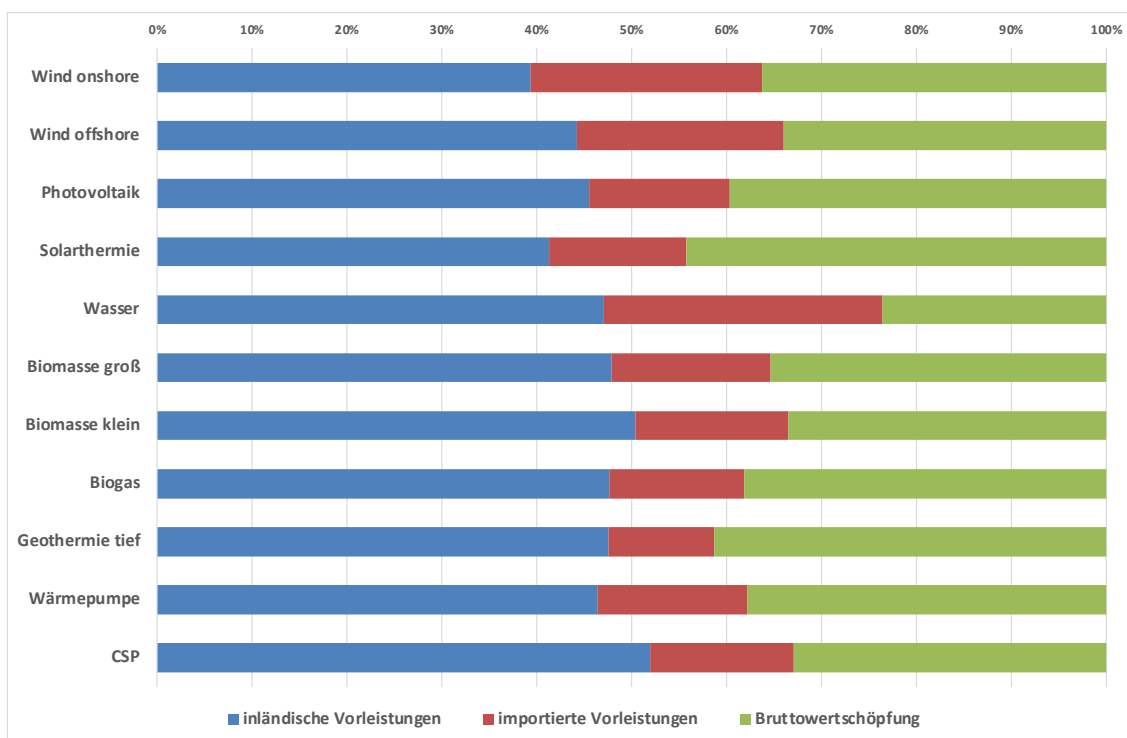


Die IO-Vektoren der anderen EE-Technologien wurden aktualisiert, ohne dass in gleichem Umfang vertiefte Recherchen und Datensammlungen möglich waren. Dennoch konnte eine umfassende Aktualisierung vorgenommen werden. Zu diesem Zweck wurden die zugänglichen technisch-ökonomischen Parameter aktualisiert, indem die Liste der wichtigen technischen Komponenten überprüft und deren Kostenanteile auf Basis aktueller Recherchen angepasst wurden. Bei stärker technisch ausgereiften EE-Technologien, z.B. Wasserkraft, ergaben sich nur geringe Anpassungen, bei anderen Technologien waren stärkere Veränderungen festzustellen. Für die anderen EE-Bereiche wurde ebenfalls eine Aktualisierung der „unwichtigen“ Vorleistungen mit Hilfe „technologisch ähnlicher“ Produktionsbereiche auf Basis der aktuellen Input-Output-Tabelle des Berichtsjahres 2018 vorgenommen (vgl. oben)

In Abbildung 54 werden für alle elf betrachteten EE-Technologien zur Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien die jeweiligen Anteile der inländischen Vorleistungen, der importierten Vorleistungen und der Bruttowertschöpfung an der Bruttoproduktion ausgewiesen. Die inländischen Vorleistungen geben Auskunft über die Bezüge von Waren und Dienstleistungen, die aus vorgelagerten Produktionsstufen (upstream) in den Produktionsprozess einfließen und bestimmen mit, in welchem Umfang die indirekte Beschäftigung zur Gesamtbeschäftigung beiträgt. Die importierten Vorleistungen bestimmen, in welchem Umfang in den Produktionsprozess an deutschen Standorten Vorleistungen aus dem Ausland einfließen, die an ausländischen Standorten, aber nicht im Inland zu Beschäftigung führen. Die Bruttowertschöpfung misst die im jeweiligen

Produktionsbereich geschaffene Wertschöpfung¹⁵ und ist als Anteil am Bruttowertschöpfungswert ein Maß für die Wertschöpfungstiefe des abgebildeten Produktionsbereichs. Die in der Bruttowertschöpfung enthaltenen Arbeitnehmerentgelte bestimmen im Zusammenwirken mit der Arbeitsproduktivität im jeweiligen Produktionsbereich auch die direkte Beschäftigung.

Abbildung 54: Anteile der inländischen und der importierten Vorleistungen sowie der Bruttowertschöpfung an der Bruttoproduktion in % in den Produktionsbereichen Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien

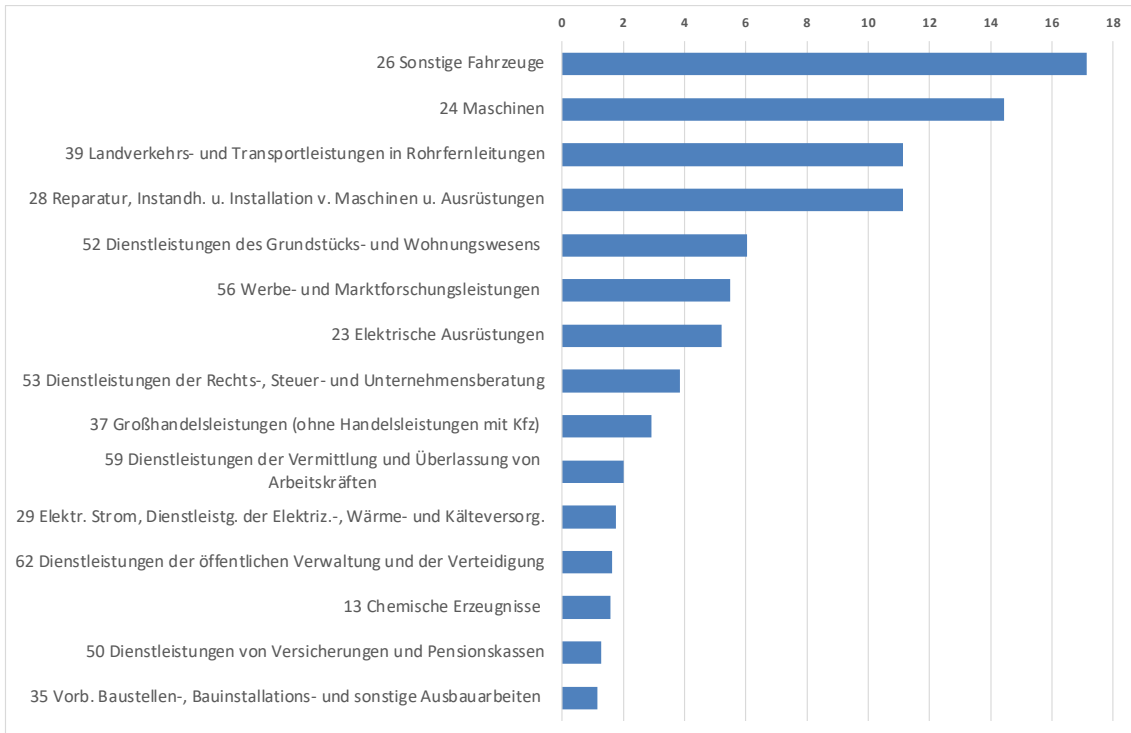


Die IO-Vektoren für den Bereich Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien wurden zuletzt für das Berichtsjahr 2011 neu fundiert (Lehr et al. 2015, insbesondere Kapitel 2.4.1 sowie Thobe, Lehr, Edler, 2015). Im Rahmen dieser Untersuchung wurde eine Aktualisierung auf die aktuelle Input-Output-Tabelle des Berichtsjahres 2018 vorgenommen, eine darüber hinaus gehende Fundierung ist zukünftigen Untersuchungen vorbehalten.

In Abbildung 55 sind für den Bereich Wartung und Betrieb Windenergie an Land die Anteile der wichtigsten 15 inländischen Vorleistungen an den gesamten inländischen Vorleistungen ausgewiesen, die sich für das Berichtsjahr 2019 ergeben. Da Wartung und Betrieb auch den Austausch von Ersatzteilen (über den Lebenszyklus) umfasst, sind die Bereiche 26 Sonstige Fahrzeuge (Rotorblatffertigung) und 24 Maschinen stark vertreten. Danach folgen 39 Verkehrs- und Transportleistungen sowie der industrienahe Dienstleistungsbereich 28 Reparatur, Instandhaltung und Installation von Maschinen und Ausrüstungen.

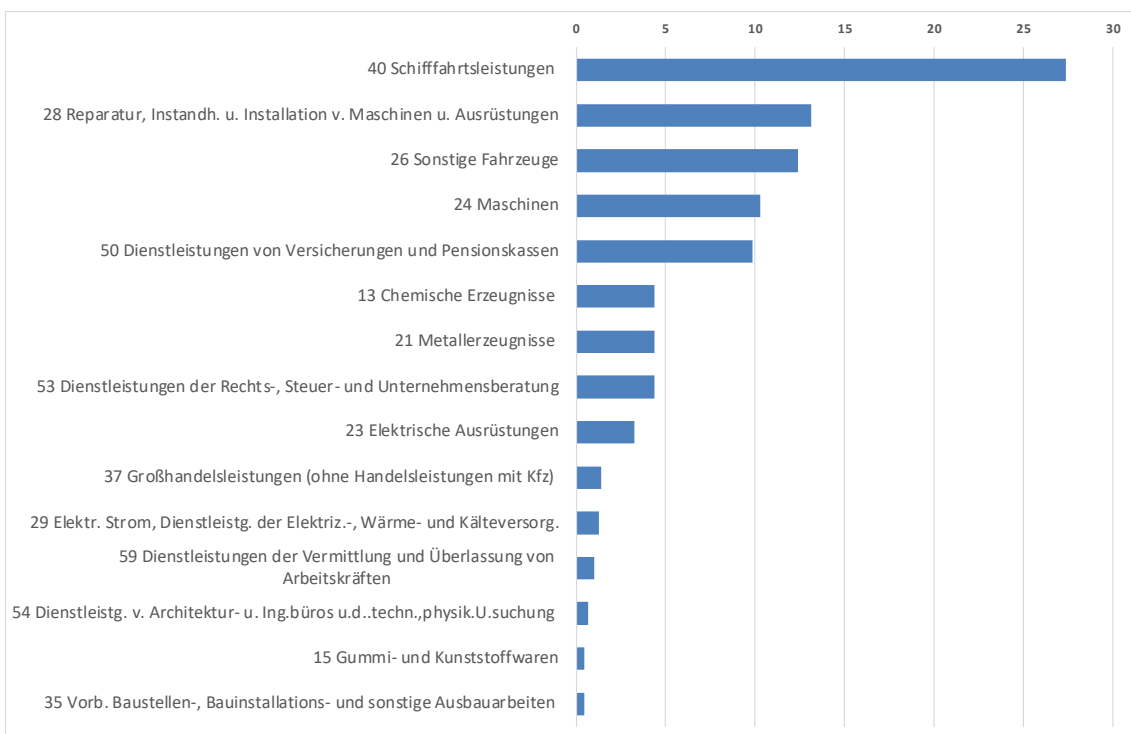
¹⁵ Die Bruttowertschöpfung enthält im Konzept der Input-Output-Rechnung als Komponenten das Arbeitnehmerentgelt, die Abschreibungen, den Nettobetriebsüberschuss sowie als Verrechnungsgröße die Differenz aus Sonstigen Produktionsabgaben und sonstigen Subventionen.

Abbildung 55: Anteile der 15 wichtigsten inländischen Vorleistungen an den gesamten inländischen Vorleistungen in Prozent – Wartung und Betrieb von Windenergie an Land



Im Bereich Wartung und Betrieb Windenergie auf See (Abbildung 56) machen die Schifffahrtsleistungen einen wichtigen Anteil an den inländischen Vorleistungen aus.

Abbildung 56: Anteile der 15 wichtigsten inländischen Vorleistungen an den gesamten inländischen Vorleistungen in Prozent – Wartung und Betrieb von Windenergie auf See



Die Bedeutung der anderen inländischen Vorleistungen zeigt Ähnlichkeit zum Bereich Wartung und Betrieb Windenergie an Land, allerdings haben bei Windenergie auf See Versicherungsleistungen ein deutlich höheres Gewicht.

Der Technologiebereich Photovoltaik hat (im Vergleich zu den installierten Kapazitäten) relativ gesehen geringere Aufwendungen für Betrieb und Wartung, so dass hier als dritt-wichtigster Bereich der Bereich Wartung und Betrieb von Biogasanlagen¹⁶ dargestellt wird (Abbildung 57). Auch bei Biogasanlagen hat über den Lebenszyklus betrachtet der Austausch von Ersatzteilen ein bedeutendes Gewicht, so dass die Produktionsbereiche 24 Maschinen und 21 Metallerzeugnisse zu den wichtigsten inländischen Liefersektoren von Vorleistungen zählen. Dies gilt auch für den industrienahen Dienstleistungsberiech 28 Reparatur, Instandhaltung und Installation von Maschinen und Ausrüstungen. An vierter Stelle folgt bei Biogasanlagen der Einsatz von elektrischer Energie (als Betriebsstrom).

Abbildung 57: Anteile der 15 wichtigsten inländischen Vorleistungen an den gesamten inländischen Vorleistungen in Prozent – Wartung und Betrieb von Biogasanlagen (ohne Biomassebrennstoffe)

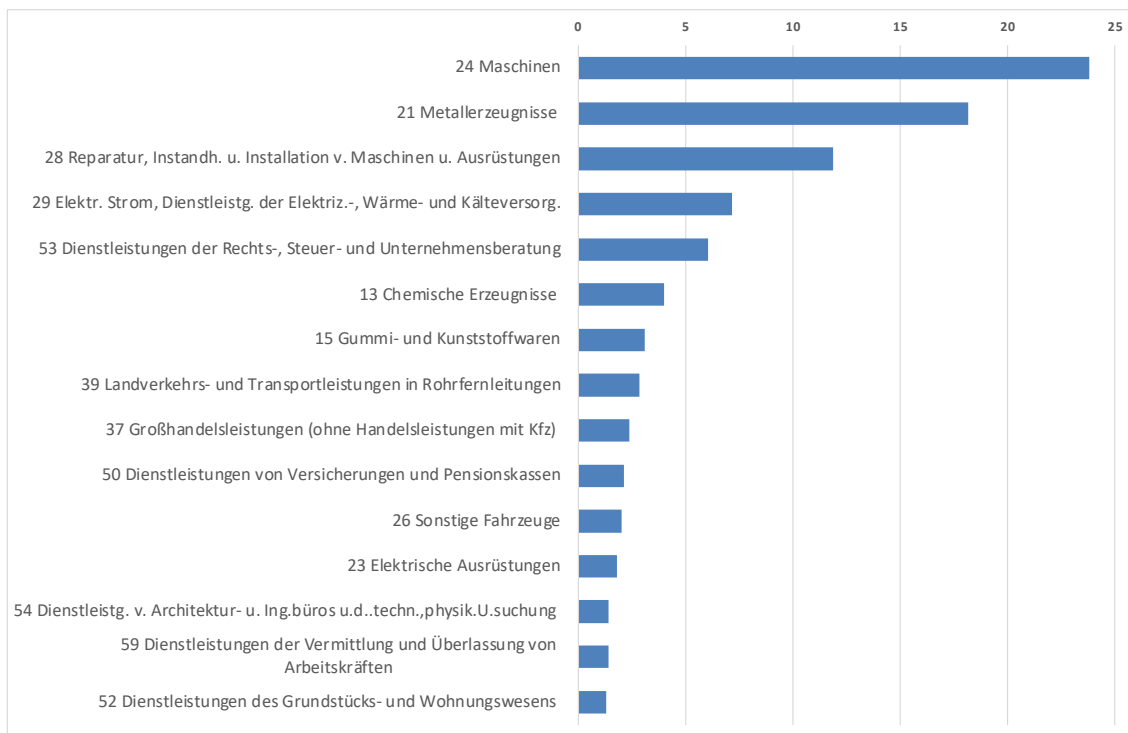
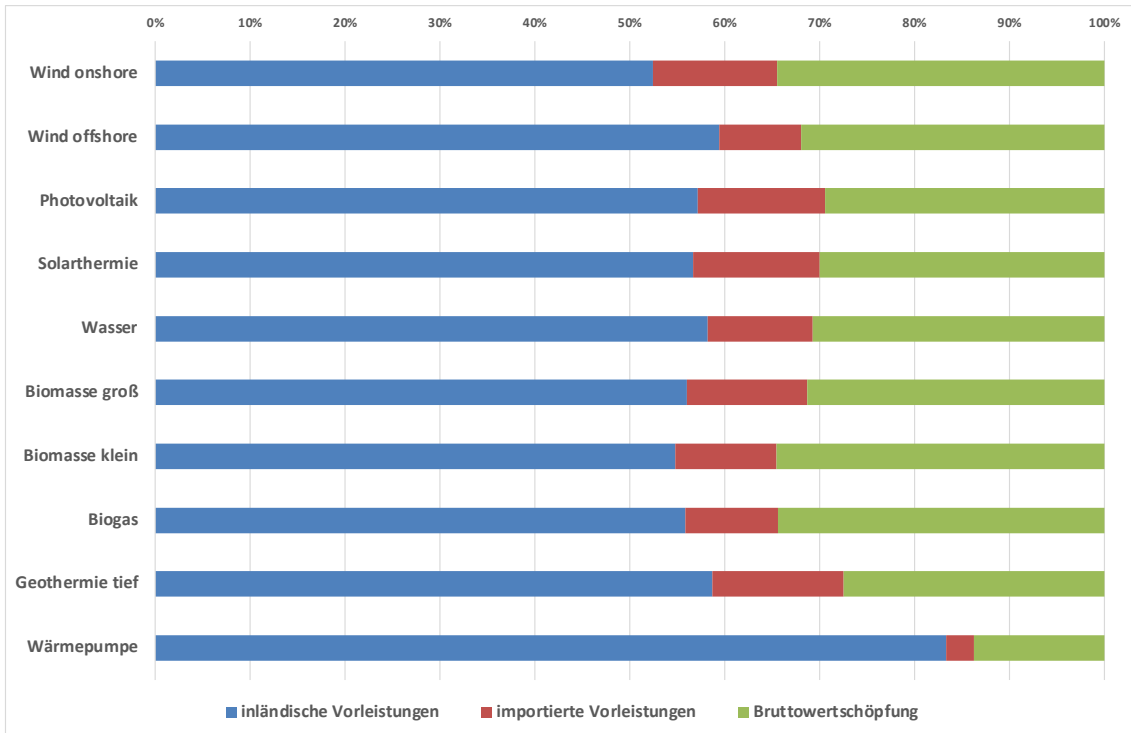


Abbildung 58 zeigt für das Berichtsjahr 2019 für alle Bereiche von Wartung und Betrieb von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien die jeweiligen Anteile der inländischen Vorleistungen, der importierten Vorleistungen und der Bruttowertschöpfung an der jeweiligen Bruttoproduktion. Im Vergleich zur vergleichbaren Darstellung für die Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien (Abbildung 54) weisen die Bereiche tendenziell geringere Anteile an importierten Vorleistungen und höhere Anteile an inländischen Vorleistungen aus. Dies ist ein Indiz dafür, dass die Leistungen von Betrieb

¹⁶ Der Bereich Betrieb und Wartung enthält nicht die Aufwendungen für Biomassebrennstoffe; diese werden an anderer Stelle ausgewiesen.

und Wartung in der Tendenz eher ortsnah ausgeführt werden und auch die Zulieferungen von Vorleistungen eher ortsnah erfolgen.

Abbildung 58: Anteile der inländischen und der importierten Vorleistungen sowie der Bruttowertschöpfung an der Bruttonproduktion in % in den Produktionsbereichen Wartung und Betrieb von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien



6 RESÜMEE UND AUSBLICK

Der vorliegende Bericht stellt die Entwicklungen des Energiesystems in Deutschland im Zeitraum 2000 bis 2021 mithilfe ökonomischer Indikatoren dar. Dabei werden sowohl fossilbasierte als auch auf erneuerbaren Energieträgern basierte Tätigkeiten in der Energiewirtschaft abgedeckt. Neben der Beschreibung der Entwicklung der unmittelbaren Beschäftigung für die Bereitstellung von Energie (Abschnitt 2) liegt der Fokus der Untersuchung auf folgenden ökonomischen Indikatoren:

- Investitionen in der Energiewirtschaft (Abschnitt 3),
- der daraus unter Berücksichtigung von Importen und Exporten abgeleiteten im Inland wirksamen Nachfrage (Abschnitt 4.2),
- der durch die Nachfrage induzierten Bruttoproduktion (Abschnitt 4.2) sowie
- die daraus resultierende Beschäftigung in den einzelnen Bereichen des Energiesystems (Abschnitt 4.3).

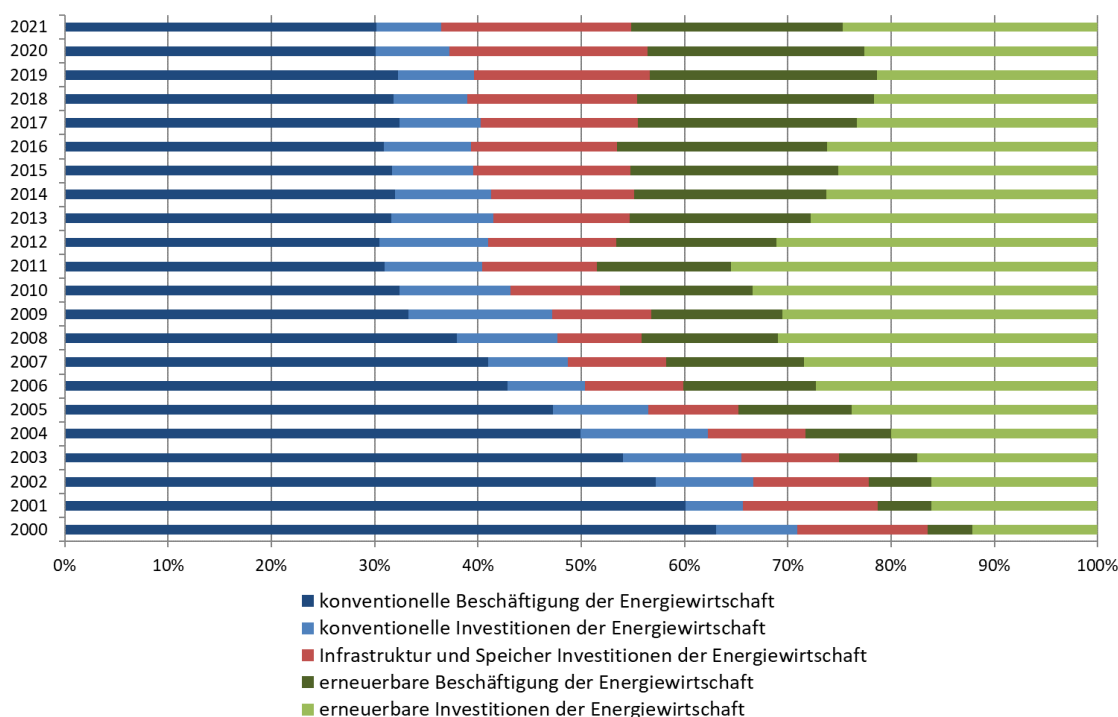
Gegenüber dem zuletzt vorgelegten Bericht (O’Sullivan et al. 2018) wurden nun vier weitere Jahre am aktuellen Rand des Untersuchungszeitraums (2018 bis 2021) neu dokumentiert. Die Indikatoren wurden um zwei neue Bereiche im Teilsystem Infrastruktur zur Verteilung von Energie – Ladesäulen und Wasserstofftankstellen – ergänzt. Für den Untersuchungsbereich erneuerbare Energien wurde insbesondere für die Kategorie der Herstellung von Anlagen eine Fundierung und Aktualisierung der dort für die Analyse verwendeten eigenständigen Input-Output-Vektoren vorgenommen.

Die ausgewiesenen Indikatoren beschreiben den Wandel des Energiesystems und der Energiewirtschaft aus unterschiedlichen Perspektiven. Durch Investitionen bzw. durch die im Inland wirksame Nachfrage angestoßene Bruttoproduktion und Beschäftigung zeigen die – sich im Zeitablauf ändernden – Schwerpunkte beim Umbau und Ausbau des Energiesystems. Sie machen etwa die Hälfte der ökonomischen Effekte – gemessen als insgesamt (direkt und indirekt) ausgelöste Beschäftigung – durch die Aktivitäten der Energiewirtschaft aus. Die eigentliche Energiewirtschaft – die Bereitstellung von Endenergie – vereint die zweite Hälfte auf sich, wobei der Anteil leicht unterschätzt sein dürfte, da die indirekten Wirkungen für diesen Teil des Energiesystems nicht vollständig ermittelt werden konnten.

Welche Veränderungen in der Beschäftigung durch die Transformation des Energiesystems hervorgerufen werden, ist in Abbildung 59 anhand einer prozentualen Verteilung der Beschäftigung auf die verschiedenen Segmente des Energiesystems ersichtlich. Die Rolle der erneuerbaren Energien ist zwischen 2000 und 2011 deutlich gestiegen und stagniert seither bei etwa 45% der Beschäftigung. Spiegelbildlich hat die Bedeutung der Beschäftigung basierend auf fossilen Energien bis zum Jahr 2011 signifikant abgenommen und veränderte sich danach über einen längeren Zeitraum kaum, erst im Jahr 2020 und 2021 hat der Rückgang in diesem Bereich wieder an Dynamik gewonnen. Die Investitionen in den Ausbau der Infrastruktur zur Verteilung von Endenergie sowie in Speicher haben seit 2011 von einem Anteil in Höhe von rund 11% kontinuierlich an Relevanz gewonnen und liegt aktuell bei etwa 18% der Beschäftigung. Damit wird deutlich, dass der nachhaltige Umbau unseres Energiesystems nicht nur den Ausbau erneuerbarer Erzeugungsanlagen erfordert, sondern auch den Ausbau von Verteilinfrastrukturen und

Flexibilitätsoptionen. Mit der politisch angestrebten Beschleunigung des Umbaus des Energiesystems in Richtung erneuerbare Energiequellen ist damit zu rechnen, dass der Anteil der Beschäftigung, der auf erneuerbaren Energien beruht ebenso zunehmen wird wie der Anteil, der der Verteilinfrastruktur sowie den Speichertechnologien zuzurechnen ist. Das Ausmaß des Anstiegs wird nicht zuletzt davon abhängen, inwieweit die notwendigen Investitionen durch Produktion im Inland erbracht werden und ob es gelingt, sich abzeichnende Engpassfaktoren, zum Beispiel beim Fachkräfteangebot, rechtzeitig zu beseitigen.

Abbildung 59: Anteile verschiedener Aktivitäten der Energiewirtschaft an der gesamten erfassten Beschäftigung im Zeitraum 2000 – 2021, in Prozent



Bei der Bearbeitung der Studie ist deutlich geworden, dass angesichts des mittlerweile umfangreichen Sets an Indikatoren zur ökonomischen Beschreibung der Transformation des Energiesystems sich bei der Aktualisierung beständig neue Herausforderungen stellen. Angesichts des Ausmaßes des angestrebten Wandels und auch angesichts der Unvorhersehbarkeit des technischen Wandels rücken neue, bisher nicht im Fokus stehende Technologien in den Vordergrund. Dies ist eine Tatsache, die nicht unerwartet kommt, wenn man sich das Voranschreiten grundlegender Paradigmenwechsel in anderen Technologiebereichen in Erinnerung ruft. Darum muss sorgfältig geprüft werden, welche absehbar an Bedeutung gewinnenden Technologiebereiche (z. B. die sich noch im Anfangsstadium befindliche Wasserstoffwirtschaft) in den bisherigen Kanon der untersuchten Technologien aufgenommen werden sollten.

Gleichzeitig bedarf auch der über einen längeren Zeitraum entwickelte methodische Instrumentenkasten einer beständigen Überprüfung auf Aktualität und empirischer Zuverlässigkeit. Gerade wenn es im Bereich der erneuerbaren Energien – wie politisch beabsichtigt – zu einer Beschleunigung des Ausbaus kommt, müssen die für die Analyse entwickelten Instrumente, z. B. die IO-Vektoren zur Abbildung der EE-Technologien,

einer laufenden Überprüfung unterzogen werden. Erste Schritte in diese Richtung wurden in dieser Untersuchung gegangen und damit auch gangbare methodische Wege für eine fortlaufende und weiter verbesserte Beschreibung und Analyse des Wandels des nationalen Energiesystems aus ökonomischer Perspektive aufgezeigt.

7 LITERATURVERZEICHNIS

- AEE (2020): Eigentümerstruktur der erneuerbaren Energien. Agentur für erneuerbare Energien (AEE). Online: [Grafiken - Agentur für Erneuerbare Energien \(unendlich-viel-energie.de\)](#).
- AGEE-Stat (2022): Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2021. Grafiken und Diagramme unter Verwendung aktueller Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat), Stand September 2022.
- AMI (2022): Auswertung der Außenhandelsstatistik von Biodiesel des Statistischen Bundesamtes, persönliche Information, Wienke von Schenk, Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH, 17.3.2022.
- BAFA (2022): Investitionen KWKG, Bundesanstalt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, persönliche Information, Jochen Seifert, 07.10.2022.
- BDBe (2022): Marktdaten 2021, Presseinformation, Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft e. V., April 2022.
- BDEW (2016b): Investitionen der Gasversorger, Bundesverband der Energie und Wasserwirtschaft, online: [Investitionen der deutschen Gaswirtschaft | BDEW](#), persönliche Übermittlung der Daten, Thomas Herkner, 16.3.2022.
- BLE (2022): Persönliche Information, Verena Törnau, Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 01.04.2022.
- BMWK (2022): Energiedaten und –prognosen, [BMWK - Energiedaten: Gesamtausgabe](#), letzter Abruf September 2022.
- BNetzA (2021): Monitoringbericht 2021. Bundesnetzagentur, Bundeskartellamt, Stand 1. Dezember 2021, online: [Monitoringbericht 2021 \(bundesnetzagentur.de\)](#).
- BNetzA (2022): Kraftwerksliste. Bundesnetzagentur, [Bundesnetzagentur - Kraftwerksliste](#), Stand November 2021.
- Breitschopf, Resch, Nathani (2012): Methodological guidelines for estimating the employment impacts of using renewable energies for electricity generation. Study commissioned by IEA's Implementing Agreement on Renewable Energy Technology Deployment (IEA-RETD), Karlsruhe 2012. DENA (2013): Power to Gas. Deutsche-Energie-Agentur, Stand Dezember 2013
- Deloitte (2018): E-Mobility – Ladeinfrastruktur als Geschäftsfeld (White Paper)
- DEPI (2022): Pelletproduktion und -verbrauch in Deutschland. Deutsches Pelletinstitut, online: [DEPV - Pelletproduktion](#), letzter Abruf März 2022.
- EHPA (2021): The European Heat Pump Outlook 2021: 2 million heat pumps within reach, European Heat Pump Association, [Article - EHPA /](#), 17.12.2021.
- ESTIF (2021): Solar thermal markets in Europe – trends and market statistics 2020. European Solar Thermal Industry Federation, December 2021.

- Figgenger, J., Hecht, C., Haberschusz, D., Bors, J., Spreuer, K. G., Kairies, K. P., Stenzel, P. & Sauer, D. U. (2022). The development of battery storage systems in Germany: A market review (status 2022). arXiv preprint arXiv:2203.06762.
- Figgenger, J., Stenzel, P., Kairies, K.-P., Linßen, J., Haberschusz, D., Wessels, O., Robinus, M., Stolten, D. & Sauer, D. U. (2021): The development of stationary battery storage systems in Germany – status 2020. *Journal of Energy Storage* 33, S. 101982. DOI: 10.1016/j.est.2020.101982.
- FA Wind (2018): [Analyse der Ausbausituation der Windenergie an Land im Jahr 2015-2019](#), Berlin
- FNR (2022): Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland 2019-2021 (in Hektar). Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., online: [FNR - Pflanzen: Anbauzahlen](#), letzter Abruf März 2022.
- GTAI (2022): “Fact sheet - Photovoltaics in Germany”. Germany Trade and Invest, unterschiedliche Jahrgänge, [Trade \(gtai.de\)](#).
- Holub, W., Schnabl, H. (1994): Input-Output-Rechnung: Input-Output-Analyse, München, 1994.
- IEA-PVPS (2021): Trends in Photovoltaic Applications 2021, Photovoltaic Power Systems Programme, International Energy Agency, [Trends in PV applications 2021 - IEA-PVPS](#), 2021.
- ISL et al. (2021): Maritime Wertschöpfung und Beschäftigung in Deutschland. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Bremen 2021.
- KFW (2022): Investitionen KFW-Förderprogramme, KFW-Bankengruppe, persönliche Information, Torsten Kirchherr, 19.07.2022
- Lehr, U.; Lutz, C. (GWS); Edler, D. (DIW); O’Sullivan, M.; Nienhaus, K.; Nitsch, J.; Simon, S. (DLR); Breitschopf, B. (FhG-ISI); Bickel, P.; Ottmüller, M. (ZSW) (2011): Kurz- und langfristige Auswirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt. Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Februar 2011.
- Lehr, U.; Ulrich, P.; Lutz, C.; Thobe, I. (GWS); Edler, D. (DIW); O’Sullivan, M.; Naegler, T.; Simon, S.; Pfenning, U. (DLR); Peter, F.; Sakowski, F. (Prognos); Bickel, P. (ZSW) (2015): Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland - Ausbau und Betrieb, heute und morgen. Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), März 2015.
- O’Sullivan, M. (DLR), Lehr, U. (GWS), Edler, D. (DIW) (2015): Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland und verringerte fossile Brennstoffimporte durch erneuerbare Energien und Energieeffizienz -Zulieferung für den Monitoringbericht 2015, Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), September 2015.
- MaStR (2022): Marktstammdatenregister. Bundesnetzagentur, [EEG-Anlage erfassen | MaStR \(marktstammdatenregister.de\)](#).

- O'Sullivan, M., Edler, E. & Lehr, U. (2018): Ökonomische Indikatoren des Energiesystems. Methode, Abgrenzung und Ergebnisse für den Zeitraum 2000–2016. [DIW Politikberatung kompakt 127](#), Berlin
- O'Sullivan, M., Edler, E. & Lehr, U. (2019): Ökonomische Indikatoren der Energiebereitstellung. Methode, Abgrenzung und Ergebnisse für den Zeitraum 2000–2017. [DIW Reihe Politikberatung kompakt 135](#), Berlin 2018. [DIW Politikberatung kompakt 135](#).
- Photon (2022): Photon – das Solarstrommagazin, PHOTON International GmbH, [PHOTON – Das Solarstrom-Magazin | photon.info](#).
- StaBuA (2010): Input-Output-Rechnung im Überblick, Wiesbaden 2010.
- StaBuA (2021): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen Input-Output-Rechnung 2018 (Revision 2019, Stand: August 2020), Fachserie 18 Reihe 2. Wiesbaden 2021.
- StaBuA (2022a): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung – Inlandsproduktberechnung – Detaillierte Jahresergebnisse, Statistisches Bundesamt (Destatis), 2022.
- StaBuA (2022b): Außenhandelsstatistik, Statistisches Bundesamt, genesis-online, Statistik 51000, [Statistisches Bundesamt Deutschland - GENESIS-Online: Die Datenbank des Statistischen Bundesamtes \(destatis.de\)](#), letzter Abruf: 28.02.2022.
- StaBuA (2022c): Umsatz und Beschäftigung für den Umweltschutz, Fachserie 19 Reihe 3.3 – 2020, Statistisches Bundesamt, Juli 2022.
- StaBuA (2022d): Produktionserhebung, Statistisches Bundesamt, genesis-online, Statistik 42131-0003, [Statistisches Bundesamt Deutschland - GENESIS-Online: Tabelle abrufen \(destatis.de\)](#).
- StaBuA (2022e): Außenhandelsstatistik, Statistisches Bundesamt, genesis-online, Statistik 51000-0013, [Statistisches Bundesamt Deutschland - GENESIS-Online: Tabelle abrufen \(destatis.de\)](#).
- Stäglin, Edler, Schintke (1992): Der Einfluss der gesamtwirtschaftlichen Nachfrageaggregate auf die Produktions- und Beschäftigungsstruktur - eine quantitative Input-Output-Analyse. Schwerpunktuntersuchung im Rahmen der Strukturberichterstattung, in: Beiträge zur Strukturforchung, Heft 127/I (Textband) und 127/II (Materialband), Berlin 1992.
- Staiß, F.; Kratzat, M. (ZSW); Nitsch, J.; Lehr, U. (DLR); Edler, D. (DIW); Lutz, C. (GWS) (2006): Erneuerbare Energien: Arbeitsplatzeffekte – Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt, Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Juni 2006.
- Thobe, I., Lehr, U., Edler, D. (2015): Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung von erneuerbaren Energien - Kosten und Struktur in der Literatur. GWS Discussion Paper 15/4, Osnabrück.
- Wind:research (2019): Wertschöpfung der Offshore-Windenergie in Deutschland – Regionale Verteilung und Entwicklung der Marktteilnehmer und der Arbeitsplätze, Bremen.

8 ANHANG

Produktion von PV-Komponenten (eigene Darstellungen, basierend auf Photon 2022)

