



ESRa

Energiewende
im Sozialen Raum



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Quelle: ESRa/Germanwatch, Shutterstock

Produkt 3.3 – Klimaneutrale Energiesysteme und zukunftsfähige Qualifikationsprofile

Arbeitspaket: AP 3 – Geschäftsmodelle Energiewende und Arbeitsplätze

Federführende Organisationen: Germanwatch, Fraunhofer IEE, Global Climate Forum

Mitwirkende Autor:innen: Andrea Wiesholzer (GW), Mia Wäldchen (GW), Helen Ganai (FH IEE), Kaspar Knorr (FH IEE), Norman Gerhardt (FH IEE), Heiko Thomas (GCF), Carlo Jaeger (GCF), Jonas Teitge (GCF)

Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und
Klimaschutz im 7. Energieforschungsprogramm.

www.esra-projekt.de

Haftungsausschluss

Die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts liegt bei den Autoren. Er gibt nicht unbedingt die Meinung der fördergebenden Institution wieder.

Copyright-Meldung

Dieser Bericht steht unter einer Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0); eine Kopie ist hier verfügbar: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. Es steht Ihnen frei, das Material zu teilen (das Material in jedem Medium oder Format zu kopieren und weiterzuverbreiten) und zu adaptieren (das Material für jeden Zweck, auch kommerziell, zu remixen, umzuwandeln und darauf aufzubauen), unter den folgenden Bedingungen: (i) Namensnennung (Sie müssen eine angemessene Namensnennung vornehmen, einen Link zur Lizenz bereitstellen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden; Sie können dies in jeder angemessenen Weise tun, jedoch nicht in einer Weise, die den Eindruck erweckt, dass der Lizenzgeber Sie oder Ihre Verwendung besonders unterstützt); (ii) keine zusätzlichen Einschränkungen (Sie dürfen keine zusätzlichen Klauseln oder technische Verfahren einsetzen, die anderen rechtlich irgendetwas untersagt, was die Lizenz erlaubt).

ESRa Produkt			
Vollständiger Titel	Verbundvorhaben: ESRa – Energiewende im Sozialen Raum		
Förderprogramm	Angewandte nichtnukleare Forschungsförderung im 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung ‚Innovation für die Energiewende‘		
Förderbereich	Energiewende und Gesellschaft		
Fördergeber	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz		
Startdatum	August 2020	Zeitraum	20 Monate
Projekt-URL	https://esra-projekt.de/		
Projekt-Koordinator	Global Climate Forum e.V. (GCF)		
Produktnummer	P3.3		
Produktname	Klimaneutrale Energiesysteme und zukunftsfähige Qualifikationsprofile		
Arbeitspaket	AP 3 – Geschäftsmodell Energiewende und Arbeitsplätze		
Datum der Abgabe	21. Juni 2022		
Federführende Organisation	Germanwatch, Fraunhofer IEE, GCF		
Verantwortliche/r Autor/in(en/nen)	Andrea Wiesholzer Mia Wäldchen Helen Ganai Kaspar Knorr Norman Gerhardt Heiko Thomas Carlo Jaeger Jonas Teitge	E-Mail	wiesholzer@germanwatch.org mia.waeldchen@germanwatch.org helen.ganal@iee.fraunhofer.de kaspar.knorr@iee.fraunhofer.de norman.gerhardt@iee.fraunhofer.de heiko.thomas@globalclimate-forum.org carlo.jaeger@globalclimate-forum.org jonas.teitge@globalclimate-forum.org
Stichwörter	Spree-Neiße, Berlin, Technologieprofil, Klimaneutralität, Qualifikationsprofil, Arbeitsplatz, Beschäftigung, Strukturwandel		






Vorwort

Die Energiewende geht mit einem tiefgreifenden gesellschaftlichen Wandel einher. Ihr Erfolg wird zu einem beträchtlichen Maß davon abhängen, ob sozialräumliche Herausforderungen überwunden werden können.

Im Forschungsprojekt „Energiewende im Sozialen Raum“ (ESRa) untersuchen wir die Faktoren, die profitierende von benachteiligten sozialen Räumen unterscheiden, und wie sich diese Faktoren im Hinblick auf eine nachhaltige Regionalentwicklung positiv gestalten lassen.

Dazu führen wir im ESRa-Projekt zwei vergleichende Fallstudien unter enger Beteiligung von Bürger:innen und Praxispartner:innen durch: in der Metropole Berlin und in der Strukturwandelregion Spree-Neiße in der brandenburgischen Lausitz.

Forschungsteam

	Die Partner	Abkürzung	Land	Logo
1	Global Climate Forum e.V.	GCF	DE	 Global Climate Forum
2	Fraunhofer IEE	FH IEE	DE	 Fraunhofer IEE
3	Germanwatch e.V.	GW	DE	 GERMANWATCH
4	Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität	IKEM	DE	 IKEM
5	Leibniz-Institut für Raumbezogene Sozialforschung	IRS	DE	 IRS Leibniz-Institut für Raumbezogene Sozialforschung

Zusammenfassung

Eine erfolgreiche Energiewende erfordert von den Regionen Niederlausitz und Berlin weitere Transformationen. Der Einsatz von neuen Technologien bedingt hierbei den Aufbau neuer Berufszweige. Die Umstrukturierung im Zuge der Energiewende resultiert zwingend in einer Neuausrichtung des Arbeitsmarktes. Diese Studie untersuchte daher aussichtsreiche potenzielle Technologieprofile und die in einem direkten Zusammenhang stehenden Beschäftigungsverhältnisse. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Lausitz durchaus den auf fossile Brennstoffe Kohle beruhenden Charakter ablegen und gegen nachhaltige, den Treibhausgasausstoß mindernde Technologien eintauschen kann. Weiterhin bietet der Arbeitsmarkt mit der bestehenden Verteilung der Qualifizierungen auch die Option, dass verschwindende Beschäftigungen im Kohle-nahen Bereich mit dem Aufbau Technologie-ferner Beschäftigungen im Gesundheitssektor aufgefangen werden können. Dies bedeutet ebenso einen Ausstieg aus der Kohle und bietet vor der Arbeitslosigkeit stehenden Menschen eine Möglichkeit der Weiterbeschäftigung. Die Ergebnisse dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, dass die mit einer Transformation des Energiesystems sowie dem nötigen, grundlegenden Wandel der Gesellschaft und Wirtschaft einhergehenden Umwälzungen in der Lausitz wie auch anderswo nicht in Gänze von den bestehenden Beschäftigungsverhältnissen aufgefangen werden können. Derartige systemische Umstrukturierungen müssen Hand in Hand mit einer Neuausrichtung und Neufokussierung von Ausbildungs- und Bildungswegen gehen.

Als Grundlage für die technischen Betrachtungen diente die Abbildung der künftigen Entwicklung des europäischen Strommarktes mittels des Modells SCOPE Path des Fraunhofer IEE. Dabei handelt es sich um ein Kraftwerkseinsatz- und Investitionsmodell, das den Strom-, Wärme- und Verkehrssektor umfasst und den Technologiemarkt sowie den Anlagenbetrieb gemeinsam kostenoptimiert. Aus volkswirtschaftlicher Perspektive wurde so ein kostenminimaler Technologiemarkt bei gleichzeitiger Deckung von Nachfrageprofilen ermittelt. Für die starke Dekarbonisierung der Energiewirtschaft ist bis 2030 knapp eine Verdreifachung der Wind- und PV-Erzeugung gegenüber 2021 notwendig und mehr als das Fünffache der Erzeugung bis zum Jahr 2045. In den kostenoptimalen Zielszenarien erfolgt der Ausbau von Windenergie und PV deutlich stärker und der Kohleausstieg deutlich früher als bislang politisch vorgesehen: So können die Emissionen der Energiewirtschaft bis 2030 gegenüber 1990 etwa halbiert werden (Reduktion um 53 %). Das Szenario zeigt, dass die Kohleverstromung aufgrund der CO₂-Bepreisung zunehmend unwirtschaftlich wird, was zu einem vollständigen Ausstieg aus der Kohleverstromung bis 2030 führt.

Stellt man die beiden Regionen Berlin und Spree-Neiße direkt gegenüber, werden grundsätzliche Unterschiede in ihren energiespezifischen Charakteristika hinsichtlich Stromerzeugung und -verbrauch deutlich. Die urbane Region Berlin hat im vorliegenden Fraunhofer-Szenario einen deutlich höheren Energieverbrauch und auch eine höhere Energieverbrauchsichte gegenüber der ländlichen Region Spree-Neiße. Während erzeugungsseitig in Berlin wenig Platz für den Ausbau von Erneuerbaren Energien zur Verfügung steht und die erneuerbare Erzeugung hauptsächlich über PV-Dachanlagen und KWK-Anlagen erreicht wird, kann in Spree-Neiße ein ausgewogener Mix aus Onshore-, Freiflächen-PV und PV-Dachanlagen ausgebaut werden. Dadurch wird im Landkreis

Spree-Neiße, anders als in Berlin, bereits im Jahr 2030 wie auch im Szenario-Zieljahr 2045 mehr Strom innerhalb eines Jahres in der Region erzeugt, als im gleichen Zeitraum verbraucht wird. Spree-Neiße könnte demnach auch nach der Umstellung auf Erneuerbare Energien längerfristig Energieexporteur bleiben.

Generell zeigt sich in der Niederlausitz eine regionale Spezialisierung der Arbeitskräfte, zum einem auf den Bergbau und damit direkt verbundenen Industrien, zum anderen auf den Bereich der Metallarbeit, Mechanik und Maschinen. In Cottbus lässt sich darüber hinaus ein deutlicher regionaler Vorteil im Gesundheitsbereich gegenüber dem nationalen Durchschnitt erkennen.

Im Hinblick auf Tätigkeitswechsel ist nicht nur das Qualifikationsprofil, sondern auch die zukünftige Nachfrage nach Arbeitskräften bedeutend. Die Gesundheits- und Sozialbranche verzeichnet in Spree-Neiße, Elbe-Elster und Oberspreewald-Lausitz den stärksten Zuwachs, in Cottbus den zweitstärksten (nach der Kategorie für sonstige wirtschaftliche Dienstleistungen). Zugleich weist Cottbus einen deutlich höheren Anteil an Gesundheitsberufen auf als der bundesdeutsche Durchschnitt. In Dahme-Spreewald stagniert der Anteil der Gesundheitsberufe auf relativ niedrigem Niveau, was der Nähe zum medizinischen Zentrum Berlin geschuldet sein dürfte.

Der urbane Raum Berlin und das umschließende Brandenburg, einschließlich der hier auch untersuchten Region Niederlausitz, sind aufeinander angewiesen. Berlin benötigt in allen Szenarien eine Zufuhr von Energie, die Brandenburg liefern muss. Auf der anderen Seite kann die Region Berlin die Region Niederlausitz zumindest in der nächsten Dekade bei der Umstrukturierung durch die Ausbildung und Umschulung bzw. auch Bereitstellung von Arbeitskräften in Berufszweigen unterstützen, die hinsichtlich der Ergebnisse aus den Szenarien derzeit unterrepräsentiert sind.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Klimaneutralität 2045 – Technologie- und Investitionsprofile	1
2.1 Methodik und eingesetztes Energiesystemmodell	2
2.2 Inputdaten und Szenarioannahmen.....	3
2.3 Szenarioergebnisse Deutschland.....	6
2.3.1 Technologieprofile der Stromerzeugung in 2030 und 2045	6
2.3.2 Nachfrageseitige Technologieprofile 2030 und 2045	10
2.4 Abgleich mit den Plänen der Bundesregierung.....	12
3. Regionalisierung der Szenarioergebnisse	17
3.1 Methodik der Regionalisierung	17
3.2 Ergebnisse der Regionalisierung und Abgleich mit regionalen Energiekonzepten	18
3.2.1 Entwicklung des Energiesystems Berlin	18
3.2.2 Entwicklung des Energiesystems Spree-Neiße	25
3.2.3 Künftige Energiesysteme von Berlin und Spree-Neiße im Vergleich	31
4. Qualifikationsprofile und Zukunftsbranchen.....	34
4.1 Jobpotenzial Erneuerbare Energien in der Niederlausitz	35
4.2 Weiterbildung für eine nachhaltige Regionalentwicklung der Niederlausitz	36
5. Fazit und Ausblick.....	43
6. Anhang	46

1. Einleitung

Zur Eindämmung der Klimakrise und Einhaltung des im Paris-Abkommen festgehaltenen 1,5°C-Ziels ist eine zügige und konsequente Umstellung der weltweiten Energiesysteme auf Erneuerbare Energien (EE) sowie das Erreichen von Klimaneutralität in allen Sektoren erforderlich. Dafür ist international eine massive Beschleunigung des Ausstiegs aus fossilen Energien – insbesondere aus Kohle, Öl und Gas – sowie eine Beschleunigung des EE-Ausbaus und der Elektrifizierung notwendig (iea, 2021). In seiner Eröffnungsbilanz weist Wirtschafts- und Klimaminister Robert Habeck darauf hin, dass für das Erreichen der nationalen Klimaschutzziele „bis 2030 fast eine Verdreifachung der bisherigen Geschwindigkeit der Emissionsminderung“ notwendig ist (Eröffnungsbilanz Habeck, 2022 S.1). So wurden bereits im Koalitionsvertrag der Ampel-Regierung viele wichtige neue Zielsetzungen kommuniziert. Bis 2030 soll ein Anteil von 80 % EE am Stromverbrauch erreicht werden. Darüber hinaus sollen 2 % der Landesfläche für Windenergie ausgewiesen werden. Auch die Möglichkeit eines vorgezogenen Kohleausstiegs wird in Betracht gezogen, ebenso wie die Einleitung eines Erdgasausstiegs (Koalitionsvertrag, 2021). Die Dringlichkeit für die Umsetzung der Energiewende nimmt angesichts des Krieges in der Ukraine und der aktuell hohen Abhängigkeit von russischen Energieimporten unterdessen weiter zu.

Doch was bedeutet das für die regionale Ebene? Wie verändern sich Energiesysteme vor Ort konkret? Welche technischen und wirtschaftlichen bzw. arbeitspolitischen Chancen und Herausforderungen ergeben sich dadurch für städtische und ländliche Regionen und welche Unterschiede müssen dabei Berücksichtigung finden?

Diesen Fragen stellen wir uns in diesem Forschungsprodukt des Projektes Energiewende im sozialen Raum (ESRa). Diese Publikation ist dem Arbeitspaket 3 (<https://esra-projekt.de/rentabilitaet-arbeitsplaetze>) zuzuordnen. Dabei richten wir den Blick auf die relevanten Technologieprofile zur Erreichung eines klimaneutralen Deutschlands 2045 (Kapitel 2) und stellen die Szenarioergebnisse anschließend regionalisiert den existierenden Regionalplänen gegenüber (Kapitel 3). In Kapitel 4 untersuchen wir aktuelle Wirtschafts- und Qualifikationsprofile in den beiden Regionen Berlin und Spree-Neiße und leiten darauf aufbauend mögliche und unrealistische Entwicklungen der Arbeitsplätze und Wirtschaftsstrukturen in beiden Regionen ab.

2. Klimaneutralität 2045 – Technologie- und Investitionsprofile

Die Energiewende stellt das Energiesystem vor eine gewaltige Herausforderung. Vor dem Hintergrund zunehmender Stromerzeugung aus dezentralen und fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen sowie dem Abschalten des konventionellen Kraftwerksparks müssen etablierte energiewirtschaftliche Strukturen im Kontext sich ändernder Randbedingungen und Anforderungen überprüft und angepasst werden. Für eine detaillierte Analyse möglicher Entwicklungen des künftigen Energiesystems bilden Energiesystemmodelle eine wichtige Grundlage.

Aufbauend auf der Analyse des Ist-Standes der Energiewende in [Produkt 3.1](#) des ESRa-Projekts wird in diesem Kapitel der Blick auf eine mögliche zukünftige Entwicklung des nationalen Energiesystems bis 2030 und 2045 gelegt. Dafür wird ein Zielszenario mittels der Kraftwerkseinsatz- und Investitionsoptimierung (SCOPE-Path) des Fraunhofer-Instituts für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (Fh-IEE) genutzt. Mit Hilfe des Szenarios soll ein Zielsystem aufgezeigt werden, das die gesetzten nationalen klimapolitischen Ziele bei möglichst geringen CO₂-Vermeidungskosten erfüllt. Diese spiegeln die Investitionen wieder, die in einem realen Energiemarkt als Leitgröße für Investitionen auftreten würden.

2.1 Methodik und eingesetztes Energiesystemmodell

Die Abbildung der künftigen Entwicklung des europäischen Strommarktes¹ erfolgt mit dem **Modell SCOPE-Path** des Fraunhofer IEE. Bei SCOPE-Path handelt es sich um ein Multi-Perioden-Kraftwerkseinsatz- und Investitionsmodell, das den Strom-, Wärme- und Mobilitätssektor umfasst. Dabei werden sowohl der Technologiemarkt (installierte Leistungen) als auch der Anlagenbetrieb gemeinsam kostenoptimiert, um so aus volkswirtschaftlicher Perspektive einen kostenminimalen Technologiemarkt bei gleichzeitiger Deckung von Nachfrageprofilen zu ermitteln.

Zur Deckung der zukünftigen Energiebedarfe in den jeweiligen Sektoren stehen **diverse konventionelle sowie auf Erneuerbaren Energien basierende Technologien** zur Verfügung (siehe [Abbildung 2](#)).

Die im Modell betrachteten **Kosten** umfassen neben Investitionskosten auch fixe und variable Betriebskosten; wobei die Betriebskosten zum größten Teil durch die Brennstoffkosten bestimmt sind.

Als Grundlage für die herangezogenen **Zeitreihendaten** zur Stromerzeugung und zum herkömmlichen Stromverbrauch (Wetter, Last) wurde das Wetterjahr 2012 verwendet. Dieses Wetterjahr wurde in vergangenen Studien bereits mehrfach verwendet, was den Vergleich der Ergebnisse dieser Studie mit anderen Studienergebnissen ermöglicht.² Darüber hinaus zeichnet es sich durch eine längere Kälteperiode mit hoher Stromnachfrage und geringer Winderzeugung aus, was indirekt die Berücksichtigung von Versorgungssicherheit ermöglicht. Die Zeitreihendaten fließen in stündlicher Auflösung in das Modell ein. Durch eine stundenscharfe Abbildung der Angebots- und Nachfragecharakteristiken eines Szenariojahres können sowohl die erneuerbaren Stromerzeuger als auch konventionelle Kraftwerke sowie der Einsatz von Speichertechnologien und Flexibilitätsoptionen detailliert abgebildet werden.

¹ Die regionale Abdeckung des Modells umfasst neben Deutschland weitere 27 europäische Länder (EU 27 ohne Malta und Zypern, aber mit Norwegen, der Schweiz und Großbritannien). Deutschland wird dabei – ebenso wie alle anderen Länder – mit einem einheitlichen Marktgebiet abgebildet.

² Das Wetterjahr 2012 wird z.B. auch von den Übertragungsnetzbetreibern für den Netzentwicklungsplan verwendet.

Im **Wärmesektor** wird die Nachfrage nach verschiedenen Verbrauchertypen differenziert (Industrie-Heißwasser, Industrie-Dampf, Fernwärme, Einzelgebäude³) und im **Verkehrssektor** fließt für den Straßenverkehr eine breite Verteilung von Fahrprofilen und Begrenzungen für Ladezeiten und Batteriefüllstände⁴ in das Modell mit ein. Der Luft- und Schiffsverkehr wird im Modell nicht berücksichtigt.



Abbildung 1: schematische Darstellung des SCOPE-Path-Modells

Quelle: eigene Darstellung Fraunhofer IEE

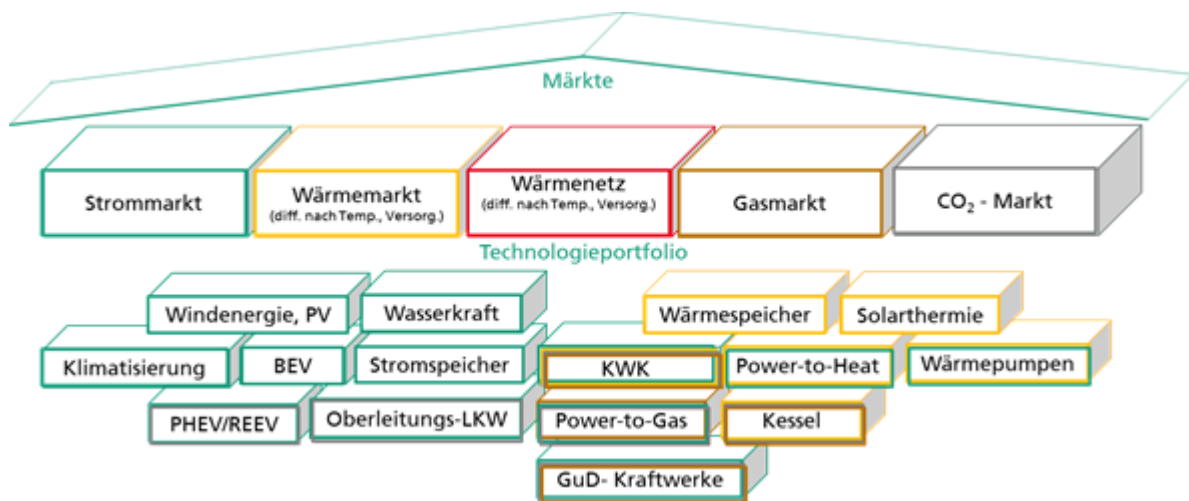


Abbildung 2: Schematische Darstellung der sektorübergreifenden Ausbauplanung SCOPE-Path

Quelle: eigene Darstellung Fraunhofer IEE

³ Gebäude, die nicht an ein Wärmenetz gekoppelt sind und deren Wärmenachfrage dezentral gelöst werden muss. Dieser Verbrauchertyp umfasst Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude mit unterschiedlichen Größen und Sanierungslevel.

⁴ Diese Begrenzungen werden differenziert für verschiedene Fahrzeugtypen berücksichtigt.

2.2 Inputdaten und Szenarioannahmen

Wie hoch der tatsächliche Bedarf an Energieerzeugung in Deutschland ist, hängt von Detailfragen wie der Höhe an Energieimporten sowie der Fokussierung auf den Ausbau von Windenergie oder Photovoltaik ab. Aber auch vom Grad der erreichten Energieeffizienz, beispielsweise durch die jeweilige Breite und Tiefe der Sanierung des Gebäudebestands. Daraus ergibt sich eine große Bandbreite für die mögliche Entwicklung von Stromverbrauch und -erzeugung in den nächsten 25 Jahren. Klar ist jedoch: Der Stromverbrauch wird sich in einem vollständig regenerativen Energieerzeugungssystem zukünftig deutlich erhöhen. Durch die Sektorkopplung werden große Teile des bisher größtenteils fossilen Energiebedarfs aus den Bereichen Wärme und Verkehr in den Strompfad überführt. Dies geschieht entweder durch die direkte Elektrifizierung von Verbrauchern, wie beispielsweise bei der Elektromobilität oder den Wärmepumpen, oder durch eine indirekte Elektrifizierung, durch die Nutzung von Strom zur Herstellung von Wasserstoff und synthetischer Kraftstoffe. Eine höhere Energieeffizienz durch den Einsatz von Erneuerbaren Energien und Effizienztechnologien verringert den Anstieg zwar, kann aber den Mehrbedarf durch die Sektorkopplung nicht vollständig kompensieren.

Für die Analyse im Rahmen dieses Produktes wurde als Grundlage ein Szenario aus dem laufenden Forschungsvorhaben ARIADNE, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wird, herangezogen. Ariadne stellte 2021 konkrete Transformationspfade zur Klimaneutralität Deutschlands 2045 auf der Basis eines umfassenden Modellvergleichs vor ([Ariadne, 2021](#)).

Das hier gewählte Szenario **erfüllt die verbindlichen EU-Ziele**, die auch für den Einsatz fossiler Kraftwerke (KW) in Deutschland greifen. Das EU-ETS Ziel ist für 2030 weniger hoch gesetzt als die nationalen Ziele der neuen Bundesregierung. Die nationalen Ziele können nur über einen noch stärkeren Ausbau Erneuerbarer Energien bis 2030 in Deutschland erreicht werden. Im verwendeten Szenario werden zwar die EU-ETS Ziele erreicht und der Beitrag Deutschlands ist hier mit einer ausgestoßenen Menge von 476 Mio t CO₂ etwas höher als der europaweite Durchschnitt (EU-ETS Ziel für 2030: -53% Emissionen gegenüber 1990 entsprechen für Deutschland 595 Mio. t CO₂). Dennoch wird **das neue nationale Emissionsminderungsziel**, wonach **2030** nur noch 438 Mio t CO₂ ausgeschüttet werden sollen, **nicht ganz erreicht**.

Das hier gewählte Szenario ist ein **PV-Fokusszenario**. Im Fokus-PV-Szenario des ARIADNE-Projektes wird davon ausgegangen, dass aufgrund von Abstandsregelungen bzw. Flächenausweisungen, Genehmigungsverfahren, höheren Naturschutzanforderungen sowie fehlender Akzeptanz weniger Windenergie an Land ausgebaut werden kann und somit mehr Strom aus Photovoltaikanlagen erzeugt werden muss.

Bei der Betrachtung der Entwicklung des **Stromverbrauchs** muss zwischen herkömmlichem Verbrauch (z.B. für Beleuchtung, Kochen, Waschen, elektrische Maschinen in der Industrie, Bahnverkehr und andere elektrische Verbraucher, die bereits 2012 Strom bezogen haben) und neuen Verbrauchern der Sektorenkopplung unterschieden werden. Für den herkömmlichen Stromverbrauch wird die Effizienzentwicklung gemäß den ARIADNE-Szenarios „Mix Hybrid“ als Mittelwert aus dem Modell- und Szenarienvergleich unterstellt und das historische

Stromverbrauchsprofil des Jahres 2012 zugrunde gelegt. Für 2045 wird dieses um temperaturabhängige Nachtspeicherheizungen bereinigt. Für Europa wird eine vergleichbare Entwicklung unterstellt. Neue Stromverbraucher (E-Pkw/LNF, E-Lkw, dezentrale Wärmepumpen, Großwärmepumpen, Elektrodenkessel, Power-to-Gas) werden durch das Modell in Hinblick auf die Erreichbarkeit des Klimaziels generiert und mit ihrem individuellen Stromverbrauchsprofil und ihrer Flexibilität abgebildet.

Die **installierten EE-Leistungen** für das Szenariojahr 2045, welche für die Erreichung des Klimaziels notwendig sind, werden durch die Ausbau- und Einsatzplanung SCOPE-Path für jedes europäische Land kostenminimal bestimmt (unter der genannten Randbedingung des hohen Anteils der Photovoltaik und des hohen Anteils von dezentraler Flexibilität).

Des Weiteren wird unterstellt, dass im Jahr 2045 in Europa noch **Kernkraftwerke** in Betrieb sind. Hier werden 50 Jahre Lebensdauer angenommen und damit die ab 1995 in Betrieb genommenen Anlagen berücksichtigt (Frankreich, Finnland, Slowakei, Tschechien). In der Einsatzoptimierung wird dieses Potenzial aber teilweise durch kostengünstigere Erzeugung von Wind- und Solaranlagen eingeschränkt. Komplexer ist die Frage nach der Reduktion der Kernenergie bis zum Szenariojahr 2030. Hierbei gibt insbesondere der Szenariorahmen der europäischen Netzbetreiber ([Entso-e, 2015](#)) für Frankreich Bandbreiten von 38 GW in Szenarien mit progressivem EE-Ausbau, bis 59 GW in Szenarien mit konservativen EE-Ausbau vor. Hier wird entsprechend des höheren EE-Ausbaus der minimale Wert von 38 GW übernommen. Im restlichen Europa wird analog zur EE-Leistung der Szenariorahmen von ENTSO-E auch für die installierte Kernkraftwerksleistung übernommen.

Für das Szenariojahr 2030 müssen Annahmen zur **Lebensdauer heute bestehender fossiler Kraftwerke** getroffen werden. Dabei werden pauschale Lebensdauern von 45 Jahren für Erdgas mit der modelendogenen Rückbauoption unterstellt. Stein- und Braunkohle ist dementsprechend im Jahr 2030 weitestgehend nur noch in Ost-Europa in Betrieb, denn hier ist aufgrund der kostenlosen Zuteilung von ETS-Zertifikaten für Braunkohle ein Betrieb trotz geringer Einsatzzeiten und Erlöse weiterhin darstellbar. Es wird eine vollständige Integration der industriellen Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) in den Strommarkt bzw. der **Wegfall der Eigenstromerzeugung** in 2030 unterstellt. Öl-KWK-Kraftwerke sind mittelfristig bei den unterstellten Brennstoffpreisentwicklungen nicht mehr wirtschaftlich und werden als stillgelegt unterstellt.

Für den **europäischen Netzausbau** wurde für den Stromhandel über Deutschlands Grenzen hinaus das Szenario des Netzentwicklungsplanes (NEP) 2030 (aus dem Jahr 2019) für 2030 übernommen. Der Szenariorahmen für das Jahr 2045 für Europa inkl. Deutschland bezieht sich auf den Szenariorahmen der ENTSO-E und ihres „Global Climate Action“ (GCA) Szenarios 2040, für das Szenariojahr 2030 bezieht er sich auf das GCA-Szenario 2027. Für die bessere Einbindung Deutschlands in das europäische Stromnetz erhöhen sich die für den Strommarkt verfügbaren Interkonnektoren zwischen Deutschland und seinen Anrainern von maximal 28,8 GW in 2020 auf maximal 42 GW in 2030 und dann nur noch auf 45 GW in 2050. Dies stellt einen relativ konservativen Netzausbau an den Kuppelstellen dar, und damit auch einen geringeren inländischen Ausbau der Übertragungsnetze, um diesen übergreifenden Stromhandel zu ermöglichen.

Dies korrespondiert mit der Grundannahme des ausgewählten Szenarios, dass mit mehr PV-Dachanlagen und weniger neuen Stromtrassen auf mehr Akzeptanz bei der Bevölkerung zielt.

Das Vorgehen zur Erstellung derartiger Szenarien ist über Jahre gewachsen und greift auf zahlreiche Annahmen, Datengrundlagen und Methoden zurück, deren ausführliche Beschreibung über den Rahmen der vorliegenden Studie hinausgehen würde. [Tabelle I](#) im Anhang bietet stichpunktartig einen Überblick über die verwendeten Methoden und Datengrundlagen zur Modellierung der abgebildeten Stromerzeugungs- und Stromverbrauchsarten. Für weitere Erläuterungen zu den Annahmen, Datengrundlagen und Methoden sei, sofern nicht in der vorliegenden Studie erwähnt, vor allem auf den ARIADNE-Bericht ([Ariadne, 2021](#)) und seine weiterführenden Quellenangaben verwiesen.

2.3 Szenarioergebnisse Deutschland

Die Ergebnisse der Energiesystemmodellierung zum **zukünftigen bundesweiten Stromverbrauch und zur -erzeugung sowie den dafür benötigten Leistungen** sind in den Abbildungen [3](#) und [4](#) dargestellt.

2.3.1 Technologieprofile der Stromerzeugung in 2030 und 2045

Da Deutschland den Ausstieg aus der Kernenergie und Kohleverstromung beschlossen hat (Bundesregierung, 2011) stehen für den künftigen Erzeugungspark unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit die Erneuerbaren Energien Windenergie, Photovoltaik (PV), Energie aus Biomasse, Wasserkraft und Geothermie zur Verfügung. Dabei sind die Potenziale von Wasserkraft in Deutschland sowohl nahezu erschöpft als auch für Geothermie zur Stromerzeugung gering bzw. nicht wirtschaftlich zu erschließen. Hinsichtlich der Biomasse gibt es zum einen Konflikte hinsichtlich der Anbauflächen, auf denen die energetische Nutzung, die Nahrungs-, Futter- und Faserproduktion, aber auch die Biodiversität in Konkurrenz miteinander stehen. Zum anderen zeichnet sich die Biomasse durch ihre vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten in den verschiedenen Sektoren aus. Schlussendlich entwickeln sich **Windenergie und PV** zu den **zentralen Technologien der Stromerzeugung in Deutschland** in den hier betrachteten Jahren 2030 und 2045. Beide Technologien unterscheiden sich dabei hinsichtlich ihrer räumlichen Verteilung und Wetterabhängigkeit, weshalb sie einerseits mit unterschiedlichen Herausforderungen und Möglichkeiten für das Stromnetz, den Stromverbrauch und die Stromspeicherung einhergehen⁵ und sich andererseits gut ergänzen.

⁵ Mit der Fokussierung auf PV geht z.B. eine größere Verbreitung von PV-Batteriesystemen einher, die die Möglichkeiten zur lokalen Nutzung von Stromüberschüssen erhöhen und die Stromnetze entlasten können.

Die Szenarioergebnisse zeigen **relativ kleine Netto-Stromimportmengen** von 63 TWh im Jahr 2030 und 38 TWh im Jahr 2045. Über das Jahr bilanziert wird der bis 2045 auf 1.088 TWh ansteigende Strombedarf also weitgehend inländisch gedeckt. Um die Strommengen aus Erneuerbaren Energien in Höhe der zu erwartenden Stromnachfrage weitgehend national zu erreichen, ist ein sehr starker Ausbau von Windenergie an Land und auf See sowie der PV (auf Dach und Freiflächen) notwendig.

Im Jahr 2021 erreichten Windkraft und PV zusammen eine Stromerzeugung von knapp 182 TWh bei 116 GW installierter Leistung. Für die starke Dekarbonisierung der Energiewirtschaft bis **2030** ist knapp eine **Verdreifachung der Wind- und PV-Erzeugung** auf 500 TWh (aus 288 GW installierter Leistung) gegenüber 2021 notwendig und mehr als das **Fünffache der Erzeugung bis zum Jahr 2045**, was 955 TWh (aus 550 GW installierter Anlagenleistung) entspricht (siehe Abbildungen [3](#) und [4](#)) – das liegt erheblich über den noch im EEG2021 anvisierten Strommengen (2029: 376 TWh). Der EE-Ausbau muss demnach in den nächsten Jahren mit gesteigerter Ausbaugeschwindigkeit im Vergleich zu den vergangenen Jahren erfolgen.

Bei diesem Szenario wurde der Fokus auf den Ausbau von PV gelegt. Die benötigte **PV-Leistung** beträgt im Jahr 2030 laut Szenario 185 GW, im Zieljahr 2045 sind es 400 GW. Wobei sich jeweils ca. 38 % auf Freiflächen-PV und die restlichen 62 % auf Dachanlagen verteilen. Mit diesen installierten Leistungen könnten 180 TWh im Jahr 2030 und 388 TWh im Jahr 2045 erzeugt werden.

Für **Wind-Onshore**-Anlagen zeigt das Szenario einen Anlagenbedarf von insgesamt 83 GW bzw. 130 GW installierter Leistung im Jahr 2030 bzw. 2045. Aufgrund höherer Volllaststunden von Windenergieanlagen an Land gegenüber den Volllaststunden von PV ergibt sich aus den vergleichsweise kleineren installierten Leistungen ein höherer Stromertrag von 242 TWh und 421 TWh (in 2030 und 2045).

Bei der **Offshore-Windenergie** wird im Jahr 2045 das Potenzial von 40 GW installierter Anlagenleistung, das als Ausbauziel bis 2040 im Windenergie-auf-See-Gesetz (im Dezember 2020 in Kraft getreten) festgelegt wurde, im Szenario voll ausgeschöpft. Allerdings werden aufgrund der Modellannahmen lediglich 20 GW genutzt, um den daraus erzeugten Strom in Höhe von 78 TWh ins Stromnetz einzuspeisen. Die Erzeugung aus den restlichen 20 GW wird direkt über Elektrolyseure (entweder auf Inseln in der Nordsee oder direkt an der Küste) zur Wasserstofferzeugung genutzt (Power-to-Hydrogen). Die Modellannahme wurde im Rahmen des ARIADNE-Projektes getroffen, um den Ausbau an Stromtrassen zu reduzieren und dadurch eine höhere Akzeptanz in der Gesellschaft zu erzielen. Die direkte Wasserstoffwandlung führt zu einem geringeren Bedarf an neuen Stromtrassen für die netztechnische Anbindung von Offshore-Windparks.⁶

⁶ Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass die aktuell von der Bundesnetzagentur während des Projektverlaufs bewilligten neuen Stromtrassen noch nicht berücksichtigt wurden. Die Planungen der Übertragungsnetzbetreiber sehen jetzt mehr neue Gleichstromtrassen vor. Aber für die Ergebnisse im Strommarkt sind diese Einflüsse gering.

In den kostenoptimalen Zielszenarien erfolgt der **Ausbau von Windenergie und PV deutlich stärker und der Kohleausstieg deutlich früher als bislang politisch vorgesehen**: So können die Emissionen der Energiewirtschaft bis 2030 gegenüber 1990 etwa halbiert werden (Reduktion um 53 %). Das Szenario zeigt, dass die Kohleverstromung aufgrund der CO₂-Bepreisung zunehmend unwirtschaftlich wird, was zu einem **vollständigen Ausstieg aus der Kohleverstromung bis 2030** führt.

Als Backup-Kraftwerksleistung müssten laut Szenarioergebnissen 58 GW gasbasierte **KWK-Anlagen** vorgehalten werden, um Residuallastspitzen auszugleichen. Diese müssen bereits bis 2030 installiert sein ([Abbildung 4](#)). Die Stromerzeugung aus diesen Kraftwerken geht allerdings von 59 TWh im Jahr 2030 leicht auf 52 TWh in 2045 zurück ([Abbildung 3](#)). Der Anteil an erneuerbarem Wasserstoff steigt stetig an, bis 2045 werden die Turbinen komplett mit erneuerbarem Wasserstoff betrieben werden. Laut Plänen des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) sollen neu installierte Gasturbinen bereits H₂-ready sein und ab 2035 rein mit erneuerbarem Wasserstoff betrieben werden. In der Modellierung wird der Anteil an erneuerbarem Wasserstoff unter Einhaltung der Randbedingungen zu maximal zulässigen Emissionen kostenoptimal bestimmt.

Auswirkungen durch den Ukraine-Krieg und die Bemühungen Deutschlands, sich unabhängig von russischem Gas zu machen (etwa durch einen verzögerten Kohleausstieg), sowie die aktuelle Entwicklung von Energie- und CO₂-Preisen waren zum Zeitpunkt der Erstellung der Studie noch nicht absehbar und sind im Szenario **nicht berücksichtigt**.

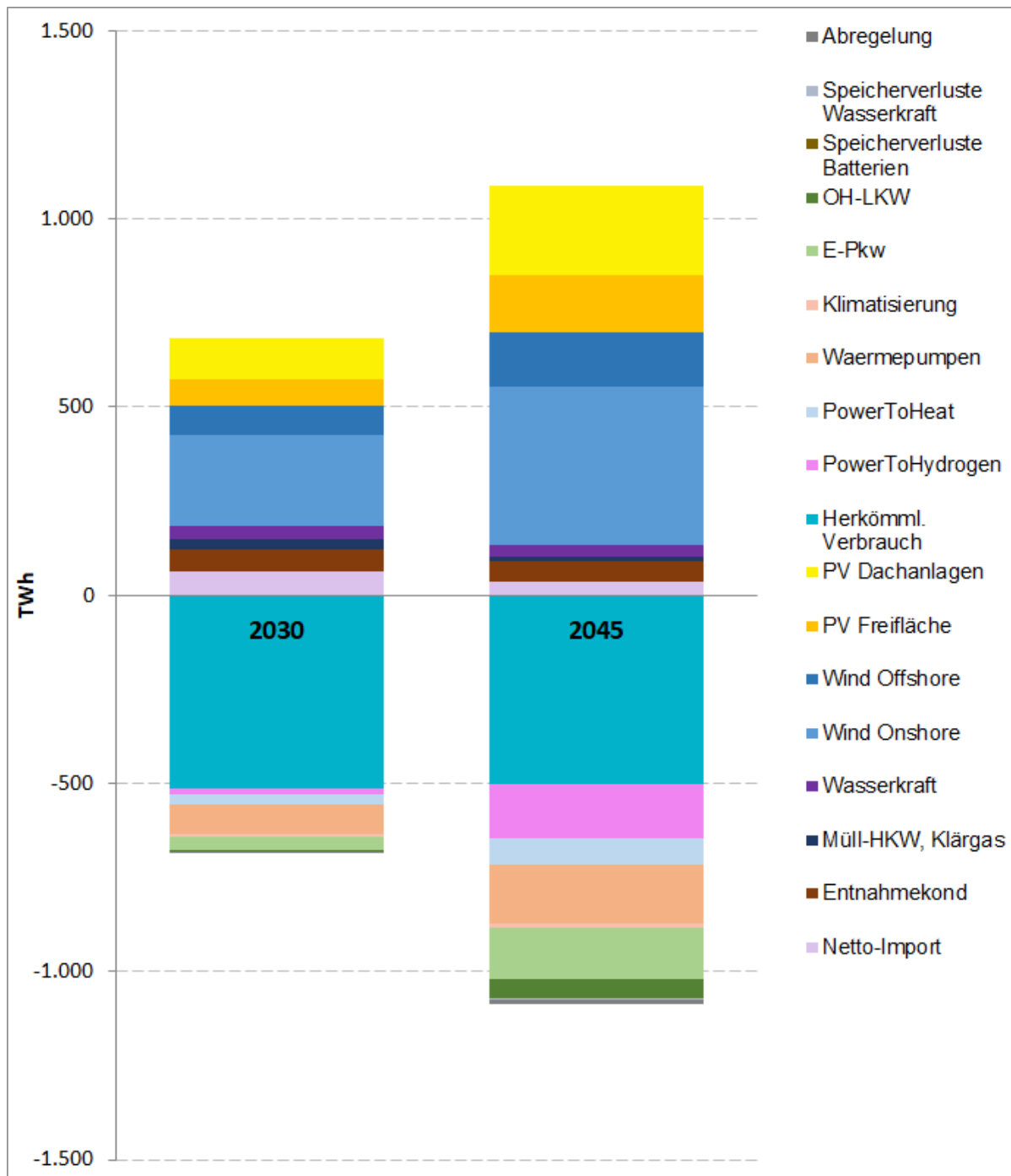


Abbildung 3: Entwicklung der Strombilanz des deutschen Energiesystems in den Jahren 2030 und 2045 basierend auf den Szenarioberechnungen mit SCOPE-Path. Aufgeteilt nach Stromerzeugern (positive Werte) und -verbrauchern (negative Werte)

Quelle: eigene Darstellung und Berechnung Fraunhofer IEE

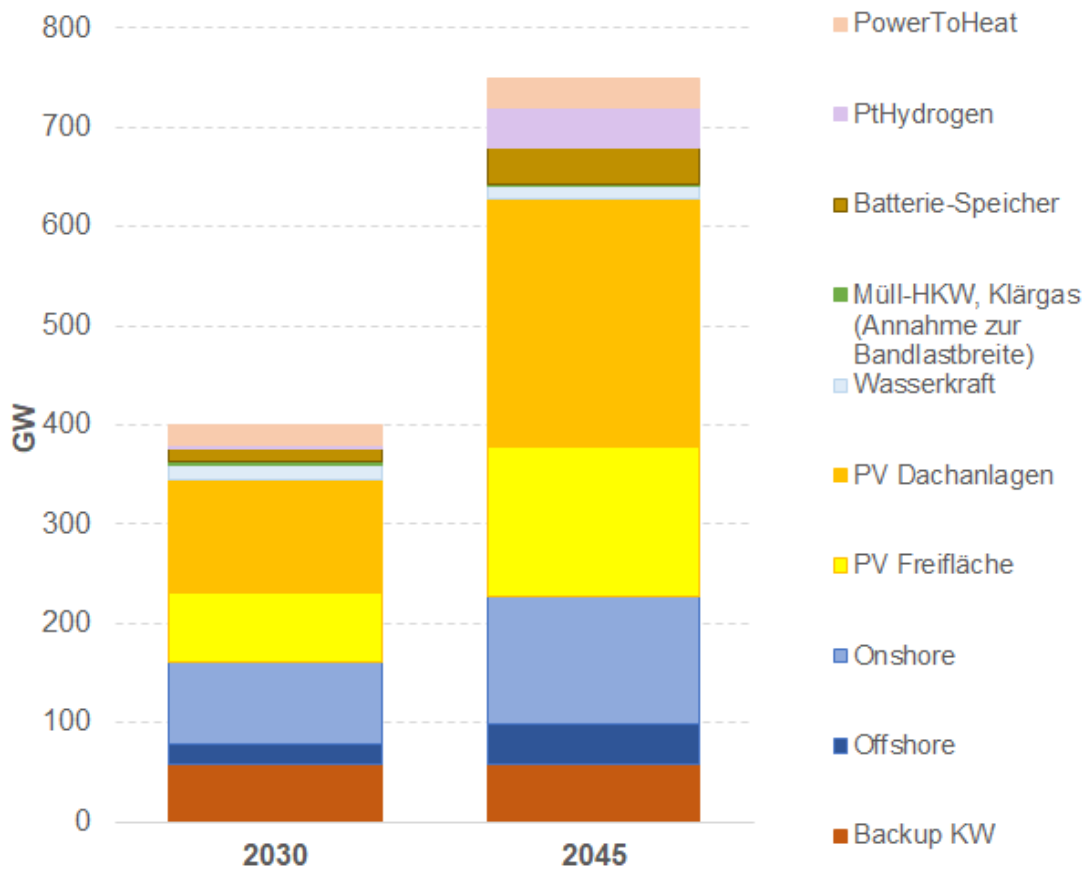


Abbildung 4: Entwicklung der installierten Leistungen der wesentlichen Stromerzeuger und Stromwandler des zukünftigen deutschen Energiesystems in den Jahren 2030 und 2045

Quelle: eigene Berechnungen Darstellungen Fraunhofer IEE

2.3.2 Nachfrageseitige Technologieprofile 2030 und 2045

Bei den Verbrauchern stellt der **herkömmliche Stromverbrauch** (z.B. Beleuchtung, Waschen, Kochen, Bahnverkehr, elektrische Geräte in der Industrie, alle Verbraucher die bereits 2012 Strom bezogen haben) im Jahr 2030 den **Großteil des gesamten Verbrauchs**. Bis zum Jahr 2045 macht der herkömmliche Stromverbrauch mit 503 TWh nur noch knapp die Hälfte der gesamten Stromnachfrage von insgesamt 1.015 TWh aus.

Durch den Hochlauf der **Elektromobilität** werden im Jahr 2030 bereits 37 TWh Strom zum Laden der E-Pkw und weitere 2 TWh für den Antrieb von Oberleitungs-LKW (OH-LKW) benötigt. Bis zum Jahr 2045 steigt dieser Bedarf auf 138 TWh Strombedarf zum Laden von Batterien für E-Pkw und auf 49 TWh Bedarf an direktem Stromverbrauch für OH-LKW an. Im Pkw-Bereich entspricht dieser Hochlauf einer Anzahl von 17,9 Mio E-Pkw (11,1 Mio BEVs und 6,8 Mio PHEVs) in 2030 und 62,5 Mio E-Pkw in 2045 (58,8 Mio BEVs und 3,7 Mio PHEVs).

Zur Bereitstellung von **Wärme** werden zukünftig vor allem **Wärmepumpen** (WP) benötigt. Dadurch werden große Teile der Bereitstellung von Gebäudewärme (von heute

noch überwiegend im Gaspfad befindlichen Bedarfen) in den Strompfad überführt. In der Bereitstellung von Raumwärme in Gebäuden steigt der Anteil dezentraler Wärmepumpen von 25 % in 2030 auf 57 % in 2045. Gleichzeitig sinkt der Einsatz von Gas- und Ölkesseln in der Bereitstellung von Raumwärme von 52 % in 2030 auf 9 % in 2045 (in 2045 H₂ basiert). Durch den Einsatz effizienter WP kann der gesamte Energiebedarf im Wärmesektor zwar deutlich reduziert werden, dennoch macht der Strombedarf für Wärmepumpen (Raum- und Prozesswärme) mit 80 TWh in 2030 und 153 TWh in 2045 etwa 12 % bzw. 14 % der gesamten Stromnachfrage aus. Der Strombedarf für **Power-to-Heat-Anlagen** (Elektrodenkessel, die Wärme aus Strom erzeugen) steigt von 2030 bis 2045 von 25 TWh auf 71 TWh an. Die benötigte Anlagenleistung steigt im gleichen Zeitraum von 19,5 GW auf 27,9 GW an. Power-to-Heat-Anlagen werden in diesem Szenario in 2045 ausschließlich für die Bereitstellung von Wärme in Wärmenetzen, für Industrieanwendungen von Temperaturen über 100°C eingesetzt. In 2030 speisten Power-to-Heat-Anlagen zusätzlich auch Wärmenetze für Industrieanwendungen unter 100°C und hatten hier einen Anteil von 25 %. Beim Betrieb von Wärmenetzen für Raumwärme ist es im Szenario sowohl 2030 als auch 2045 wirtschaftlicher, hauptsächlich Groß-Wärmepumpen (GWP) und KWK-Anlagen einzusetzen, Power-to-Heat-Anlagen kommen hier nicht zum Einsatz. An der Bereitstellung von Raumwärme haben Wärmenetze insgesamt einen Anteil von 23 % in 2030 und 33 % in 2045. Während 2045 in den Wärmenetzen zur Deckung von Raumwärmebedarfen und Industrienachfrage unter 100°C Groß-Wärmepumpen mit einem Anteil von 84 % (in der Raumwärme) und 86 % (in der Industrie <100°C) dominieren und die restlichen Bedarfe über KWK-Anlagen gedeckt werden, sieht die Zusammensetzung von Wärmenetzen in der Industrie über 100°C bis 500°C deutlich anders aus. Hier werden in 2045 keine Großwärmepumpen eingesetzt, die Wärmenetze werden zu 62 % von Power-to-Heat-Anlagen, zu 38 % von KWK-Anlagen gespeist. Wärmenetze decken 65 % der Wärmenachfrage in der Industrie nach Temperaturen zwischen 100°C bis 500°C, die restlichen 35 % werden über dezentrale wasserstoffbetriebene Heizkessel gedeckt. Für Industrie-Wärmenachfrage über 500°C werden hauptsächlich Direktanwendungen, die auf den Energieträgern Gas und Strom basieren, eingesetzt.

Für die Erzeugung von **Wasserstoff** (Power-to-Hydrogen) werden 17 TWh Strom in 2030 und 143 TWh Strom in 2045 benötigt. Der Strom wird entweder bei Stromüberschüssen aus dem Netz von Elektrolyseuren in Wasserstoff gewandelt. Hierfür müssten bis 2030 insgesamt 5 GW und bis 2045 in Summe 22 GW Elektrolyseursleistung installiert sein. Zusätzlich werden für die Wasserstoffproduktion Elektrolyseure eingesetzt, die direkt an Offshore-Windenergieanlagen ohne Netzeinspeisung angeschlossen sind ([siehe 2.3.1](#)). In 2030 sind laut diesem Szenario noch keine Elektrolyseure installiert, die direkt an Offshore-Windanlagen angeschlossen sind. Bis 2045 stehen dann jedoch zusätzliche 20 GW installierte Leistung ohne Netzanschluss zur Verfügung.

Auch der **Kältebedarf** steigt von 5,3 TWh in 2030 auf 12,6 TWh Strombedarf in 2045 an. Die Bereitstellung von Kälte (Klimaanlagen, Kühlräume etc.) liegt bereits heute überwiegend im Stromsektor und muss nicht über die Einführung neuer Technologien verändert werden.

Für die **Speichertechnologien** der Batterien und Pumpwasserkraftwerke werden lediglich die Wandlungs- und Speicherverluste bilanziert, die bei einem späteren Entladen nicht mehr als Strom zur Verfügung stehen. Diese belaufen sich für Batterien auf 0,94 TWh und für Pumpwasserkraftwerke auf 1 TWh in 2030. Bis 2045 steigen die Verluste aufgrund höherer Speicherkapazitäten etwas an und betragen für Batterien 2,1 TWh und für Pumpspeicherkraftwerke 3,2 TWh.

2.4 Abgleich mit den Plänen der Bundesregierung

Die neue Bundesregierung stellt die Weichen im Strom- und Energiesystem neu. Bereits im Koalitionsvertrag wurden wesentliche Änderungen energiepolitischer Zielstellungen kommuniziert – so z.B. die Erhöhung der erneuerbar erzeugten Strommenge auf 80 % bis 2030 sowie das 2 % Flächenziel für Wind-Onshore (Koalitionsvertrag, 2021 S. 56). Mit der Eröffnungsbilanz des BMWK liefert Robert Habeck eine Inventur des Energiesystems auf dem Weg zu Klimaneutralität 2045 und konkretisiert, welche Schritte das BMWK als notwendig erachtet, um auf diesen Pfad (zurück) zu gelangen (siehe [Abbildung 5](#); Eröffnungsbilanz Habeck, 2022). Diese Schritte sollen im Zuge der angekündigten Oster- und Sommerpakete in Rechtsakte überführt werden. Anfang März wurde als erster Teil dieser Pakete der Referent:innen-Entwurf der „Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der Erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor“ (BMWK, Referent:innen-Entwurf, 2022) bekannt.

Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland

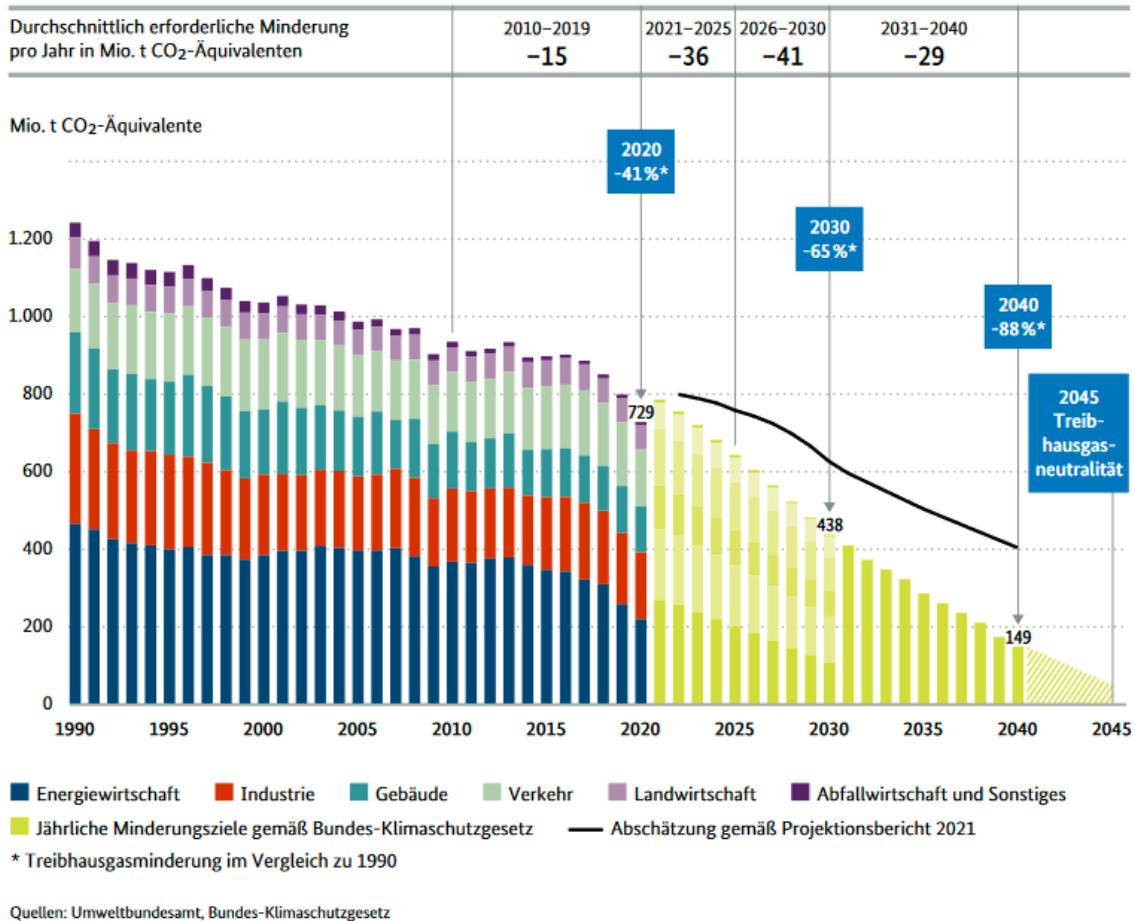


Abbildung 5: Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland

Quelle: Eröffnungsbilanz Robert Habeck, 2022

Um einen Abgleich mit den von Fraunhofer IEE eingangs vorgestellten Technologieprofilen zu ermöglichen, stehen im Folgenden ebenfalls die strombezogenen Kennzahlen im Fokus.

Das im Koalitionsvertrag für 2030 angekündigte Ziel, 80 % der **Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien** decken zu wollen, findet sich auch in der Eröffnungsbilanz wieder und wurde im EEG-Referent:innen-Entwurf mit 578 TWh EE-Stromerzeugung in 2030 konkretisiert. Der dafür angelegte projizierte **Stromverbrauch** in 2030 beträgt 715 TWh, wodurch der anvisierte EE-Stromanteil sogar leicht über 80% läge. Beide Kennzahlen liegen leicht über den Szenarioergebnissen von Fraunhofer IEE, welche mit einem Stromverbrauch von 682 TWh in 2030 (und einer EE-Stromerzeugung von 531 TWh in 2030) am unteren Rand der Schätzungen zum Stromverbrauch von 680 bis 750 TWh liegen. Ebenso soll mit der EEG-Novelle das neue Ziel eines weitgehend **treibhausgasneutralen Stromsystems 2035** verankert werden. Im Fraunhofer-Szenario wird bis 2045 ein treibhausgasneutrales gesamtes Energiesystem erreicht, in

dem alle Sektoren – Strom, Wärme, Verkehr und Industrie – berücksichtigt werden. Zu diesen längerfristigen Zielen außerhalb des Stromsektors stehen wenig konkrete Aussagen in den Plänen des BMWK. Trotz des Ziels eines weitgehend treibhausgasneutralen Stromsystems in 2035 muss darüber hinaus dennoch berücksichtigt werden, dass neue Verbraucher, die nach 2035 in den Strompfad überführt werden (bspw. Strombedarf von Wärmepumpen, die Gaskessel ersetzen), den Strombedarf insgesamt erhöhen. Dies erfordert einen weiteren Ausbau an Erneuerbaren Energien im Stromsektor auch nach 2035.

Um die ambitionierten Ziele der Bundesregierung bis 2035 zu erreichen, sollen die im EEG anvisierten Zielkapazitäten nach oben korrigiert werden. Wie in der Eröffnungsbilanz angekündigt, findet sich im EEG-Referent:innen-Entwurf das Ziel, im Jahr 2030 eine installierte **PV**-Leistung von 200 GW realisiert zu haben. Im Einklang mit den höheren angenommenen Stromverbrauchsmengen fällt auch das PV-Ziel (um 15 GW) höher aus als im Technologieportfolio von Fraunhofer IEE. Auch die geplanten GW-Kapazitäten für **Wind-Onshore** liegen mit 100 (Energiebilanz) bzw. 110 GW (EEG-Referent:innen-Entwurf) über den Fraunhofer-Ergebnissen von 83 GW. Im Bereich **Wind-Offshore** fällt das 2030-Ziel mit 30 GW ebenfalls höher aus als die 20 GW bei Fraunhofer IEE (was allerdings dem im Dezember 2020 in Kraft getreten Ziel im Windenergie-auf-See-Gesetzes entsprach). Für 2045 werden im Referent:innen-Entwurf zum Windenergie-auf-See-Gesetz jedoch 70 GW Wind-Offshore anvisiert, was wiederum wesentlich über den Potenzialannahmen des Fraunhofer-Szenarios liegt (BMWK, Referent:innen-Entwurf, 2020).

Im Bereich EE-Ausbau scheinen die Pläne des BMWK für 2030 daher deutlich ambitionierter als das Fraunhofer-IEE-Energiesystem-2030 zu sein. Dies liegt hauptsächlich in unterschiedlichen Annahmen zu zukünftigen Strombedarfen und in den weniger ambitionierten europäischen Klimaschutzzielen begründet, die dem Fraunhofer-Szenario zugrunde liegen, gegenüber den nationalen Klimaschutzzielen des neuen Koalitionsvertrages. Bis 2045 zeigen sowohl die Pläne des BMWK als auch das Fraunhofer-Szenario ein klimaneutrales Zielsystem, wenn auch nur sehr wenig Informationen zur technologischen Ausgestaltung dieses Ziels in den Plänen des BMWK konkret zu finden sind. Ein feststellbarer Unterschied in der technologischen Zusammensetzung ist bspw. das höhere Offshore-Ausbauziel des BMWK gegenüber der früheren Begrenzung des Ausbaus laut Windenergie-auf-See-Gesetz, das den Ausbau im Fraunhofer-Szenario begrenzt. Auch die unterschiedlichen Annahmen zu zukünftigen Strombedarfen resultieren in unterschiedlich hoch benötigten Installationsleistungen.

Bezüglich des **Kohleausstiegs** strebt die Bundesregierung laut Koalitionsvertrag und Eröffnungsbilanz darüber hinaus eine „Beendigung der Kohleverstromung idealerweise bis 2030“ (Koalitionsvertrag, 2021 S. 15) an. Auch das von Fraunhofer IEE errechnete Technologieprofil zeigt für 2030 keine Anteile von Kohlestrom auf.

Zum weiteren Ausbau der Gaskraftwerkskapazitäten bzw. der Rolle von **Erdgas** im Stromsystem haben die Bundesregierung und das BMWK bisher keine konkreten Äußerungen getroffen. In der Energiebilanz heißt es jedoch:

„In einem dritten Schritt [nach dem Atom- und Kohleausstieg] wird der Ausstieg aus der fossilen Gasnutzung folgen. Dabei wird der Einsatz von fossilem Gas zur Stromerzeugung schrittweise reduziert und teilweise durch grünen Wasserstoff ersetzt. Laut dem 1,5-Grad-Pfad der Internationalen Energieagentur ist es notwendig, dass die Industrieländer im Stromsektor das Ziel der Klimaneutralität bis 2035 erreichen. Dies ist ein ehrgeiziges Ziel, dem wir uns stellen werden.“ (Eröffnungsbilanz Habeck, 2022 S. 15).

Konkrete Ausbauzahlen zu Gaskraftwerken oder KWK-Anlagen – wie im Technologieprofil von Fraunhofer IEE ausgewiesen – finden sich nicht. Ebenso fehlen Angaben zur weiteren Rolle von Müll-HKWs, Klärgas, Biomasse (wobei sich für Biomasse im EEG-Referent:innen-Entwurf das 2030-Ziel von 8,4 GW findet) sowie zu einem potenziellen Ausbau von Batterie- und Pumpspeicherkraftwerken.

Auch auf der Strom-Anwendungsseite bleiben wesentliche Technologieentscheidungen noch offen. Während in der Eröffnungsbilanz des BMWK zwar geäußert wird, dass die geplanten **Elektrolyse**-Kapazitäten in 2030 von 5 auf 10 GW erhöht werden sollen (5 GW höher als im Fraunhofer-IEE-Szenario), werden keine konkreten Angaben zu anvisierten **Power-to-Heat**-Erzeugungsmengen getroffen. Bezüglich des Wärmepumpenausbaus wird hingegen ein Korridor von 4,1 bis 6 Millionen **Wärmepumpen** bis 2030 eröffnet. Ebenso sollen 2030 50 % der Wärme klimaneutral erzeugt werden und ab 2025 jede neu eingebaute Heizung zu 65% erneuerbar betrieben werden. Angaben dazu, was dies jeweils an Stromverbräuchen bedeutet, finden sich nicht.

Im Bereich **E-Pkw** wurde bereits im Koalitionsvertrag das Ziel kommuniziert, bis 2030 mindestens 15 Millionen vollelektrische Pkw auf die Straße zu bringen und damit den Anteil der Fahrleistung der E-Pkws auf 40 % des Pkw-Verkehrs zu erhöhen. Bei den **Lkws** wird hingegen ein Anteil der elektrischen Fahrleistung von über 30 % in 2030 als möglich erachtet. Angaben zu dafür nötigen Strominputs finden sich nicht. Neben den Beiträgen von E-Pkw und E-Lkw werden in der Eröffnungsbilanz auch der nötige Ausbau der Bahn und des ÖPNV eingehender betrachtet; Technologien die im Fraunhofer-Szenario im herkömmlichen Strombedarf berücksichtigt werden.

Insgesamt scheint der Plan des BMWK daher ambitioniert und der richtige Weg, um die nationalen Klimaziele zu erreichen. Für einige Technologien bleibt eine konkretere Klärung der Rolle im künftigen Energiesystem noch ausstehend (z.B. KWK-Anlagen, Biomasse, Müll-HKW & Klärgas sowie Speichertechnologien). Darüber hinaus sollte auch der Blick über 2030 hinaus geschärft werden. Hier bieten die Ergebnisse des Fraunhofer IEE wertvolles Orientierungswissen.

Tabelle 1: potenzielle Technologieprofile Strom 2030 und 2045 national – Ergebnisse Fraunhofer IEE und Pläne BMWK im Vergleich

Technologieprofile National	2030 IEE / 2030 BMWK		2045 IEE / 2045 BMWK	
<u>Inland. Stromerzeugung</u>	619 TWh		977 TWh	
Stromerzeugung aus EE	Wind&PV: 499 TWh 288 GW	80 % EE = 572* (bzw. 578 TWh = leicht >80%)	1.050 TWh 570 GW (100 % EE)	100 % EE (bereits in 2035)*

PV Freiflächen	71 TWh Strom 70 GW	200 GW	152 TWh Strom 150 GW	400 GW*
PV Dachflächen	108 TWh Strom 115 GW		236 TWh Strom 250 GW	
Wind-Onshore	242 TWh Strom 83 GW	100 GW (110 GW*)	421 TWh Strom 130 GW	160 GW (bereits in 2040)*
Wind-Offshore	78 TWh Netzeinspeisung 20 GW	30 GW**	73 TWh Netzeinspeisung (+ 73 TWh zur direkten Wasserstoff- wandlung) 20 GW (+20 GW für H2)	70 GW**
Wasserkraft	32 TWh Strom 14 GW		32 TWh Strom 14 GW	
Müll-HKW / Klärgas	28 TWh Strom 5 GW		11 TWh Strom 2 GW	
Biomasse		8,4 GW*		
KWK-Anlagen	59 TWh Strom 58 GW		52 TWh Strom 58 GW	
Netto-Stromimport	63 TWh		38 TWh	
<u>Stromverbrauch</u>	682 TWh	715 TWh	1.088 TWh	
Herkömmliche Stromverbraucher (z.B. Bahn, Gebäudestrom, Industrie; alle Verbraucher, die 2012 bereits im Strompfad waren)	514 TWh Strom		503 TWh Strom	
E-PKW	37 TWh Strom Ca. 18 Mio. E-Pkw	Min. 15 Mio. E-Pkw; 40% der Fahrleistung	138 TWh Strom ca. 63 Mio. E-Pkw	
OL-LKW	2 TWh Strom	> 30% E-Lkw	49 TWh Strom	
Wärmepumpen	80 TWh Strom	50%	153 TWh Strom	
Power-to-Heat	25 TWh Strom 20 GW	klimaneutrale Wärme; 4,1 bis 6 Mio. Wärmepumpen	71 TWh Strom 28 GW	
Power-to-Wasserstoff	17 TWh Strom (Netzbezug) 5 GW	10 GW	70 TWh Strom (Netzbezug) +73 TWh Direktnutzung aus Offshore-Erzeugung 22 GW mit Netzanschluss + 20 GW an Offshore-Parks	
Kältetechnologien (Klimaanlagen, Kühlräume etc.)	5,3 TWh Strom 11 GW		12,6 TWh Strom 21 GW	
Batteriespeicher & Pumpspeicherkraftwerke	0,94 TWh Wandlungsverlust 1 TWh Wandlungsverlust		2,1 TWh Wandlungsverlust 3,2 TWh Wandlungsverlust	

	12 GW Batterieleistung (Pumpspeicher bei Wasserkraftleistung enthalten)	35 GW Batterieleistung (Pumpspeicher bei Wasserkraftleistung enthalten)
<u>Kraftwerksleistung</u>	400 GW	748 GW

Quelle: eigene Darstellung Fraunhofer IEE

** Zahlen aus EEG-Referent:innen-Entwurf*

*** Zahlen aus Referent:innen-Entwurf Wind-See-Gesetz*

3. Regionalisierung der Szenarioergebnisse

3.1 Methodik der Regionalisierung

Für die Regionalisierung wird vom Fraunhofer IEE eine **Top-down-Methodik** genutzt. Bei diesem Ansatz werden die nationalen Ergebnisse regional heruntergebrochen. Dadurch ist gewährleistet, dass die regionalen Ergebnisse konsistent sind mit nationalen Klimazielen. Diese Top-down Methodik ist daher eine wichtige Ergänzung zu üblichen Bottom-up-Methoden.

Die Kennzahlen und Zeitreihen für Stromversorgung und -verbrauch in Berlin und Spree-Neiße in den Jahren 2030 und 2045 werden aus dem ARIADNE-Szenario „Fokus PV“ entnommen, das für ganz Deutschland vorliegt und in dem die Standorte aller Stromerzeuger und -verbraucher in den Jahren 2030 und 2045 abgebildet sind. Zur Bestimmung, welche Stromerzeuger und -verbraucher des ARIADNE-Szenarios in Berlin und Spree-Neiße liegen, werden die Grenzverläufe der Landkreise Berlin und Spree-Neiße herangezogen und ermittelt, welche Standorte der Stromerzeuger und -verbraucher innerhalb der Landkreise liegen. Das Verfahren lässt sich als geographische Filterung des deutschlandweiten Szenarios nach den beiden Landkreisen über die Standortinformationen der Stromerzeuger und -verbraucher zusammenfassen.

Für die regionale **Verteilung der Onshore-Windkraftanlagen** wurden für das deutschlandweite Szenario die Potenzialflächen bestimmt, indem Flächen wie Siedlungsgebiete mit einem Puffer sowie geschützte und weitere Gebiete ausgeschlossen wurden. Für die Onshore-Windenergie im PV-Fokusszenario wurde zusätzlich der Naturschutz stärker gewichtet (z.B. wurden Waldgebiete und Naturparks ausgeschlossen). Für die Auswahl von Windenergiestandorten wurde die Eignung der einzelnen Flächen über verschiedene Kriterien wie z. B. den Abstand zu Ortschaften und Naturschutzgebieten sowie die Standortgüte ermittelt. Zusätzlich wurde der heutige Anlagenbestand mit einer Lebensdauer von 20 Jahren berücksichtigt (Ariadne, 2021).

Für den **Ausbau von PV auf Dachflächen** wurde im ARIADNE-Projekt ein Zielwert pro Bundesland berechnet, der sich aus dem Ausbauziel für ganz Deutschland und der pro Bundesland potenziell zur Verfügung stehenden Dachflächen ergibt. In dem Ausbaualgorithmus wurde die Ausbaugeschwindigkeit pro Gemeinde ermittelt, indem, ausgehend von der historischen installierten Leistung pro Gemeinde, die bisherige Ausbaugeschwindigkeit ins Verhältnis zur Ausbaugeschwindigkeit des jeweiligen Bundeslandes gesetzt wurde. Das Dachflächenpotenzial wurde durch die Fläche der

Hausumringe bzw. Gebäudeumrisse, angenähert. Die Infos zum Anlagenbestand stammen aus dem Marktstammdatenregister (Ariadne, 2021).

Für **PV-Freiflächenanlagen** wurden die Potenzialflächen an den Randstreifen neben Autobahnen und Schienenwegen von 185 m Breite (200 m gemäß EEG, abzüglich technisch notwendiger Abstand) sowie Konversionsflächen und benachteiligte Gebiete (Landwirtschaftsflächen mit schlechter Bodenqualität und Heideflächen) bestimmt. Anschließend wurden zufällig Anlagen auf den Potenzialflächen platziert. Die Anlagengröße wurde mittels einer Wahrscheinlichkeitsverteilung aus dem Erneuerbare-Energien-Gesetz-Erfahrungsbericht bestimmt. Ausrichtung und Neigung wurden für Freiflächenanlagen immer optimal mit 30° Neigung und Ausrichtung nach Süden angenommen.

3.2 Ergebnisse der Regionalisierung und Abgleich mit regionalen Energiekonzepten

Grundlage für die Stromversorgungsszenarien für Berlin und Spree-Neiße bildet das deutschlandweite PV-Fokusszenario in Kombination mit den lokalen Potenzialen der erneuerbaren Stromerzeugung in Berlin und Spree-Neiße. Aus dem Stromverbrauchsszenario werden Szenarien für die Stromversorgung der beiden Landkreise Berlin und Spree-Neiße in den Jahren 2030 und 2045 gemäß der oben (Kapitel [2.1](#) und [2.2](#)) beschriebenen Methodik abgeleitet, in denen Windenergie und Photovoltaik die maßgebenden Stromerzeugungstechnologien sind.

Sowohl die Stromverbrauchs- als auch die Stromerzeugungsszenarien sind nicht als Prognosen für Berlin und Spree-Neiße zu verstehen, sondern zeigen eine mögliche Entwicklung auf, mit denen Berlin und Spree-Neiße jeweils ihren Beitrag zur Energiewende sowie zur Erreichung von Klimaneutralität leisten können.

3.2.1 Entwicklung des Energiesystems Berlin

Modellergebnisse Fraunhofer IEE

Auffällig bei den Ergebnissen für Berlin ist, dass in den modellierten Jahren 2030 und 2045, anders als beim nationalen Ergebnis, die **Strombilanz nicht ausgeglichen** ist und somit der Strombedarf (wie heute allerdings auch schon) nicht komplett über regionale Stromerzeugung gedeckt werden kann. Nur etwa 37 % des Strombedarfs wird 2030 in Berlin erzeugt, 2045 sind es lediglich 30 %. Dies liegt am hohen Strombedarf bei gleichzeitig geringer Flächenverfügbarkeit, was typisch für Großstädte ist. Der restliche Energiebedarf muss über umliegende Regionen gedeckt werden.

Aktuell gibt es in Berlin 10 Windenergieanlagen mit einer installierten Leistung von insgesamt 12,5 MW (Stand 2019, Produkt 3.1 2021). Im Jahr 2030 sind es im Szenario ein paar wenige Onshore-Windkraftanlagen mehr mit insgesamt 23 MW Leistung (in der Grafik durch den geringen Anteil kaum sichtbar). In **2045** sind laut den Szenarioergebnissen **keine Windkraftanlagen mehr installiert**, aufgrund von

Flächenverfügbarkeiten werden die Anlagen längerfristig weder ausgebaut noch über Repowering weiterbetrieben ([Abbildung 7](#)). Auch **Freiflächen-PV-Anlagen** werden im Szenario nur sehr spärlich ausgebaut, mit insgesamt 16 MW sorgen sie im Jahr 2030 lediglich für eine Erzeugung von 16 GWh (in der Abbildung aufgrund geringer Anteile kaum sichtbar). Im Jahr 2045 sorgen 50 MW installierte Leistung für eine Stromproduktion von etwa 52 GWh. Die Ergebnisse zeigen, dass der Großteil der PV-Erzeugung in Berlin über Dachanlagen gewonnen wird. Mit einer kumulierten Anlagenleistung von 1.700 MW könnten 2030 etwa 1,6 TWh Strom generiert werden. Im Jahr 2045 beträgt die installierte Leistung der PV-Dachanlagen im Szenario etwa 4.100 MW, die mit einer Erzeugung von 3,8 TWh Strom beitragen könnten. Damit sorgen **PV-Dachanlagen** in diesem Szenario für einen Anteil von knapp **einem Drittel an der gesamten Stromerzeugung Berlins im Jahr 2030. Bis ins Jahr 2045 steigt der Beitrag an der Stromerzeugung aus Dach-PV sogar auf einen Anteil von mehr als der Hälfte (54 %) der Berliner Stromerzeugung an.**

Trotz des hohen Anteils an der Stromerzeugung Berlins ist der Anteil der Stromerzeugung von PV-Dachanlagen bevölkerungsgewichtet deutlich geringer, als die Szenarioergebnisse für Deutschland durchschnittlich zeigen. **Bevölkerungsgewichtet liegt die Stromerzeugung aus PV-Dachanlagen in Berlin bei nur einem Drittel gegenüber der durchschnittlichen deutschlandweiten Erzeugung.** Die Gebäudestruktur in Berlin weist einen höheren Anteil an Mehrfamilienhäusern auf, die eine kleinere Dachfläche pro Person aufweisen, als das bei einem Ein- oder Zweifamilienhaus der Fall ist. Dadurch ist auch das Potenzial an Dachflächen zur Nutzung von PV-Anlagen begrenzter.

Die anteilige Stromgewinnung an Müll-HKW und Klärgas an der Stromerzeugung in Berlin sinkt im Szenario von 15 % in 2030 auf 5 % in 2045. KWK-Anlagen liefern 2030 gemessen an der Stromerzeugung einen relativ hohen Beitrag von 54 % an der Stromerzeugung in Berlin. Dieser sinkt bis 2045 auf 40 % ab, bei einer im gleichen Zeitraum konstant bleibenden produzierten Strommenge von 2,8 TWh und einer ebenfalls konstant bleibenden installierten Leistung von 3,9 GW. Die Stromerzeugung aus KWK-Anlagen gemessen am Stromverbrauch von Berlin liegt mit 20 % in 2030 und 12 % in 2045 zwar oberhalb des deutschlandweiten Durchschnitts von 9 % und 5 % (2030 und 2045). Berücksichtigt man aber, dass KWK-Anlagen vor allem in großen Städten ausgebaut werden, zeigen die Ergebnisse für Berlin einen eher unterdurchschnittlichen Beitrag der KWK-Anlagen an der Stromerzeugung für eine Stadt mit dieser Einwohnerzahl. Dies lässt sich auch an der Anzahl an Volllaststunden beobachten, die mit 712 Volllaststunden in 2045 in Berlin unterhalb des deutschlandweites Durchschnitts von 900 Volllaststunden liegt.

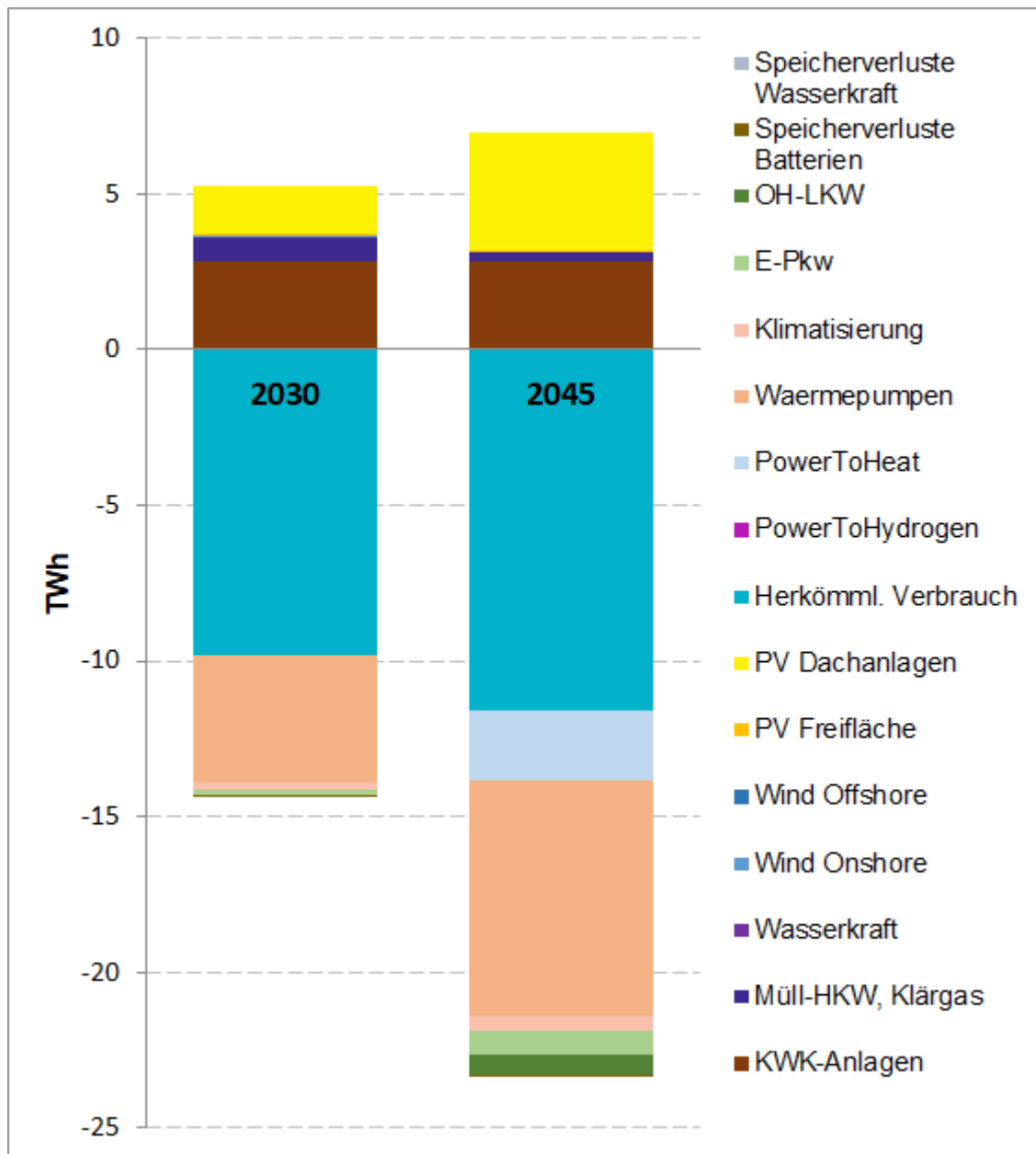


Abbildung 6: Entwicklung der Strombilanz für die Region Berlin in den Szenariojahren 2030 und 2045. Stromverbrauch (negative Werte) und -erzeugung (positive Werte), aufgeteilt nach den wichtigsten zukünftigen Energieerzeugungstechnologien und Verbraucherguppen

Quelle: eigene Berechnungen und Darstellung Fraunhofer IEE

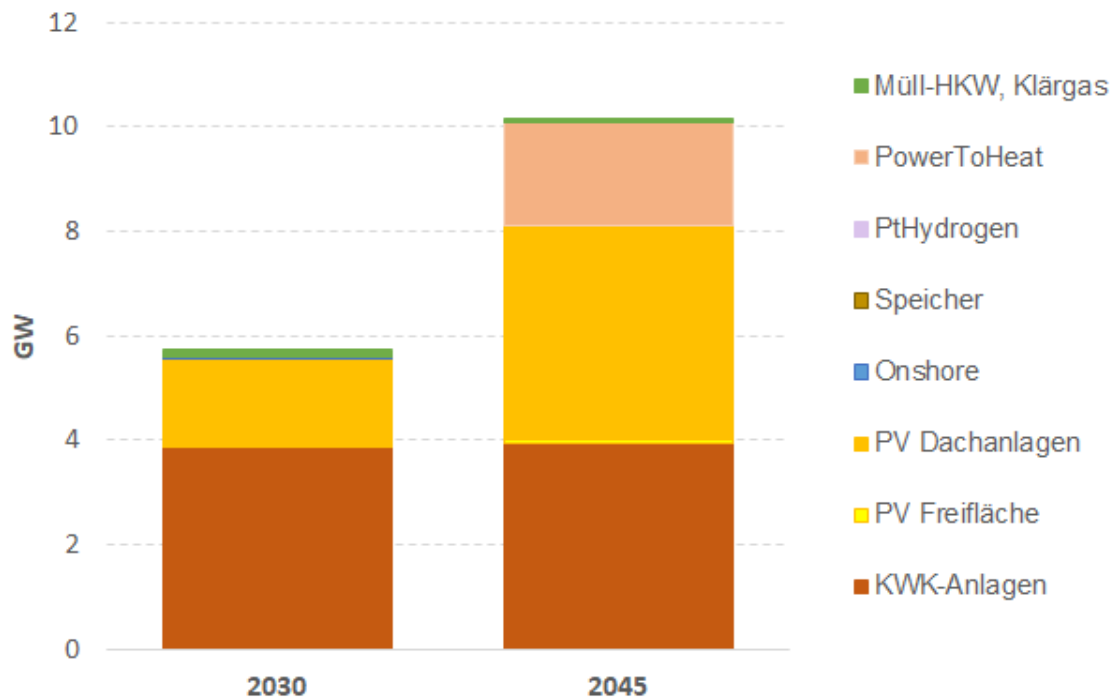


Abbildung 7: Entwicklung der installierten Leistungen der wesentlichen zukünftigen Stromerzeuger in der Region Berlin in den Jahren 2030 und 2045

Quelle: eigene Berechnungen und Darstellung Fraunhofer IEE

Auch die Verbrauchsstruktur in **Berlin unterscheidet sich von der deutschlandweiten Verbrauchsstruktur**. Das Laden von E-Pkw macht laut Ergebnissen von Fraunhofer IEE in Berlin nur 1,3 % des Strombedarfs in 2030 und 3,3 % des Strombedarfs in 2045 aus. Der Anteil am Stromverbrauch der E-Pkw in Deutschland insgesamt liegt etwa viermal so hoch (in den Jahren 2030 und 2045) und macht in Deutschland in 2045 etwa 13 % der Stromnachfrage aus.

Im **Wärmesektor dominieren dezentrale und zentrale Wärmepumpen sowie KWK-Anlagen zur Deckung von Raum- und Prozesswärme**. Die Regionalisierung der Szenarioergebnisse zeigt, dass in Berlin Wärmepumpen in erheblichem Umfang ausgebaut werden. Ihr Strombedarf beträgt 2030 bereits 4,1 TWh und steigt bis 2045 auf 7,6 TWh an. Damit beträgt der Anteil von Wärmepumpen an der Stromnachfrage Berlins 29 % in 2030 und 33 % in 2045. **Verglichen mit dem bundesweiten Durchschnitt liegt der Anteil an Wärmepumpen 2030 bzw. 2045 in Berlin 2,4 Mal bzw. 2,3 Mal höher** (deutschlandweiter Anteil 2030: 12 % bzw. 2045: 14 %). Groß-Wärmepumpen, die in Wärmenetze einspeisen, die zur Deckung des Wärmebedarfs von Raumwärme und Industrieanwendungen unter 100°C dienen, haben einen Anteil an den Wärmepumpen insgesamt von 40 % in 2030 und von 45 % in 2045. Die restlichen Wärmepumpen sind Luft- bzw. Erdsonden-Wärmepumpen, die zur dezentralen Wärmedeckung von Gebäuden eingesetzt werden. In der Abbildung ist sichtbar, dass bereits bis 2030 ein deutlicher Ausbaubedarf an Wärmepumpen in einem kostenoptimierten System erforderlich ist. Die Wärmeproduktion der Berliner KWK-Anlagen dient der Wärmebereitstellung für Wärmenetze. Sie können sowohl in Wärmenetzen, die zur Deckung des Raumwärmebedarfs dienen, als auch in Wärmenetzen zur Deckung von

Industrienachfrage für Temperaturen bis 500°C eingesetzt werden. Urbane Gebiete zeichnen sich aufgrund ihrer hohen Bevölkerungsdichte durch eine generell hohe Wärmedichte aus, wodurch sich Wärmenetze besonders wirtschaftlich betreiben lassen. In Berlin wird der größte Anteil der Wärmebereitstellung in Wärmenetzen zukünftig aber durch Groß-Wärmepumpen gedeckt.

Abgleich mit Ergebnissen der IÖW Studie „Berlin Paris-konform machen“

Auch das Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) hat sich damit beschäftigt, wie der Berliner Weg zu einem klimaneutralen Energiesystem bzw. sogar zu einem Paris-konformen Energiesystem aussehen kann. In ihrer Machbarkeitsstudie „Berlin Paris-konform machen“ (Hirschl et al. 2021) werden dazu drei Szenarien nach einem restriktionsbasierten Ansatz errechnet und vorgestellt: Berlin Klimaneutral 2030 (KnB 2030), Berlin klimaneutral 2040 (KnB 2040) und Berlin klimaneutral 2050 (KnB 2050). Die Szenarien bilden die wissenschaftliche Grundlage für die Überarbeitung des Berliner Energie- und Klimaprogramms (BEK). Im Folgenden wird – aus Gründen der Vergleichbarkeit der Ergebnisse – ausschließlich auf die Stromkennzahlen des KnB-2050-Szenarios eingegangen.

Laut IÖW steigt der **Stromverbrauch** Berlins im Szenario KnB 2050 um 41 % verglichen mit dem Wert von 2020 auf 72 PJ im Jahr 2050 (ca. 20 TWh und damit etwas höher als das Ergebnis von Fraunhofer IEE). Dies liegt vor allem an hinzukommenden Strombedarfen von Sektorkopplungstechnologien wie Power-to-Fernwärme, Power-to-Gas und Wärmepumpen (siehe [Abbildung 9](#)).

Berlin erzeugt in den kommenden Jahrzehnten zwar immer mehr Strom selbst, jedoch bleibt die Strombilanz unausgeglichen. So ist Berlin auch weiterhin auf Importe angewiesen. Während Fraunhofer IEE zu dem Ergebnis kommt, dass Berlin nur 30 % seines Strombedarfs 2045 selbst decken wird, macht das IÖW deutlich, dass sich Berlins **Stromimporte** 2045 zwar fast verdoppeln – von ca. 5,2 auf 10,2 TWh (in 2020 bzw. 2050) –, im Jahr 2050 dennoch nur 51 % des Strombedarfs über Importe gedeckt werden. Damit fällt die angenommene Eigenstromerzeugung im IÖW-Szenario höher aus als bei Fraunhofer IEE.

Da Berlin als Großstadt eine geringe Flächenverfügbarkeit aufweist, wird auch bei IÖW der Hauptteil der Stromversorgung in Höhe von ca. 7,5 TWh mittels **PV-Anlagen** gedeckt. Laut IÖW sind PV-Anlagen für 37 % der Stromversorgung Berlins in 2050 verantwortlich. Fraunhofer IEE spricht PV zwar eine noch größere Bedeutung zu; hier sorgen PV-Dachanlagen für mehr als die Hälfte der Stromerzeugung Berlins in 2045. Allerdings ist die Stromproduktion absolut betrachtet im Fraunhofer-Szenario mit 3,8 TWh deutlich geringer als im IÖW-Szenario. Zusätzlich verbleiben bei IÖW – anders als bei Fraunhofer IEE – auch in 2050 noch **Wind-Onshore** Leistungen (wenn auch in geringem Umfang). Laut IÖW leisten **KWK-Anlagen** mit ca. 1,8 TWh einen nicht unbeachtlichen Beitrag zum Berliner Strommix (auch wenn ihr Beitrag im Vergleich zu 2020 abnimmt). Beim Fraunhofer-Szenario leisten KWK-Anlagen mit 2,8 TWh und einem Anteil von 40 % an der Stromerzeugung in 2045 einen noch höheren Beitrag als beim IÖW. Anders als im Fraunhofer IEE Szenario setzt IÖW **Müll-HKW und Biomasse** nicht mehr zur

Verstromung, sondern nur noch thermisch ein. Aber auch im Fraunhofer-Szenario nimmt die Bedeutung von Müll-HKW an der Stromerzeugung von 15 % in 2030 auf nur noch 5 % in 2045 ab.

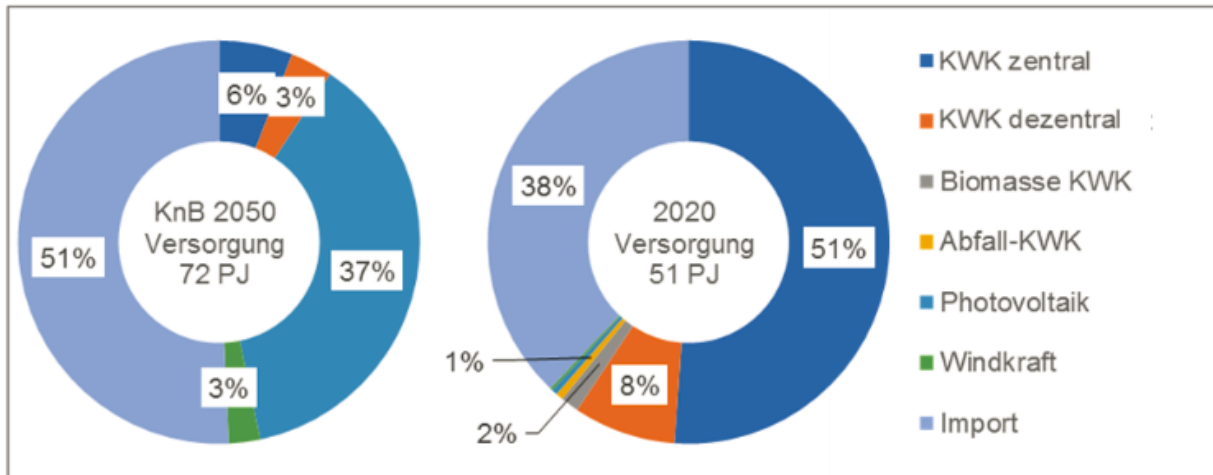


Abbildung 8: Stromversorgung im Szenario KnB 2050 im Vergleich zu 2020

Quelle: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW),
Berlin Paris-konform machen 2021

Abbildung 71: Stromverbrauch im Szenario KnB 2050 im Vergleich zu 2020

Quelle: Eigene Darstellung.

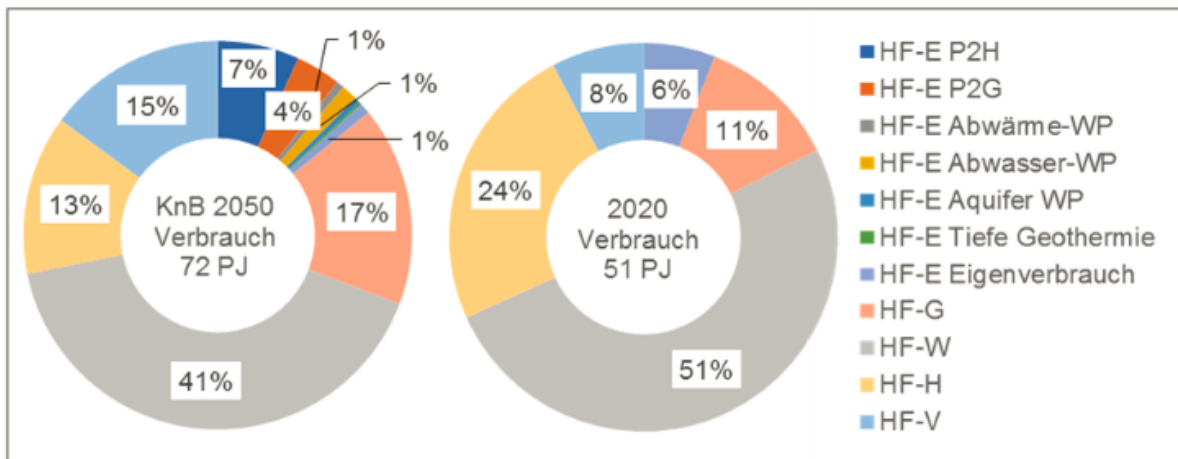


Abbildung 9: Stromverbrauch im Szenario KnB 2050 im Vergleich zu 2020

Quelle: IÖW, Berlin Paris-konform machen 2021

*HF = Handlungsfeld

Auch auf der Anwendungsseite kommen IÖW und Fraunhofer IEE im Detail zu unterschiedlichen Technologieprofilen. Während das IÖW der **Wärmepumpe** in Berlin, mit einem Anteil von ca. 3% am Stromverbrauch, eine geringe Rolle im Stromverbrauchsmix attestiert, sind im Szenario von Fraunhofer IEE Wärmepumpen in

2045 für ein Drittel des Stromverbrauchs der Hauptstadt verantwortlich. Im Fraunhofer-Szenario sind dabei sowohl dezentrale Luft- und Erdwärmepumpen als auch Groß-Wärmepumpen, die in Wärmenetzen eingesetzt werden, berücksichtigt. Bei der Bewertung des Power-to-Heat-Potenzials liegen die Szenarien wiederum in einem ähnlichen Bereich. Laut IÖW macht **Power-to-Heat** 2050 gut 7 % des Stromverbrauchs in Berlin aus, im Fraunhofer-IEE-Szenario beträgt der Anteil 10 % für Power-to-Heat in 2045. Im Fraunhofer-Szenario wird Power-to-Heat in 2045 nicht für Raumwärmebedarfe, sondern ausschließlich für Prozesswärmebedarfe in der Industrie für Temperaturen über 100°C eingesetzt.

Anders als bei Fraunhofer IEE wurde von IÖW der **Kälteverbrauch** nicht modelliert, da davon ausgegangen wurde, dass dieser – trotz der zunehmenden Klimaerwärmung – eine eher untergeordnete Rolle spielen würde.

Im **Pkw**-Bereich geht das IÖW-KnB-2050-Szenario davon aus, dass 2050 über 90 % der Pkw-Fahrleistung batterieelektrisch erbracht wird, da neben batterieelektrischen Fahrzeugen laut IÖW auch Plug-in-Hybride im Berliner Fahrzeugbestand verbleiben. Bei den **Lkw** bzw. im Schwerlastverkehr sieht das IÖW noch größere Unsicherheiten bzgl. der sich durchsetzenden Antriebsart und geht hier für Berlin von einem Mix aus Wasserstoff-Lkw (61 %), Batterie- bzw. OL-Lkw (20 %) und Verbrenner (19 %) aus, wobei letztere künftig mit Bio- und synthetischen Kraftstoffen laufen. Neben Pkw und Lkw betrachtet das IÖW auch das Elektrifizierungspotenzial der Berliner **Busflotte** und kommt zu dem Ergebnis, dass diese bis 2030 zu 100 % elektrifizierbar ist. Insgesamt macht das IÖW in seinem Szenario KnB 2050 aber auch deutlich, dass der Berliner Verkehr stärker auf den ÖPNV, die Schiene und Wasserstraßen verlagert werden muss. Insgesamt kommt das IÖW auf einen Stromverbrauch des Verkehrssektors in 2050 von ca. 3 TWh. Im Fraunhofer-Szenario liegt der gesamte Strombedarf im Verkehr für elektrisch betriebene Pkw, OL-Lkw und ÖPNV in 2045 bei 2,3 TWh und damit leicht unterhalb des Verbrauchs im IÖW-Szenario.

Das IÖW sieht weitere Elektrifizierungspotenziale, so z.B. bei der Berliner Wirtschaft im Bereich der mechanischen Energie, die bis 2050 „vollständig durch strombasierte Technologien (Druckluftsysteme, Generatoren, Antriebe etc.) substituiert“ (IÖW, 2021 S. 202) werden könnte. Auch beim Bereich der Prozesswärme sieht das IÖW Elektrifizierungspotenzial in Höhe von 45 %. Schließlich wird **Wasserstoff** als klimaneutraler Energieträger in mehreren Anwendungsbereichen im KnB 2050 eingesetzt. Im Stromverbrauchsmix spielt er jedoch mit 4 % eine eher untergeordnete Rolle. Obwohl Wasserstoff in den nationalen Szenarien des Fraunhofer IEE eine große Rolle spielt, zeigen die Ergebnisse des Fraunhofer-Szenarios für Berlin kein Power-to-Hydrogen. Im Szenario werden die Elektrolyse-Anlagen zur Wasserstoffproduktion im Norden, in der Nähe großer Onshore-Windparks oder ohne Netzanschluss direkt an Offshore-Windparks angeschlossen. Dadurch soll der Bedarf am Netzausbau reduziert und die Akzeptanz für die Umsetzung der Energiewende gesteigert werden.

Tabelle 2: potenzielle Technologieprofile Strom 2045 und 2050 Berlin – Ergebnisse Fraunhofer IEE und IÖW im Vergleich

Technologieprofile Berlin	2050 IÖW	2045 IEE
eigene Stromerzeugung	9,8 TWh	7,0 TWh

PV Freiflächen	7,4 TWh	0052 TWh 0,05 GW
PV Dachflächen		3,8 TWh 4,1 GW
Wind-Onshore	0,6 TWh	---
Wind-Offshore	---	---
Wasserkraft	---	---
Müll-HKW / Klärgas	---	0,3 TWh
KWK-Anlagen	1,8 TWh	2,8 TWh
Netto-Stromimport	10,2 TWh	16,3 TWh
<u>Stromverbrauch</u>	20 TWh	23,3 TWh
Herkömmliche Stromverbraucher	9,4 PJ Haushalte, 29,5 PJ Wirtschaft, 12,2 PJ Gebäude = 14,3 TWh	11,6 TWh
Verkehr	Verkehr 3 TWh	2,3 TWh
Wärmepumpen	0,6 TWh	7,6 TWh
Power-to-Heat	1,4 TWh	2,3 TWh
Power-to-Wasserstoff	Power-to-Gas 0,8 TWh	---
Kältetechnologien (Klimaanlagen, Kühlräume etc.)	---	0,5 TWh
Batteriespeicher & Pumpspeicherkraftwerke	---	0,03 TWh (Batteriespeicherverluste)
<u>Kraftwerksleistung</u>	---	10,2 GW

Quelle: eigene Darstellung Fraunhofer IEE

3.2.2 Entwicklung des Energiesystems Spree-Neiße

Modellergebnisse Fraunhofer IEE

Die [Abbildung 10](#) zeigt, dass im Landkreis Spree-Neiße sowohl bereits im Jahr 2030 als auch im Szenario-Zieljahr 2045 **innerhalb eines Jahres in der Region mehr Strom erzeugt als verbraucht wird**. 2030 sind es etwa 11 % Stromüberschüsse, in 2045 steigen die Überschüsse sogar auf 39 % an. Der Landkreis Spree-Neiße ist in diesem Szenario Netto-Exporteur für andere Landkreise.

Die **Stromerzeugung basiert auf einem ausgewogenen Technologiemix** von Onshore-Windenergieanlagen, Freiflächen- und Dachanlagen-PV. Onshore-Windenergieanlagen sorgen im Szenario-Jahr 2030 für etwa 0,6 TWh und im Jahr 2045 für etwa 1,1 TWh Stromerzeugung. PV-Freiflächen und Dachanlagen erzeugen 2030 zusammen etwa 0,7 TWh, in 2045 etwa 1,3 TWh Strom. Davon übernehmen PV-Dachanlagen 2030 einen Anteil von etwa 35 % und 2045 von etwa 42 %. Die **erzeugte Strommenge aus PV-Dachanlagen und auch die installierte Leistung ist 2045 bevölkerungsgewichtet mehr als doppelt so hoch wie im bundesweiten Durchschnitt**. Der ländliche Raum, so auch Spree-Neiße, zeichnet sich in der Gebäudestruktur durch einen hohen Anteil an Ein- und Zweifamilienhäusern aus. Dadurch ist das Verhältnis der Dachfläche pro Person größer als im deutschlandweiten

Mittel, mit einem höheren Anteil an Mehrfamilienhäusern. Auch Freiflächen-PV-Anlagen sind überdurchschnittlich viele installiert. **Bevölkerungsgewichtet** (mit aktuellen Bevölkerungszahlen) **liegen die PV-Freiflächenproduktion an Strom und die installierten Leistungen mehr als dreieinhalb Mal so hoch wie im deutschen Mittel.** Hier bietet die ländliche Region von Spree-Neiße besonders viel Potenzial.

Aufgrund der höheren Volllaststunden von Windenergieanlagen ist die installierte Anlagenleistung von Windenergieanlagen, trotz der etwas geringeren Stromerzeugung, gegenüber der installierten PV-Leistung deutlich geringer. Windenergieanlagen erreichen im Fraunhofer-Szenario eine installierte Leistung von 338 MW im Jahr 2045, PV-Freiflächen und PV-Dachanlagen kommen zusammen auf eine Leistung von 1.341 MW. Im Szenario-Jahr 2030 sind Windenergieanlagen mit einer Leistung von 210 MW installiert, PV-Dachanlagen und Freiflächenanlagen erreichen 2030 eine installierte Leistung von 732 MW.

Müll-HKW und Klärgas bilden in 2030 eine stabile Stütze bei der Stromerzeugung. Allerdings geht die Erzeugung und noch mehr ihr Anteil an der gesamten Stromerzeugung in der Region bis **2045 gegenüber 2030 deutlich zurück – von 23 % auf 6 %.**

KWK-Anlagen spielen im Landkreis Spree-Neiße kaum eine Rolle. Sowohl ihre installierte Leistung von 20 MW in 2030 und 17 MW in 2045 als auch die Anzahl an Volllaststunden und die daraus erzeugte Menge an Strom (2030: 15 GWh, 2045: 12 GWh) verdeutlichen dies. Ländliche Regionen eignen sich aufgrund ihrer allgemein niedrigen Wärmebedarfsdichten nur sehr begrenzt für die wirtschaftliche Installation von Wärmenetzen und haben daher auch keinen oder nur einen sehr geringen Bedarf an KWK-Anlagen. Dies gilt auch für den Einsatz von Großwärmepumpen, die dann vermehrt als Quartierslösung eingesetzt werden, nicht aber in großen Mengen für Wärmenetze benötigt werden. Daher liegt auch der **bevölkerungsgewichtete Anteil an GWP deutlich unterhalb des deutschlandweiten Durchschnitts.**

Dezentrale Wärmepumpen, die zur Bereitstellung von Raumwärme eingesetzt werden, haben am Stromverbrauch in Spree-Neiße nur einen **kleinen Anteil von 5 % in 2030 und 9 % in 2045.** Dennoch liegen ihre **installierten Leistungen und Strombedarfe bevölkerungsgewichtet vergleichbar hoch wie im bundesweiten Durchschnitt.** Die restlichen Wärmebedarfe, die nicht über Wärmepumpen oder Wärmenetze gedeckt werden, können in kleinem Maßstab in sehr ländlichen Gegenden weiterhin über mit erneuerbarem Gas betriebene Gaskessel oder dezentrale Pelletkessel und Solarthermie gedeckt werden. Diese Verbräuche sind in der dargestellten Strombilanz jedoch nicht sichtbar.

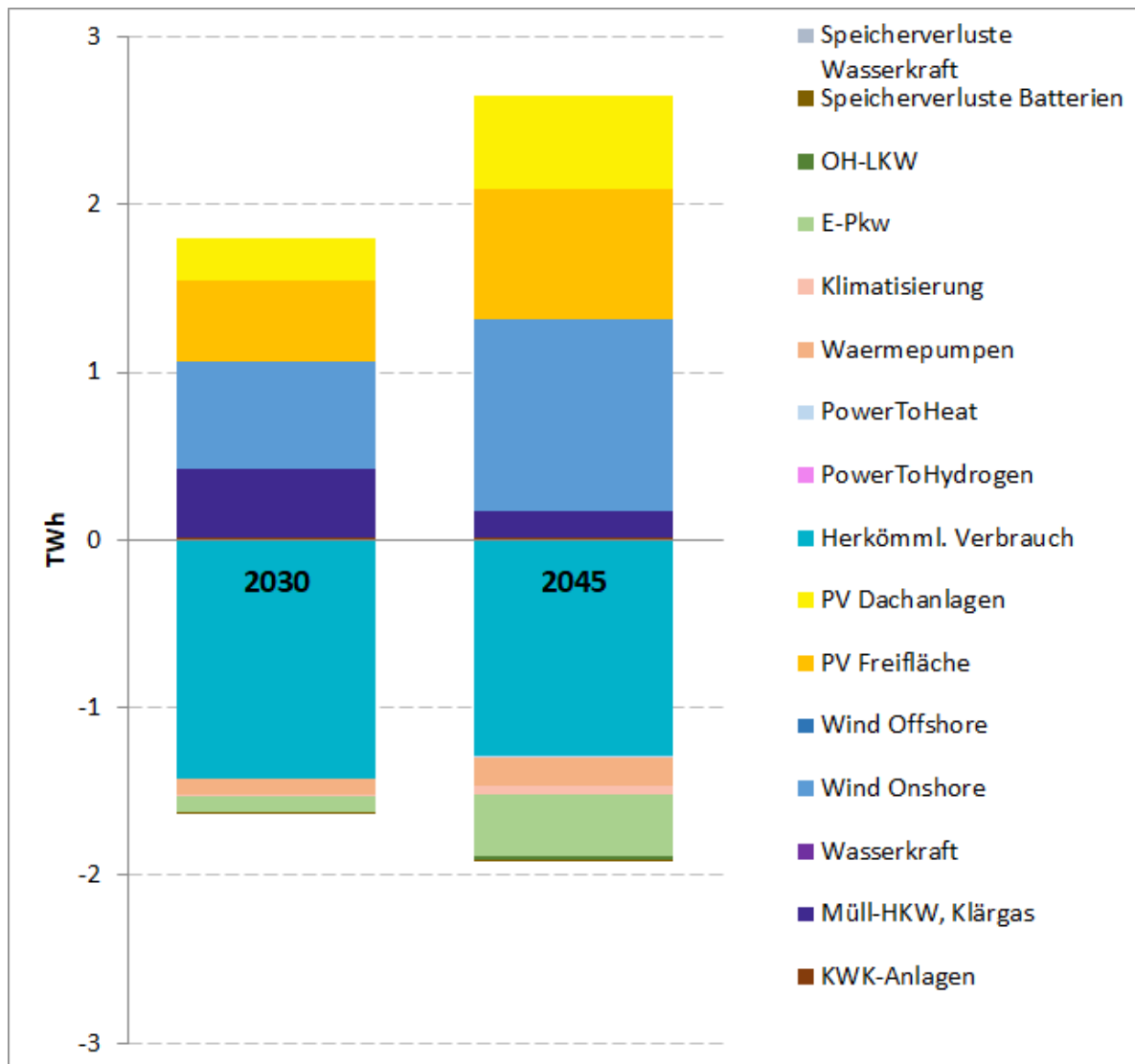


Abbildung 10: Entwicklung der Strombilanz für die Region Spree-Neiße in den Szenariojahren 2030 und 2045. Stromverbrauch (negative Werte) und -erzeugung (positive Werte), aufgeteilt nach den wichtigsten zukünftigen Energieerzeugungstechnologien und Verbrauchergruppen

Quelle: eigene Berechnungen und Darstellung Fraunhofer IEE

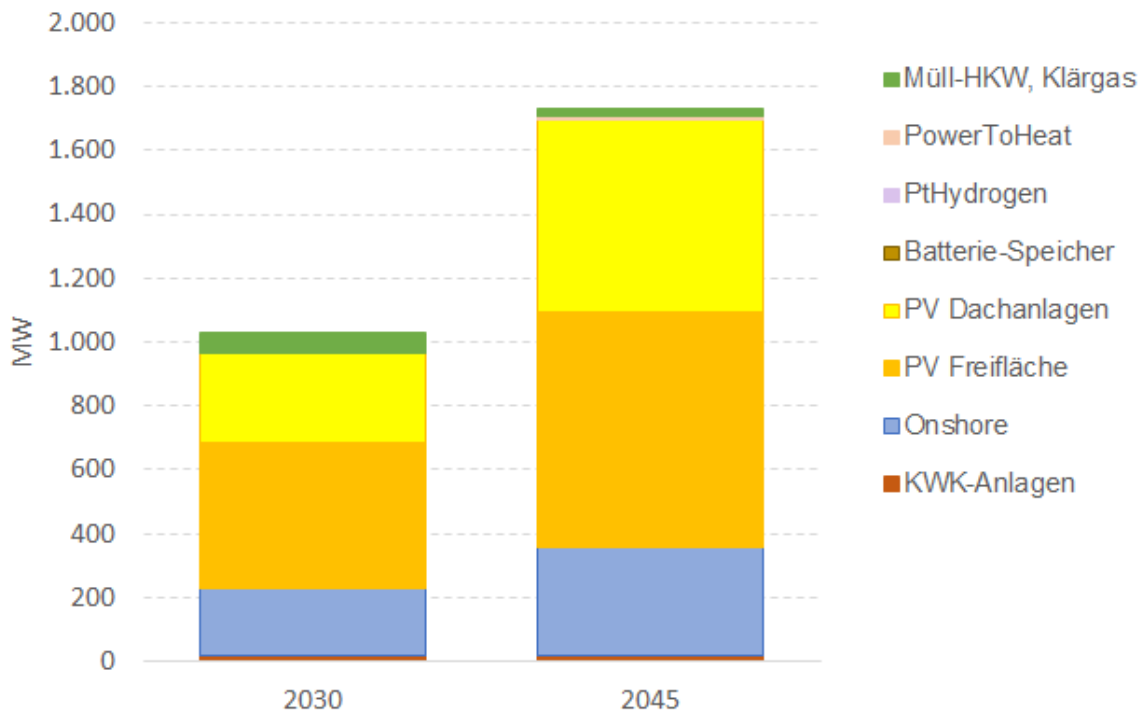


Abbildung 11: Entwicklung der installierten Leistungen der wesentlichen zukünftigen Stromerzeuger in der Region Spree-Neiße in den Jahren 2030 und 2045

Quelle: eigene Berechnungen und Darstellung Fraunhofer IEE

Anders als in Berlin sorgen im Landkreis Spree-Neiße **E-Pkw** laut Szenario für einen **hohen Anteil von knapp 20 % am Stromverbrauch** in 2045. Dafür ist der Anteil von ÖPNV und OH-Lkw deutlich geringer als der entsprechende Anteil am Stromverbrauch in Berlin. In ländlichen Regionen sind die Menschen mehr auf einen eigenen Pkw angewiesen als in urbanen Gebieten mit mehr Alternativen in der Mobilität. Zusätzlich sind auch die Personenkilometer durchschnittlich höher als in urbanen Gebieten. Dies erklärt den hohen Anteil der E-PkW am Stromverbrauch in Spree-Neiße.

Abgleich mit Ergebnissen des Regionalen Energiekonzepts Lausitz-Spreewald

Nicht nur in Berlin wurden Klimaneutralitätsszenarien und Stromverbrauchsanalysen aktualisiert. Auch die Region Lausitz-Spreewald hat die Fortschreibung ihres regionalen Energiekonzepts (Regionale Planungsgemeinschaft Lausitz-Spreewald 2021) veröffentlicht. In Zusammenarbeit der Landkreise Elbe-Elster, Oberspreewald-Lausitz, Spree-Neiße, Dahme-Spreewald und der Stadt Cottbus wurden einerseits Potenzialanalysen für erneuerbare Erzeugungstechnologien erstellt und andererseits aktuelle Ansätze zu klimapolitischen Entwicklungen in zwei Endverbrauchsszenarien (Trend- und Klimaschutzszenario 2050) übersetzt. Obwohl das Regionale Energiekonzept überwiegend Information zur Entwicklung des Stromsystems in der gesamten Region Lausitz-Spreewald bereithält, werden im Folgenden die wesentlichen Aussagen und Kennzahlen beschrieben. Die Zahlen sind daher nicht 1:1 mit denen von Fraunhofer IEE vergleichbar, können aber dennoch beim Vergleich der daraus resultierenden Trends und wahrscheinlichen Technologieprofile helfen. Für die Endverbrauchsinformationen wird das Klimaschutzszenario des regionalen Energiekonzepts zugrunde gelegt.

Laut regionalem Energiekonzept wird sich der **Strombedarf** der Region Lausitz-Spreewald bis zum Jahr 2050 „von knapp 3 Mio. MWh (3 TWh) auf 9,5 Mio. MWh (9,5 TWh) mehr als verdreifachen“ (Regionale Planungsgemeinschaft Lausitz-Spreewald 2021) – insbesondere aufgrund der Sektorkopplungstechnologien E-Mobilität und Geothermie. Dennoch übertreffen die erneuerbaren Stromerzeugungspotenziale der Region diesen Verbrauch um 13 Mio. MWh. Wie auch Fraunhofer IEE kommt das Regionale Energiekonzept daher zu dem Schluss, dass Lausitz-Spreewald und damit ebenso Spree-Neiße auch in Zukunft **Netto-Stromexporteure** sein werden.

Sowohl Fraunhofer IEE als auch das Regionalkonzept sehen große Teile der künftigen Stromversorgung der Region durch Windkraft gedeckt. Das regionale Energiekonzept kommt auf einen künftig möglichen erneuerbaren Stromerzeugungsmix von ca. 55 % **Wind**, 21,5 % **Dach-PV**, 22 % **Freiflächen-PV**, 1,5 % Biogas⁷ und kleine Mengen Wasserkraft. Im Bereich Wind weist das Regionalkonzept auch landkreisspezifische Potenzialschätzungen auf und kommt für Spree-Neiße auf ein theoretisches Wind-Onshore Potenzial von 1,9 TWh und zusätzliche Windausbaupotenziale auf ehemaligen Tagebauflächen. Im Fraunhofer IEE liegt die systemkostenoptimierte Erzeugung bei 1,1 TWh. Dieses Ausbauergebnis liegt innerhalb im Modell definierter maximaler Windpotenziale, diese müssen jedoch in einem systemkostenoptimierten Modellergebnis nicht ausgereizt werden.

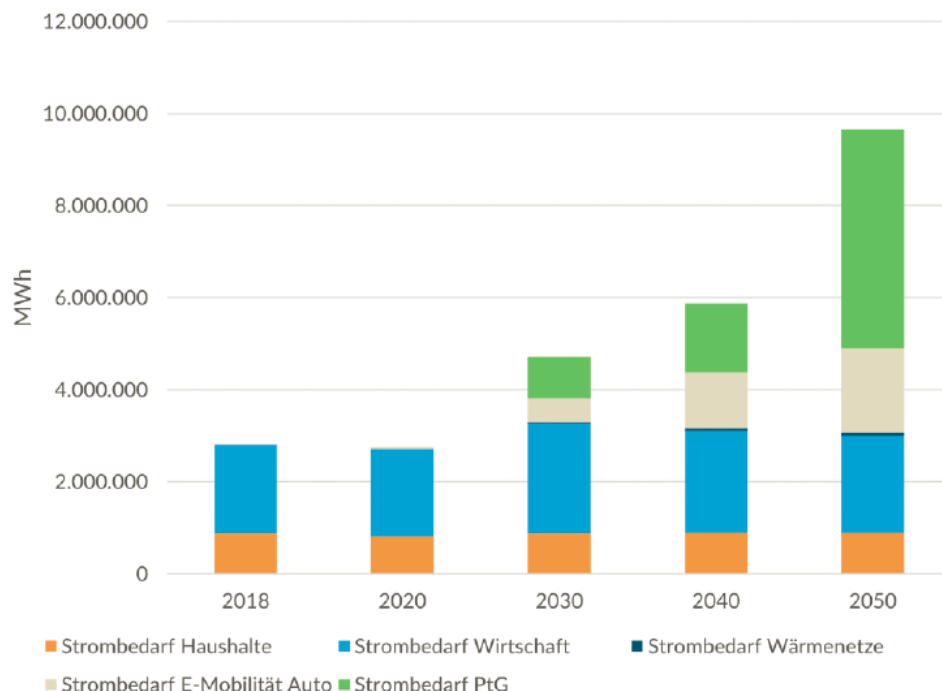


Abbildung 12: Entwicklung des Endenergiebedarfes Strom im Klimaschutzszenario

Quelle: Fortschreibung Energiekonzept Lausitz-Spreewald 2021

⁷ Potenziale jedoch bereits weitgehend ausgeschöpft.

Das Klimaschutzszenario des Regionalkonzepts hat für 2050 einen Endenergieverbrauch des Verkehrssektors von 2.111.890 MWh (2,11189 TWh) ermittelt, wovon 69 % mittels Strom bereitgestellt werden.⁸ Der Anteil der **E-Pkw**, **E-Lkw** aber auch **E-Busse** steigt damit deutlich. Ähnlich wie im Fraunhofer-IEE-Szenario, welches E-PkW in 2045 allein 20 % des Strombedarfs in der Region Spree-Neiße zuschreibt, sieht auch das Regionalkonzept E-Mobilität als eine der künftigen zentralen Stromverbraucherinnen an (siehe [Abbildung 12](#)). Darüber hinaus zeigt die „Entwicklung der Fahrleistungen im Klimaschutzszenario [...] eine Abnahme der Fahrleistungen im MIV⁹ und eine leichte Abnahme bei den Lkw und leichten Nutzfahrzeugen sowie eine Zunahme der Fahrleistung bei den Bussen bis 2050“ (Regionale Planungsgemeinschaft Lausitz-Spreewald 2021, S. 115).

Auch für den Wärmebereich attestiert das Regionale Energiekonzept eine steigende Nutzung von Strom. So werde insbesondere die Anwendung von **Wärmepumpen** zunehmen (in [Abbildung 12](#) in den Strombedarfen für Haushalte und Wirtschaft enthalten), aber auch zunehmend Power-to-Gas zur Bereitstellung von Prozesswärme nötig. Im Vergleich zu Fraunhofer IEE, in dem die Power-to-Hydrogen-Erzeugung im Norden nahe der Windparks mit den höchsten Volllaststunden und in diesem Fall nicht in Spree-Neiße liegt, kommt das Regionale Energiekonzept insbesondere bei **Power-to-Gas** auf sehr hohe Strombedarfe der Region (siehe [Abbildung 12](#)). Während die nötigen Fernwärmemengen aufgrund von Sanierung abnehmen, wird im Nahwärmebereich im Regionalkonzept von einem geringen Ausbau ausgegangen. Darüber hinaus wird der Region großes theoretisches Geothermipotenzial attestiert.

Tabelle 3: potenzielle Technologieprofile Strom 2045 und 2050 Spree-Neiße/Lausitz-Spreewald – Ergebnisse Fraunhofer IEE und Regionales Energiekonzept im Vergleich

Technologieprofile Spree-Neiße	Reg.EK Lausitz-Spreewald 2050	IEE Spree-Neiße 2045
<u>eigene Stromerzeugung</u>	22,5 TWh	2,7 TWh
PV Freiflächen	5 TWh (inklusive Floating- und Agro-PV)	0,8 TWh 736 MW
PV Dachflächen	4,8 TWh	0,6 TWh 605 MW
Wind-Onshore	12,3 TWh; davon 1.928 GWh in Spree-Neiße (exklusive Nachnutzung Tagebaue)	1,1 TWh 338 MW
Wind-Offshore	---	---

⁸ Allerdings übertrifft die Anzahl der Fahrleistung der E-Fahrzeuge die der Verbrenner im Klimaschutzszenario des Regionalkonzepts erst nach 2040. Darüber hinaus verbleibt auch in 2050 Benzin, während Diesel vollständig ersetzt wird (Regionale Planungsgemeinschaft Lausitz-Spreewald)

⁹ Motorisierter Individualverkehr

Wasserkraft	5.300 MWh	---
Biogas (landw. Abfälle, Bioabfälle, landschaftl. Pflegeabfälle)	321.342 MWh	---
Müll-HKW / Klärgas	35,7 GWh Klärgas; 6,8 GWh Klärgas in Spree-Neiße	163,8 GWh 27 MW
KWK-Anlagen	--- (P2G wird v.a. für Prozesswärme eingesetzt)	12,1 GWh 17 MW
Stromimport	-13 TWh	- 0,74 TWh
<u>Stromverbrauch</u>	9,5 TWh	1,9 TWh
Herkömmliche Stromverbraucher	Ca. 3 Mio. MWh Haushalt, Wirtschaft (inkl. Strombedarfe für die Nutzung von Umweltwärme für die Raumheizung)	1,3 TWh
E-PKW	Ca. 1,5 Mio. MWh Verkehr	361,4 GWh
OL-LKW		23,4 GWh
Wärmepumpen	im allgemeinen Strombedarf für Haushalt & Wirtschafte enthalten	166,7 GWh
Power-to-Heat	als Heizstrom im allgemeinen Strombedarf für Haushalt & Wärme enthalten + Input in Nah- und Fernwärmenetz	9,8 GWh 8,6 MW
Power-to-Wasserstoff	Ca. >4 Mio. MWh (prognostizierte Gesamtmengen liegen unter den zur Verfügung stehenden Überschussstrommengen)	---
Kältetechnologien (Klimaanlagen, Kühlräume etc.)	In Strombedarf der Haushalte enthalten	54 GWh
Batteriespeicher	---	4,9 GWh Wandlungsverlust
<u>Kraftwerksleistung</u>	---	1,7 GW

Quelle: eigene Darstellung Fraunhofer IEE

3.2.3 Künftige Energiesysteme von Berlin und Spree-Neiße im Vergleich

Stellt man die beiden Regionen Berlin und Spree-Neiße direkt gegenüber, werden grundsätzliche Unterschiede in ihren energiespezifischen Charakteristika hinsichtlich Stromerzeugung und -verbrauch deutlich. Die urbane Region Berlin hat im vorliegenden Fraunhofer-Szenario einen deutlich höheren Stromverbrauch trotz ihrer flächenmäßig kleineren Größe – gegenüber der ländlichen Region Spree-Neiße. Dies wird im Jahr 2045 noch ausgeprägter. In Berlin steigt nach Fraunhofer IEE der Stromverbrauch von 14,3 TWh (Jahr 2030) auf 23,3 TWh (Jahr 2045) an, gegenüber einem relativ konstant niedrigen Verbrauch in der Spree-Neiße Region von 1,6 TWh bzw. 1,9 TWh (im Jahr 2030 bzw. 2045). Flächenmäßig ist Spree-Neiße zwar die größere Region, jedoch ist die

Einwohner:innenzahl in Berlin mit 3,8 Mio Einwohner:innen fast 40 Mal so hoch wie in Spree-Neiße mit 0,1 Mio Einwohner:innen. Schaut man sich die Anzahl an Einwohner:innen pro Fläche an, liegt Berlin mit einer Einwohner:innendichte von 4.118 Personen pro km² deutlich über der Einwohner:innendichte von Spree-Neiße mit 70 Personen pro km². Dies erklärt auch die großen Unterschiede in der absoluten Stromnachfrage, die pro Person betrachtet in Spree-Neiße sogar höher als in Berlin liegt.

Auch bei genauerer Betrachtung der Verbrauchsstruktur zeigen sich grundsätzliche Unterschiede. Während in Berlin der Strombedarf für den Einsatz von Wärmepumpen pro Person überdurchschnittlich hoch ist, sowohl für den Einsatz von Groß-Wärmepumpen als auch für den Einsatz dezentraler Wärmepumpen, ist in Spree-Neiße ein durchschnittlich hoher Einsatz pro Person von dezentralen Wärmepumpen, die für die Versorgung von Raumwärme und Warmwasser verantwortlich sind, beobachtbar. Für Groß-Wärmepumpen ist das Potenzial begrenzt. Sie werden vorwiegend in Wärmenetzen für Raumwärme und Prozesswärme in der Industrie bis 100°C eingesetzt, deren Betrieb in wenig dicht besiedelten Gebieten und einer daraus resultierenden kleinen Wärmenachfragedichte häufig nicht wirtschaftlich ist. Im Verkehr ist die Nachfrage an Strom pro Person für E-Pkw in Spree-Neiße wiederum deutlich höher als in Berlin. Berlin bietet, wie typisch für Großstädte, mehr Mobilitätsoptionen, bspw. über den ÖPNV. Hinzu kommt, dass die Personenkilometer auf dem Land durchschnittlich größer sind als für Personen in Städten, da meist längere Wege zur Arbeit, zum Einkaufen etc. zurückgelegt werden müssen.

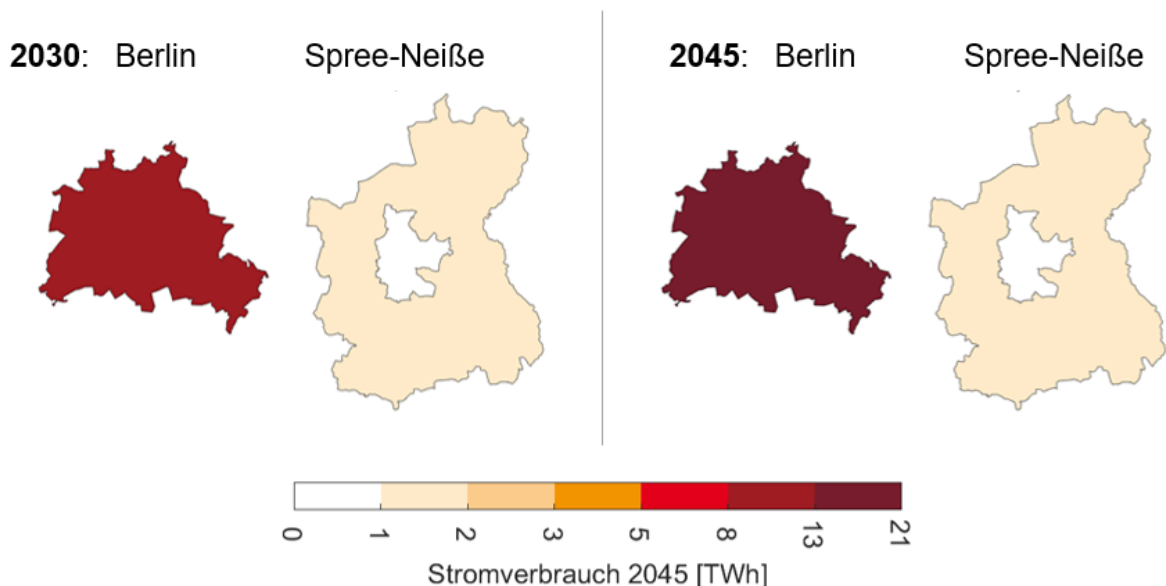


Abbildung 13: Vergleich des Stromverbrauchs in Berlin und Spree-Neiße in den Jahren 2030 (links) und 2045 (rechts)

Quelle: eigene Berechnungen und Darstellung Fraunhofer IEE

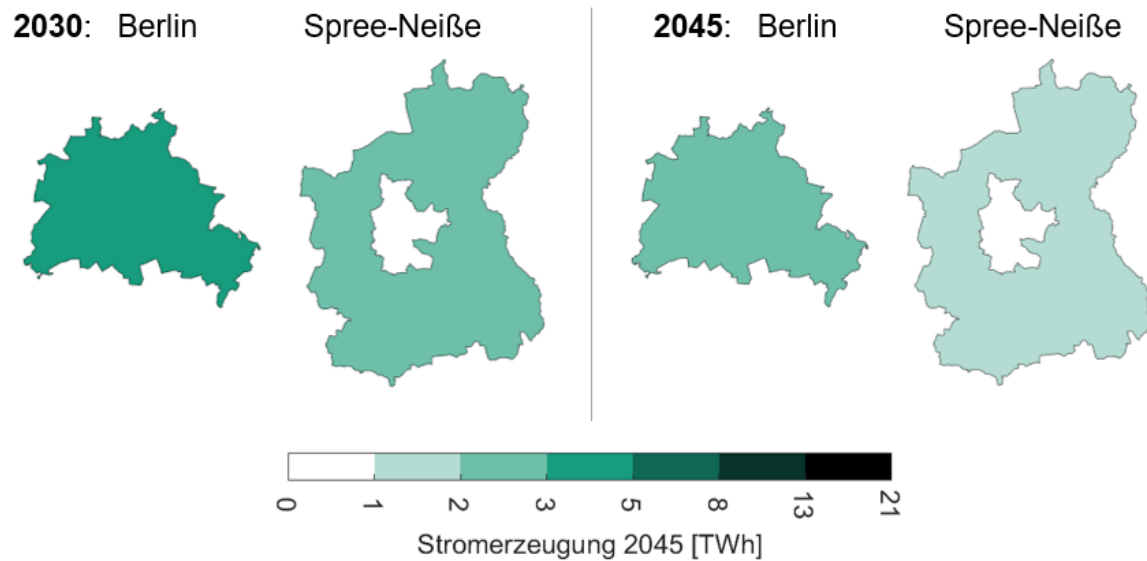


Abbildung 14: Vergleich der Stromerzeugung in Berlin und Spree-Neiße in den Jahren 2030 (links) und 2045 (rechts)

Quelle: eigene Berechnungen und Darstellung Fraunhofer IEE

Mit Blick auf die Stromerzeugung in den Fraunhofer-Szenarien wird deutlich, dass in Berlin trotz der begrenzten Freiflächenverfügbarkeit (aufgrund seiner kleineren Fläche und höheren Siedlungsdichte) insgesamt mehr Strom erzeugt wird als in der Region Spree-Neiße. Die Stromerzeugung **in Berlin** wird 2030 **hauptsächlich** durch **PV-Dachanlagen** und **KWK-Anlagen** und in geringerem Maße durch Müll-HKW getragen. In 2045 verantworten PV-Dachanlagen mit 54 % und KWK-Anlagen mit 40 % zusammengerechnet 94 % der Stromerzeugung. Im Landkreis **Spree-Neiße** stehen weniger Dachflächen aufgrund der geringeren Einwohner:innenzahl zur Gewinnung von PV-Strom zur Verfügung. Die **Stromerzeugung verteilt sich** hauptsächlich auf Onshore-Windenergieanlagen, PV-Freiflächen und -Dachanlagen. Die Flächenverfügbarkeit ermöglicht einen ausgewogenen Mix an unterschiedlichen Erzeugungstechnologien. Bis 2045 liefern **Windenergieanlagen mit 43 % den größten Beitrag** an der Stromerzeugung, PV-Dachanlagen liefern 21 % und PV-Freiflächenanlagen 29 %. KWK-Anlagen werden anders als in Berlin kaum ausgebaut: Ländliche Gebiete eignen sich aufgrund der nachfrageseitig geringen Wärmedichte von weitläufig verteilt liegenden Gebäuden nur sehr bedingt für den Ausbau von Wärmenetzen.

Zwar ist die Stromerzeugung absolut betrachtet in Berlin größer als in Spree-Neiße, sie ist dennoch sowohl relativ zum Stromverbrauch der jeweiligen Region als auch relativ bezogen auf die jeweilige Einwohnerzahl in Spree-Neiße deutlich größer als in Berlin. In Summe wird in der Spree-Neiße-Region mehr Strom innerhalb eines Jahres erzeugt, als im gleichen Zeitraum verbraucht wird. **Spree-Neiße** ist damit **Netto-Exporteur** von Strom in angrenzende Landkreise, wohingegen in Berlin deutlich weniger Strom innerhalb eines Jahres erzeugt als verbraucht wird. Demnach ist **Berlin** trotz einer

absolut betrachtet höheren Stromerzeugung **Netto-Stromimporteur** aus umliegenden Landkreisen.

4. Qualifikationsprofile und Zukunftsbranchen

Wie in den vorangehenden Abschnitten im Detail dargelegt, müssen die Energiesysteme Berlins sowie in Spree-Neiße wesentlich umgebaut werden, um einen Beitrag zum deutschlandweiten Klimaneutralitäts-Pfad zu leisten. Die technischen Lösungen für Berlin und Spree-Neiße in 2030 und 2045 sehen dabei im Detail unterschiedlich aus, kommen jedoch jeweils auf ihre Art und Weise auf Netto-Null in 2045. Welche Auswirkungen hat dies jedoch auf den im Grundgesetz verankerten Anspruch, gleichwertige Lebensverhältnisse im Bundesgebiet herzustellen (vgl. Art. 72 Abs. 2 GG). In der folgenden Analyse soll der Schwerpunkt der Betrachtung auf die Niederlausitz gelegt werden, da hier die potenziellen Auswirkungen der Energiewende durch die enge wirtschaftliche Verflechtung mit der Braunkohle (vgl. ESRa Produkt 3.1) als tiefgreifender erachtet werden.

Um die Zukunftsperspektiven für Spree-Neiße abzuschätzen, ist es unerlässlich, den Landkreis im Kontext der Entwicklung der Region Niederlausitz zu betrachten. Die Lausitz als Ganze ist eine unscharf definierte Region, die sich über Teile Polens, Brandenburgs und Sachsens erstreckt; die Niederlausitz entspricht dem brandenburgischen Teil der Lausitz. Die Bevölkerung der Niederlausitz betrug 1995 rund 720.000 Personen, bis 2020 war sie auf rund 590.000 zurückgegangen – eine Reduktion von beinahe einem Fünftel (17,5 %). Nur der Landkreis Dahme-Spreewald verzeichnete aufgrund seiner Nähe zu Berlin ein Bevölkerungswachstum. In Spree-Neiße nahm die Bevölkerung im gleichen Zeitraum von rund 150.000 auf rund 110.000 ab – eine Reduktion von über einem Viertel (26,7 %) (Landkreis Spree-Neiße, 2020). Die Anzahl der sozialversicherungspflichtigen Angestellten in Spree-Neiße sank von rund 54.000 im Jahr 1996 auf rund 39.000 im Jahr 2020, also um mehr als ein Viertel (28 %) (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, 2022). Im Hinblick auf die kommenden Jahrzehnte geht es nun nicht einfach darum, die Arbeitsplätze, die durch den Kohleausstieg wegfallen werden, zu ersetzen, sondern in Spree-Neiße und der Niederlausitz insgesamt Lebensverhältnisse zu schaffen, die den langfristigen Verlust an Arbeitsplätzen und Bevölkerung umkehren und neue Zuwander:innen anziehen. Ein wesentlicher Faktor für den Bevölkerungs- und, damit verbunden, den Beschäftigungsrückgang war der durch die Wende ausgelöste Zusammenbruch der Braunkohleförderung im Lausitzer Revier: von knapp 80.000 im Jahr 1989 fiel die Zahl der Beschäftigten innerhalb eines Jahrzehnts auf weniger als 10.000 (Deutsches Biomasseforschungszentrum, 2020).

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage nach dem wirtschaftlichen Potenzial der Erneuerbaren Energiebranche für Spree-Neiße und die Niederlausitz insgesamt, sowie nach den beruflichen Fähigkeiten, mit denen die Region den Kohleausstieg verkraften und auch nutzen kann.

4.1 Jobpotenzial Erneuerbare Energien in der Niederlausitz

Schätzungen der Arbeitsplätze im Bereich Wind- und Sonnenergie im Land Brandenburg in 2030 liegen bei rund 1.900 (Wind) und 400 (Photovoltaik) Vollzeitäquivalenten (VZE), insgesamt rund 2.300 VZE (IÖW, 2017). Die Niederlausitz weist rund 25 % der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten Brandenburgs auf, Spree-Neiße gerade einmal 5 % (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, 2022). Angesichts dieser Größenordnungen ist schwer vorstellbar, wie in der Niederlausitz die **Erzeugung von Wind- und Solarenergie** viel mehr als einige Hundert Arbeitsplätze mit sich bringen könnte. In Spree-Neiße dürfte die Zahl noch deutlich niedriger liegen. Die Dringlichkeit des Ausbaus der Erneuerbaren Energien wird dadurch in keiner Weise in Frage gestellt. Inwiefern die Niederlaustizer:innen den vorgezogenen Kohleausstieg weiter mittragen oder gar unterstützen, dürfte allerdings u.a. davon abhängen, ob diese oder auch andere Zukunftstechnologien namhafte Beschäftigungszuwächse mit sich bringen (siehe ESRa Produkte AP 1, 2022).

Ein neues Element verglichen mit früheren Überlegungen im Bereich der Erneuerbaren Energien stellt die **Produktion von grünem Wasserstoff** durch die Elektrolyse von Wasser mithilfe von in der Region erneuerbar gewonnener Elektrizität dar. Eine Studie im Auftrag der Wirtschaftsregion Lausitz GmbH zur Wasserstoffstrategie Brandenburgs betont positive Arbeitsplatzeffekte und schätzt eine Anzahl von rund 12.000 neuen Arbeitsplätzen bis 2030 und rund 16.000 bis 2050 (gegenüber 24.000 aktuell von der Braunkohle abhängigen Arbeitsplätzen) (Zukunftswerkstatt Lausitz, 2020). Die entsprechenden Zahlen beruhen auf der Annahme, dass in der Lausitz ein Anteil von 40 % des nationalen Bedarfs an Elektrolyseuren, ein Anteil von 20 % am nationalen Bedarf an Brennstoffzellen und weiteren Komponenten sowie ein nicht näher spezifizierter Anteil am globalen Markt gedeckt werden. Eine weitere Abschätzung ist durch Vergleich mit einer ähnlichen Studie im Auftrag des Landes Baden-Württemberg möglich. Danach könnten in Baden-Württemberg in der Wasserstoffherstellung etwa 350 Arbeitsplätze entstehen, zusammen mit Equipment und Zulieferern 16.500 (Weichenhain et al., 2020 S. 114). Im industriell zweifellos weniger starken Brandenburg mit rund 2,5 Millionen Einwohner:innen dürfte dann die Obergrenze eher bei 3.000 Arbeitsplätzen liegen. Es geht hier um erste grobe Abschätzungen der Größenordnungen, nicht um eine exakte Zahl. Weitere Forschung dazu wäre sinnvoll. Auch hier spricht nichts gegen Initiativen im Bereich Wasserstoffwirtschaft, es sollten jedoch an dieser Stelle keine übersteigerten Erwartungen geweckt werden, die dann wieder enttäuscht werden.

Brandenburg, die Niederlausitz und Spree-Neiße werden in der Erzeugung Erneuerbarer Energien deutschlandweit eine wichtige Rolle spielen. Damit diese Region nicht erneut einen Wirtschaftsschock erleidet, braucht es eine breiter gefächerte Strategie für den Übergang der Region zu einer nachhaltigen und resilienten Wirtschaftsstruktur, die breiter diversifiziert und nicht rein auf die Erzeugung Erneuerbarer Energien beschränkt ist. Dies gilt selbst dann, wenn es gelingt, in der Region eine breite Zulieferstruktur für die neue Energiewirtschaft aufzubauen.

4.2 Weiterbildung für eine nachhaltige Regionalentwicklung der Niederlausitz

In der Niederlausitz sind zurzeit um die 200.000 Arbeitnehmer:innen sozialversicherungspflichtig angestellt (Spree-Neiße (36.000), Cottbus (46.600), Elbe Elster (32.000), Dahme Spreewald (61.000), Oberspreewald Lausitz (40.000)) (IAB, 2018). Die Arbeitslosenzahlen sind im Zeitraum von 2007 bis 2017 in der Region um die Hälfte zurückgegangen und auch die Arbeitslosenquote sank von im Schnitt 16 % auf 8 %. Jedoch ist im Zeitraum von 1995 bis 2015 die Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter um etwa 25 % geschrumpft. Ausgenommen von dieser Entwicklung war nur Cottbus mit einer Steigerung von etwa 5 %. Ohne effektive und strategisch kluge Maßnahmen, die weit über die bisher geplanten hinausgehen, ist für die Zukunft in Spree-Neiße sowie in der Niederlausitz mit einem dem Trend folgenden weiteren Rückgang der Bevölkerung und der Arbeitsplätze zu rechnen, was mit erheblichen sozialen und politischen Verwerfungen einhergehen dürfte.

Das aktuelle Qualifikationsprofil in der Niederlausitz lässt sich durch die Struktur der Arbeitskräfte nach Wirtschaftszweigen charakterisieren (siehe [Abbildung 15](#)). Dabei fallen überdurchschnittlich stark vertretene Wirtschaftszweige in einigen Landkreisen ins Auge: Spree-Neiße mit 36 % der Beschäftigten im produzierenden und verarbeitenden Gewerbe (Deutschland: 23 %), Cottbus mit 36 % in der öffentlichen Verwaltung (Deutschland: 23 %) sowie Dahme-Spreewald mit 35 % in Handel, Gastgewerbe und Verkehr (Deutschland: 22 %).

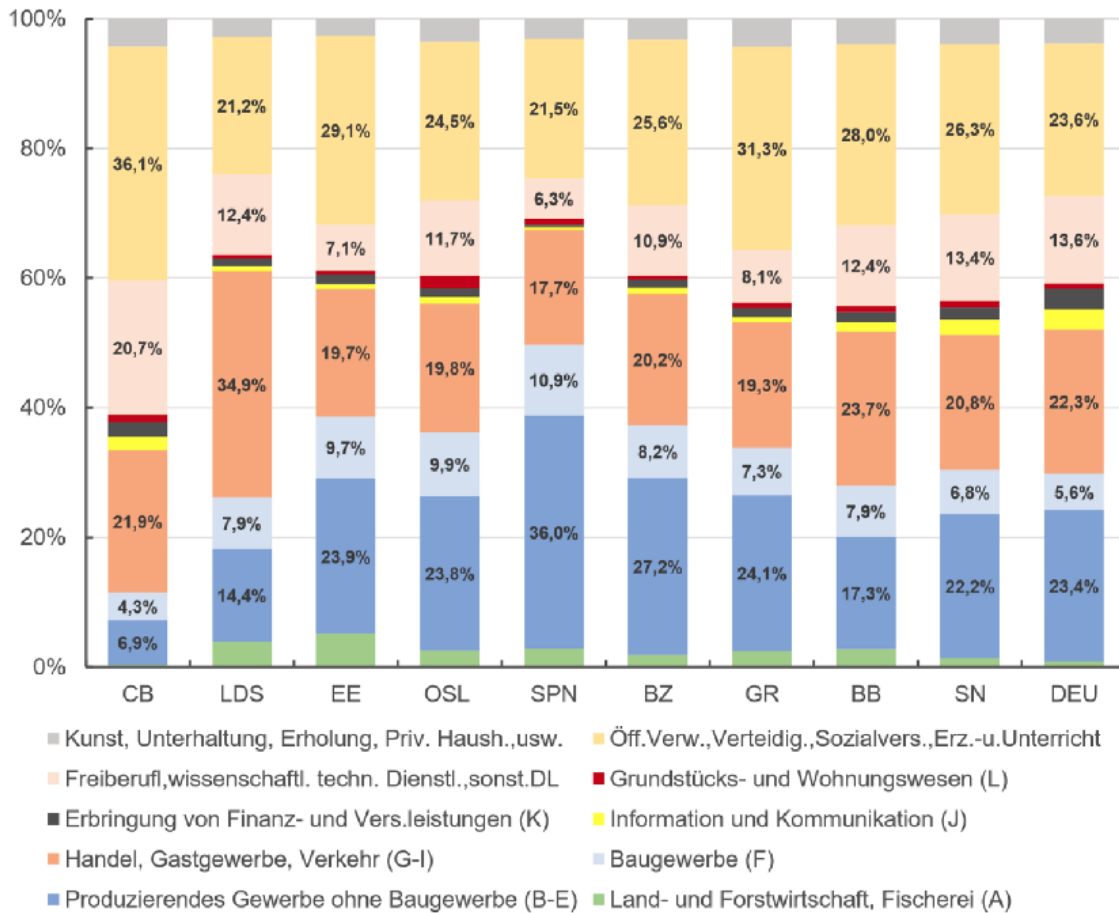


Abbildung 15: Anteile SV-Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen

Quelle: Zukunftswerkstatt Lausitz 2019, S.111

Ein Blick auf die sozialräumliche Verteilung verschiedener Berufsgruppen erlaubt darüber hinaus eine Abschätzung der **regionalen Spezialisierungen**. Die Abbildungen [16](#), [17](#), [18](#) stellen ausgewählte Berufsgruppen gemäß der Klassifikation der Bundesagentur für Arbeit dar. Die Daten und Visualisierungen beruhen auf Auswertungen, die Shade Shutters von der Arizona State University im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts mithilfe des MetroInsight-Modells in Zusammenarbeit mit dem Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) und dem Global Climate Forum (GCF) durchgeführt hat. Je dunkler der Farbton in den Karten, desto höher ist der Anteil der entsprechenden Berufsgruppe an den Beschäftigten in der jeweiligen Region im Vergleich zum nationalen Durchschnitt. Die genauen Werte der entsprechenden Maßzahlen sind in [Tabelle 4](#) ersichtlich.

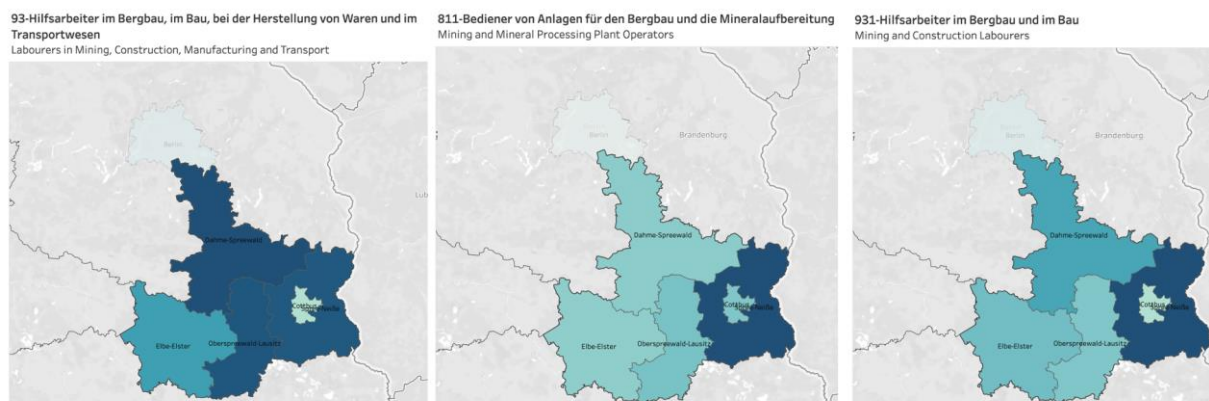


Abbildung 16: Regionale Spezialisierung Bergbau

Quelle: eigene Darstellung GCF

Generell zeigt sich in der Niederlausitz eine regionale Spezialisierung der Arbeitskräfte, zum einen auf den **Bergbau** und damit direkt verbundenen Industrien, zum anderen auf den Bereich der **Metallarbeits, Mechanik und Maschinen**. In Cottbus lässt sich darüber hinaus ein deutlicher regionaler Vorteil im **Gesundheitsbereich** gegenüber dem nationalen Durchschnitt erkennen (siehe [Abbildung 18](#) sowie [Tabelle 4](#)).

Die Veränderungen durch die Energiewende und den damit einhergehenden Wegfall der Arbeitsplätze im Bereich Bergbau stellen für die Region offensichtlich eine ernste Herausforderung dar. Die Frage ist zum einen, wie bestehende Qualifikationen betroffener Arbeiter:innen genutzt bzw. zum anderen eine zielgerichtete Weiterbildung für die Menschen in der Region ausgestaltet werden kann.

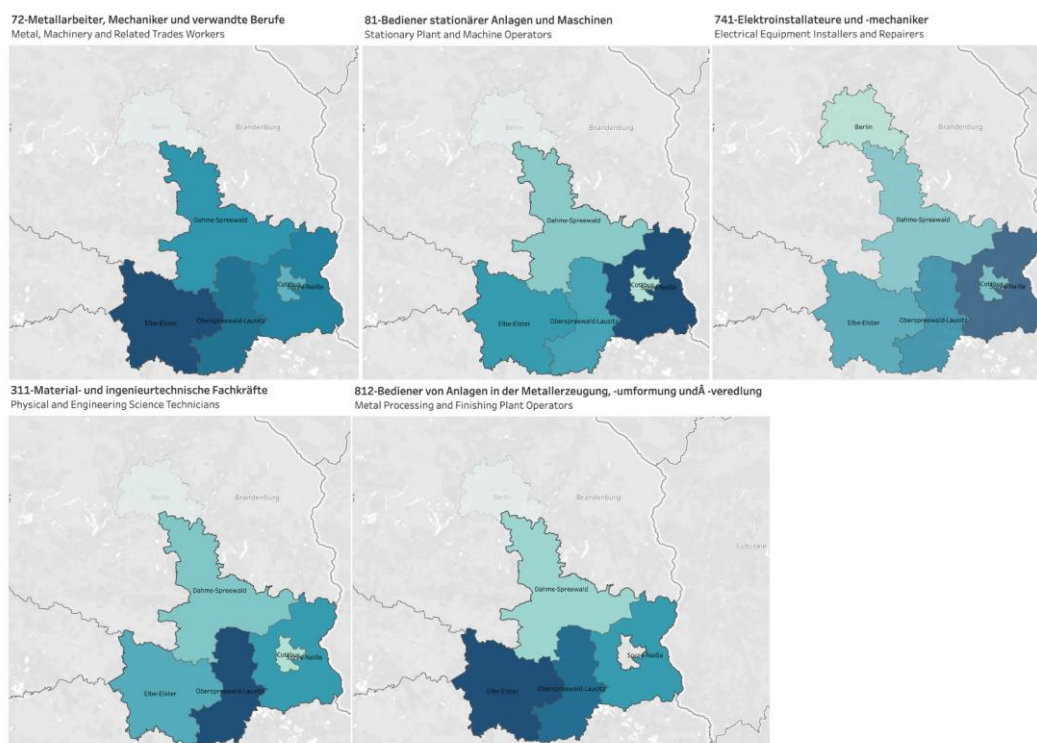


Abbildung 17: Regionale Spezialisierung Metallarbeit, Mechanik und Maschinen

Quelle: eigene Darstellung GCF, Shade Shuttters

Durch die ähnlichen Qualifikationsprofile von Bergbau im Vergleich zu Metallarbeit, Maschinen und Mechanik besteht **kurzfristig** ein Potenzial für **Arbeitsplatzwechsel von Beschäftigten aus dem Bergbau hin zu Metallarbeit, Maschinen und Mechanik** (Gallie, D., 1996). Das kann jedoch nur gelingen, wenn die öffentliche Hand sicherstellt, dass es ein entsprechendes Angebot von Umschulungsmöglichkeiten gibt, und wenn die Nachfrage nach entsprechenden Arbeitskräften in diesem Sektor ausgebaut wird.

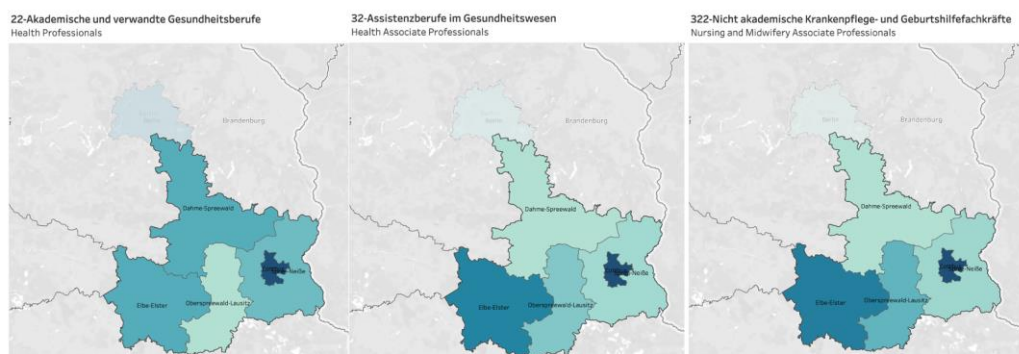


Abbildung 18: Regionale Spezialisierung Gesundheit

Quelle: eigene Darstellung GCF, Shade Shuttters

Mittelfristig lohnt sich ein Blick auf **Wachstumsbranchen wie Tourismus und Gastgewerbe, Digitalisierung, Gesundheit sowie auf kaufmännische Berufe**. Denkbar sind hier für manuelle Arbeiter:innen ausführende logistische Tätigkeiten wie Gabelstaplerfahren, Krankentransporte, Transport von medizinischem Equipment. Je nach Vorerfahrung und persönlichem Interesse erscheint eine Umschulung allerdings nicht für alle Bereiche gleich sinnvoll. Beschäftigte in Verwaltungstätigkeiten verfügen potenziell bereits über Fähigkeiten, um durch kurzfristige Einarbeitungsprozesse eine der offenen Stellen in der Region zu besetzen und im Tourismus oder Gesundheitswesen eine Anstellung zu finden. Allerdings gilt es hierbei, potenzielle Personalkonkurrenzen mit ebenso dringend benötigten Fachkräften in den Kommunalverwaltungen im Blick zu behalten und auszugleichen.

Tabelle 4: Beschäftigungsquotienten ausgewählter Gruppen (Die Quotienten geben an, wie viel Mal größer bzw. kleiner der Anteil einer Gruppe in der jeweiligen Region im Vergleich zum gesamtdeutschen Durchschnitt ist, und sind somit eine Maßzahl für die regionale strukturelle Bedeutung dieser Berufsgruppe im Arbeitsmarkt)

Beschäftigungsgruppe	Spree-Neiße	Cottbus	Oberspreewald Lausitz	Elbe Elster	Dahme Spreewald
93-Hilfsarbeiter im Bergbau, im Bau, bei der Herstellung von Waren und im Transportwesen	1,06	0,47	1,08	0,76	1,11
811-Bediener von Anlagen für den Bergbau und die Mineralaufbereitung	16,31	3,21	3,75	2,24	2,52

931-Hilfsarbeiter im Bergbau und im Bau	2,26	0,74	1,01	1,2	1,54
72-Metallarbeiter, Mechaniker und verwandte Berufe	0,97	0,68	1,07	1,31	0,85
81-Bediener stationärer Anlagen und Maschinen	2,49	0,26	1,22	1,33	0,61
741-Elektroinstallateure und -mechaniker	2,02	1,05	1,50	1,26	0,94
311-Material- und ingenieurtechnische Fachkräfte	1	0,61	1,43	0,91	0,75
812-Bediener von Anlagen in der Metallerzeugung, -umformung und -veredlung	1,03	-	1,60	1,98	0,34
22-Akademische und verwandte Gesundheitsberufe	0,87	1,39	0,67	0,95	0,94
32-Assistenzberufe im Gesundheitswesen	0,85	1,25	0,90	1,09	0,82
322-Nicht akademische Krankenpflege- und Geburtshilfefachkräfte	0,86	1,32	0,98	1,16	0,82

Quelle: eigene Darstellung GCF

Im Hinblick auf Tätigkeitswechsel ist, wie schon erwähnt, nicht nur das Qualifikationsprofil, sondern auch die zukünftige Nachfrage nach Arbeitskräften bedeutend. [Abbildung 19](#) zeigt die Gewinner- und Verliererbranchen in der Niederlausitz von 2007–2017. Dabei fällt auf, dass die **Gesundheits- und Sozialbranche** in Spree-Neiße, Elbe-Elster und Oberspreewald-Lausitz den stärksten Zuwachs, in Cottbus den zweitstärksten (nach der Kategorie für sonstige wirtschaftliche Dienstleistungen) verzeichnet hat. Zugleich weist Cottbus einen deutlich höheren Anteil an Gesundheitsberufen auf (einschließlich der akademischen), als im bundesdeutschen Durchschnitt. In Dahme-Spreewald allerdings stagniert der Anteil der Gesundheitsberufe auf relativ niedrigem Niveau, was der Nähe zum medizinischen Zentrum Berlin geschuldet sein dürfte.

Spree-Neiße	Sv-Beschäftigte 2017		Veränderung 2007–2017	
	absolut	Branchenanteil in %	absolut	in %
Die größten Beschäftigungsgewinne				
Q Gesundheits- und Sozialwesen	4.806	13,1	865	21,9
I Gastgewerbe	1.642	4,5	482	41,6
F Baugewerbe	3.927	10,7	266	7,3
B Bergbau u. Gewinnung v. Steinen u. Erden	4.202	11,4	249	6,3
Die größten Beschäftigungsverluste				
E Wasserversorg. u. Entsorgungswirtschaft	427	1,2	-462	-52,0
P Erziehung und Unterricht	497	1,4	-227	-31,4
O Öffentl. Verwalt., Verteidigung; Soz. vers.	2.766	7,5	-136	-4,7
N Sonstige wirtschaftliche Dienstleist.	1.174	3,2	-133	-10,2
Gesamt	36.721	100,0	1.198	3,4

Cottbus	Sv-Beschäftigte 2017		Veränderung 2007–2017	
	absolut	Branchenanteil in %	absolut	in %
Die größten Beschäftigungsgewinne				
N Sonstige wirtschaftliche Dienstleist.	7.045	15,4	1.589	29,1
Q Gesundheits- und Sozialwesen	9.128	20,0	1.062	13,2
G Handel, Instandhaltung, Rep. von Kfz	6.084	13,3	685	12,7
M Freiberufl., wissenschaftl. u. techn. Dienstleistungen	2.629	5,8	634	31,8
Die größten Beschäftigungsverluste				
P Erziehung und Unterricht	2.343	5,1	-2.929	-55,6
B Bergbau u. Gewinnung v. Steinen u. Erden	*	-	-946	-99,3
C Verarbeitendes Gewerbe	1.207	2,6	-579	-32,4
D Energieversorgung	631	1,4	-392	-38,3
Gesamt	45.718	100,0	-918	-2,0

Dahme-Spreewald	Sv-Beschäftigte 2017		Veränderung 2007–2017	
	absolut	Branchenanteil in %	absolut	in %
Die größten Beschäftigungsgewinne				
H Verkehr und Lagerei	10.525	17,3	3.834	57,3
N Sonstige wirtschaftliche Dienstleist.	5.606	9,2	2.097	59,8
G Handel, Instandhaltung, Rep. von Kfz	8.633	14,2	1.148	15,3
C Verarbeitendes Gewerbe	6.966	11,4	1.065	18,0
Die größten Beschäftigungsverluste				
P Erziehung und Unterricht	1.328	2,2	-804	-37,7
E Wasserversorg. u. Entsorgungswirtschaft	702	1,2	-53	-7,0
R Kunst, Unterhaltung und Erholung	607	1,0	-39	-6,0
J Information und Kommunikation	489	0,8	-29	-5,6
Gesamt	60.902	100,0	12.050	24,7

Elbe-Elster	Sv-Beschäftigte 2017		Veränderung 2007–2017	
	absolut	Branchenanteil in %	absolut	in %
Die größten Beschäftigungsgewinne				
Q Gesundheits- und Sozialwesen	5.741	17,4	1.554	37,1
C Verarbeitendes Gewerbe	7.242	21,9	837	13,1
O Öffentl. Verwalt., Verteidigung; Soz. vers.	3.746	11,3	532	16,6
N Sonstige wirtschaftliche Dienstleist.	1.722	5,2	416	31,9
Die größten Beschäftigungsverluste				
A Land- und Forstwirtschaft, Fischerei	1.515	4,6	-376	-19,9
P Erziehung und Unterricht	465	1,4	-355	-43,3
S Erbringung v. sonstigen Dienstleistungen	669	2,0	-121	-15,3
B Bergbau u. Gewinnung v. Steinen u. Erden	59	0,2	-66	-52,8
Gesamt	33.060	100,0	3.267	11,0

Oberspreewald-Lausitz	Sv-Beschäftigte 2017		Veränderung 2007–2017	
	absolut	Branchenanteil in %	absolut	in %
Die größten Beschäftigungsgewinne				
Q Gesundheits- und Sozialwesen	6.147	15,0	2.317	60,5
H Verkehr und Lagerei	2.980	7,3	789	36,0
N Sonstige wirtschaftliche Dienstleist.	3.108	7,6	634	25,6
L Grundstücks- und Wohnungswesen	730	1,8	495	210,6
Die größten Beschäftigungsverluste				
E Wasserversorg. u. Entsorgungswirtschaft	805	2,0	-255	-24,1
C Verarbeitendes Gewerbe	7.659	18,7	-66	-0,9
M Freiberufl., wissenschaftl. u. techn. Dienstleistungen	1.281	3,1	-41	-3,1
P Erziehung und Unterricht	1.195	2,9	-26	-2,1
Gesamt	40.855	100,0	5.615	15,9

Abbildung 19: Beschäftigungsentwicklung Gewinner und Verliererbranchen

Quelle: Zukunftswerkstatt Lausitz 2019, S.32

Die größten Unterschiede in der branchenspezifischen Entwicklung zwischen dem Land Berlin und der Niederlausitz zeigen sich in der Betrachtung von informationstechnischen und Gesundheitsberufen ([Abbildung 20](#) und [Tabelle 5](#)). Es ist offensichtlich und nicht überraschend, dass Berlin einen IT-Schwerpunkt hat und sich dadurch auch deutlich vom gesamtdeutschen Durchschnitt abhebt. Bemerkenswert ist demgegenüber, dass in Cottbus der Anteil der Gesundheitsberufe sogar noch höher ist als in Berlin, wo er ebenso über dem deutschen Durchschnitt liegt. Vor diesem Hintergrund scheint der Masterplan Gesundheitsregion Berlin/Brandenburg für die Niederlausitz besonders vielversprechend¹⁰ – während es wenig erfolgsversprechend scheint, die Digitalbranche

¹⁰ In dieselbe Richtung gehen auch aktuelle Bestrebungen, in Cottbus ein Innovationszentrum Universitätsmedizin einzurichten.

in der Niederlausitz zu forcieren (Ressortübergreifende Steuerungsgruppe Berlin-Brandenburg, 2007).

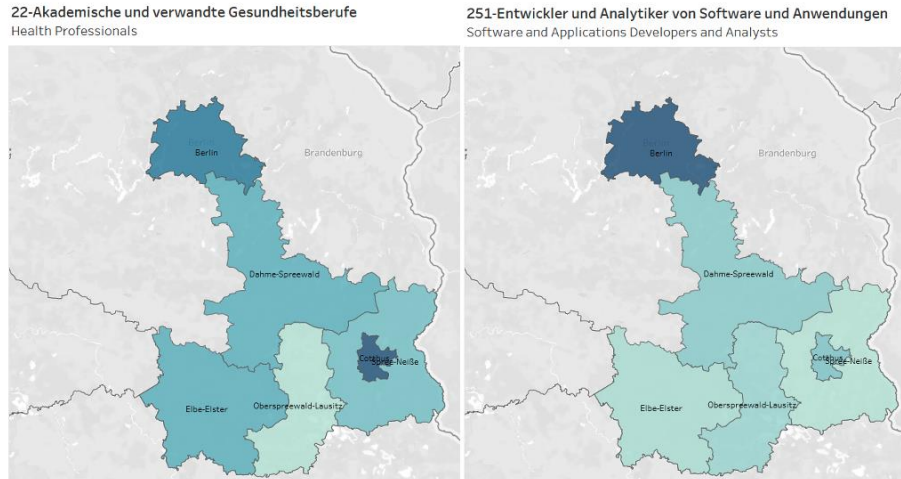


Abbildung 20: Gesundheit und IT Vergleich Niederlausitz und Berlin

Quelle: eigene Darstellung GCF, Shade Shutters

Tabelle 5: Beschäftigungsquotienten für IT- und Gesundheitsberufe

Beschäftigungsgruppe	Spree-Neiße	Cottbus	Oberspreewald Lausitz	Elbe Elster	Dahme Spreewald	Berlin
251-Entwickler und Analytiker von Software und Anwendungen	0,10	0,40	0,25	0,17	0,35	1,5
22-Akademische und verwandte Gesundheitsberufe	0,87	1,39	0,67	0,95	0,94	1,2

Quelle: eigene Darstellung GCF

Aus der vorliegenden Untersuchung ergibt sich, dass ein **Gesundheitscluster Niederlausitz möglich und erstrebenswert** ist, um den Strukturwandel im Rahmen des Kohleausstiegs erfolgreich zu gestalten. Doch der Versuch, in der Niederlausitz mit dem wissenschaftlich-wirtschaftlichen Ökosystem der Charité konkurrieren zu wollen, wäre aussichtslos. Deshalb kommt es in der Niederlausitz darauf an, komplementär zur nationalen und internationalen Ausstrahlung der Berliner Charité eine ergänzende gesundheitsorientierte Kompetenz und Infrastruktur zu entwickeln. Dabei wäre im nächsten Schritt vertiefend zu untersuchen, inwiefern eine an Prävention, Rehabilitation und systemischer Therapie orientierte Medizin die erforderliche Komplementarität herstellen und dadurch der Region zu neuem Aufschwung verhelfen könnte.

5. Fazit und Ausblick

In der vorliegenden Studie wurde szenariobasiert herausgearbeitet, wie der klimaneutrale Technologiemarkt 2045 für Deutschland, aber auch für die Regionen Berlin und Spree-Neiße aussehen kann. Die Ergebnisse machen noch einmal deutlich, welcher massive Umbau der Energiesysteme bis 2030 und 2045 nötig ist, und zeigt dabei gleichzeitig, dass sowohl die Bundesregierung als auch die betrachteten Regionen Berlin und Spree-Neiße bzw. die Planungsregion Lausitz-Spreewald mit einem guten Kompass in diese Richtung aufbrechen. Die hier neu vorgestellte Top-down-Regionalisierung von Klimaneutralitätsszenarien leistete dabei einen wichtigen Beitrag, um den Abgleich von regionalen Bottom-up-Plänen entsprechend ihrem Beitrag zu den nationalen Klimazielen zu ermöglichen, und legt damit die Grundlage, um nötigenfalls nachsteuern zu können.

Außerdem konnten die wesentlichen lokal identifizierten Technologietrends durch die Ergebnisse von Fraunhofer IEE weitestgehend bestätigt und so Hinweise für regionalspezifische Investitions- und Ausbaunotwendigkeiten verdichtet werden. Gleichzeitig wurde klar, dass die technischen Lösungen vor Ort im Detail deutlich variieren und sich dabei Unterschiede im Technologiemarkt von städtischen im Vergleich zu ländlichen Regionen abzeichnen. Diesen Unterschieden muss in der weiteren Umsetzung der Energiewende Rechnung getragen werden. So stellt sich beispielsweise bei der Implementierung des neu vorgeschlagenen Ziels 2025, 65 % der Heizungen erneuerbar zu betreiben, die Frage, wie diese Vorgabe regional konkret beantwortet wird. Für Berlin könnte dies v.a. bedeuten, dass Wärmenetze ausgebaut werden. Diese können in dicht besiedelten Gebieten mit hohen Wärmedichten besonders wirtschaftlich errichtet werden. Aber auch dezentral kann der Wärmebedarf bspw. über Luft-Wärmepumpen gedeckt werden. Für unsanierte Gebäude wäre als Übergangssystem ein WP-Hybridsystem einsetzbar, das bspw. über einen Gaskessel Heizspitzen im Winter ausgleicht, bis die Gebäudehülle evtl. zu einem späteren Zeitpunkt gedämmt wird und die WP dann die Heizlast zu jedem Zeitpunkt allein decken kann. Während in urbanen Gebieten effizientere erdgekoppelte WP schwieriger einsetzbar sind¹¹, ist das Potenzial für geothermische WP in ländlichen Gebieten wie in Spree-Neiße deutlich größer. Der Anteil an freistehenden Ein- und Zweifamilienhäusern ist in ländlichen Gebieten allgemein größer als in Städten. Hier ist häufig ausreichend Fläche für den potenziellen Einsatz einer Wärmepumpe verfügbar. Andererseits eignet sich der Einsatz eines Wärmenetzes meist nicht, denn die nachgefragten Wärmedichten sind hier gering. Auch im Verkehr werden grundsätzliche regionale Unterschiede sichtbar. Der infrastrukturelle Ausbau von flächendeckenden Ladepunkten für E-Pkw ist einfacher in dicht besiedelten urbanen Gebieten planbar und umsetzbar. Außerdem gibt es hier weitere Mobilitätskonzepte wie ein engmaschiges Bus-, Straßenbahn-, U-Bahnnetz oder auch Leih-Fahrräder, E-Roller und weitere öffentliche alternative Mobilitätsangebote, die in dieser Vielfältigkeit und Engmaschigkeit in ländlichen Gebieten nicht vorgehalten

¹¹ Aufgrund engerer Bebauung, meist schwieriger zugänglichen oder nicht vorhandenen Gärten und einem höheren Anteil an Mehrfamilienhäusern mit allgemein geringer Gartenfläche pro Einwohner:in.

werden können. Das bedeutet, dass der Umbau der Infrastruktur für Elektromobilität in ländlichen Gebieten einerseits schwieriger und andererseits der Bedarf an E-Pkw aufgrund fehlender Alternativen größer ist. Hinzu kommt, dass auch die täglich zurückgelegten Personenkilometer auf dem Land durchschnittlich größer sind als in Städten, was zu einem höheren Pro-Kopf-Bedarf an Strom für E-Pkw führt.

Erzeugungsseitig kann zusammenfassend festgestellt werden, dass Großstädte wie Berlin weiterhin auf Energieerzeugung aus umliegenden Regionen angewiesen sind und ihren eigenen Strombedarf nicht selbst decken können. Tendenziell kann daher vermutet werden, dass der Umbau des Stromerzeugungssystems in Berlin weniger sichtbar und damit mit weniger Akzeptanzproblemen verbunden ist. Gleichzeitig ist der Energiebedarf in städtischen Ballungsgebieten absolut betrachtet besonders hoch. Je nach Sektor und Anwendungsfällen kann dies zu Hürden oder zu Vorteilen führen (vgl. Verkehrs- und Wärmebsp.). Dies bedeutet, dass auf der Anwendungsseite der Umbau des Energiesystems sehr differenziert betrachtet werden muss, wenn man Aussagen über Auswirkung und Umstellungsschwierigkeiten des Systems auf die Bevölkerung treffen möchte. In ländlichen Gebieten wie in Spree-Neiße ist der Umbau des Energieerzeugungssystems sehr viel deutlicher für die Bevölkerung spürbar, da Erneuerbare Energien, aufgrund der Flächenverfügbarkeit und des Potenzials in der Region, deutlich stärker ausgebaut werden als in Städten. Größere Umbauten und Umstrukturierungen und damit einhergehende Auswirkungen auf die Bevölkerung der Region können potenziell mit Konflikten und stärkeren gesellschaftlichen Aushandlungsbedarfen verbunden sein. Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass ländliche Regionen besonders großes Potenzial für Erneuerbare Energien bieten, aber die damit einhergehenden gesellschaftlichen Herausforderungen besondere Beachtung finden müssen, indem beispielsweise darauf geachtet wird, dass die regionale Energiewende partizipativ umgesetzt wird und damit verbundene Wertschöpfungspotenziale weitestgehend gehoben werden.

Die beschäftigungspolitischen Auswirkungen der hier skizzierten Energiewende für die Niederlausitz könnten sich wie folgt auswirken. Während die Herausforderung des Kohleausstiegs für die Region bereits gut erforscht scheint, bedarf die wissenschaftliche Analyse vielversprechender Zukunftsoptionen für die nachhaltige Entwicklung der regionalen Wirtschaft und des Arbeitsmarktes noch weiterer Forschung und Konkretisierung. In dieser Studie wurde herausgearbeitet, dass das Beschäftigungspotenzial der Erzeugung Erneuerbarer Energien (Wind, PV, Wasserstoff) ggf. nicht ausreichend ist, um die durch den Kohleausstieg wegfallenden Stellen zu ersetzen oder gar Zuzug in die Region anzureizen. Im Gegenzug wurde jedoch die Perspektive eröffnet, dass der Niederlausitzer Strukturwandel nicht rein durch einen Ersatz konventioneller durch erneuerbare Energiejobs bewerkstelligt werden muss, sondern über diesen Tellerrand hinaus auch andere Branchen betrachtet werden sollten. Da die Gesundheits- und Sozialbranche in den letzten Jahren Aufwind in der Region Niederlausitz erfahren hat, sollte die Gesundheitswirtschaft ggf. im weiteren Verlauf des Strukturwandels sowie beim Design von Umschulungsprogrammen stärker berücksichtigt werden. Insbesondere sollten die hier erörterten Thesen jedoch weiter wissenschaftlich vertieft werden.

Insgesamt kann die stärkere Betrachtung der regionalen technischen und wirtschaftlichen Transformationsherausforderungen als sinnvoll erachtet werden. Im weiteren Verlauf sollten diese noch stärker wissenschaftlich verzahnt und analysiert werden. Denn auch wenn Robert Habeck in der Eröffnungsbilanz die wirtschaftlichen Chancen der Erneuerbaren Energien insbesondere für dezentrale Wertschöpfung herausstellt (vgl. Eröffnungsbilanz Habeck, 2022, S. 11), macht diese Studie deutlich, dass diese Chancen regional unterschiedlich ausgeprägt sind und nicht automatisch gehoben werden können. Insbesondere die Herausforderungen des Strukturwandels in der Lausitz dürfen im Zuge der nötigen Beschleunigungen der Energiewende (Kohleausstieg, EE-Ausbau, ...) nicht aus dem Blick geraten. Hier gilt es, passgenaue Berufs- und Umschulungs- bzw. Weiterbildungsangebote zu entwickeln.

6. Anhang

Tabelle 6: Datengrundlagen zur Modellierung der Stromerzeugungs- und Stromverbrauchsarten

Stromerzeugung- bzw. Stromverbrauchsart	Stromerzeugung	Stromverbrauch	Datengrundlage	Annahmen	Methode der Zeitreihengenerierung
Windenergie	x		Wettermodelldaten 2012, REA6 des Deutschen Wetterdienstes, Standorte und Parameter der Bestandsanlagen aus LIS-A, Flächenausweisungen der Regionalplanung	Nabenhöhen; Rotordurchmesser; Leistungskennlinien	Transformation der Wettermodelldaten mittels physikalischen Modellen
PV-Aufdachanlagen	x		Satellitendaten Meteosat II des Jahres 2012; repräsentative Verteilungen von Ausrichtungen und Neigungen	Prozentsatz des geeigneten Anteils der Dachflächen	Transformation der Wettermodelldaten mittels physikalischen Modellen; logistische Wachstumsfunktion ;
PV-Freiflächenanlagen	x		Satellitendaten Meteosat II des Jahres 2012, Temperaturdaten aus REA6 (s.o.)	Randstreifengröße zu Autobahnen und Schienenwegen	Transformation der Wettermodelldaten mittels physikalischen Modellen; Wechselrichtermodell
Kraftwerke ohne KWK	x		BNetzA-Kraftwerksliste inkl. Stilllegungen und Neubauten; modellendogener Kraftwerkszubau	Strompreisbestandteile, CO ₂ -Preis	Vorgelagerte Ausbauplanung, um Investitionen zu bestimmen, nachgelagerte optimierte Strommarktteilnahme
Heizkraftwerke	x		BNetzA-Kraftwerksliste inkl. Stilllegungen und Neubauten; modellendogener Kraftwerkszubau ;		

			Wärmebedarfsze itreihen		
PV- Batteriesysteme	x	x	Einwohnerzahle n, PV-Szenarien	Strompreisbest andteile	Skalierung mittels hessischen Einwohnerzahlen; Eigenverbrauchsopt imierung; Optimierte Strommarktteilnah me
Großbatterien	x	x	Modellendogene r Kraftwerkszubau		Vorgelagerte Ausbauplanung, um Investitionen zu bestimmen, nachgelagerte optimierte Strommarktteilnah me
Wasserkraftwer ke	x	x	BNetzA- Kraftwerksliste inkl. Neubauten		Optimierte Strommarktteilnah me
Pumpspeicherkr aftwerke	x	x			
Müllheizkraftwe rke & Biomasse	x		BNetzA- Kraftwerksliste inkl. Stilllegungen und Neubauten; Wärmebedarfsze itreihen		
Stromimporte; Stromexporte	x	x	Kuppelkapazitä ten zum Ausland		Differenzbildung von Erzeugung und Verbrauch ohne Netzrestriktion (für Hessen); Optimierte Strommarktteilnah me mit Netzrestriktionen (für Deutschland)
Herkömmlicher Stromverbrauch der Haushalte		x	ENTSO-E- Zeitreihe zum deutschen Stromverbrauch; Nettostromverbr äuche der statistischen Landesämter; Standardlastprof ile; Einwohnerzahle n		Skalierung mittels hessischen Einwohnerzahlen
Herkömmlicher Stromverbrauch der Industrie		x	ENTSO-E- Zeitreihe zum deutschen Stromverbrauch;		Restmenge aus Gesamtlast minus Haushalte, GHD und Landwirtschaft

			Nettostromverbräuche der statistischen Landesämter		
Herkömmlicher Stromverbrauch von GHD		x	ENTSO-E-Zeitreihe zum deutschen Stromverbrauch; Nettostromverbräuche der statistischen Landesämter; Standardlastprofile; Beschäftigtenzahlen		Skalierung mittels hessischen Einwohnerzahlen
Herkömmlicher Stromverbrauch der Landwirtschaft		x	ENTSO-E-Zeitreihe zum deutschen Stromverbrauch; Nettostromverbräuche der statistischen Landesämter; Standardlastprofile; Landwirtschaftlich genutzte Flächen (CORINE)		Skalierung; ; Verteilung auf landwirtschaftlich genutzte Flächen
zusätzliche Rechenzentren		x	diverse Publikationen		Konstanter Verbrauch
Wasserstoff		x		Strompreis und Strompreisbestandteile; Wasserstoffnetz frühzeitig vorhanden; Markthochlauf netzentlastend in Norddeutschland	Vorgelagerte Ausbauplanung, um Investitionen zu bestimmen, nachgelagerte optimierte Strommarktteilnahme
ÖPNV		x	ENTSO-E-Zeitreihe zum deutschen Stromverbrauch; Nettostromverbräuche der statistischen Landesämter; Streckennetzlängen		Restmenge aus Gesamtlast minus Haushalte, GHD und Landwirtschaft; Skalierung auf Werte der Regionaldatenbank; Skalierung mittels hessischen Einwohnerzahlen

Elektro-Pkw		x	Einwohnerzahlen		Skalierung mittels hessischen Einwohnerzahlen
Elektro-Lkw		x			Bundesautobahnprofil
Klimatisierung		x	Kältebedarfszeiten im Gewerbe		Skalierung mittels hessischen Einwohnerzahlen
Großwärmepumpen		x	Regionale Wärmebedarfszeitreihen; Wetterdaten; Standorte von KWK-Kraftwerken		Vorgelagerte Ausbauplanung, um Investitionen zu bestimmen, nachgelagerte optimierte Strommarktteilnahme
Elektrodenkessel		x			
Dezentrale Luftwärmepumpen		x	Regionale Wärmebedarfszeitreihen; Wetterdaten		Skalierung mittels hessischen Einwohnerzahlen; Vorgelagerte Ausbauplanung, um Investitionen zu bestimmen, nachgelagerte optimierte Strommarktteilnahme
Dezentrale Erdwärmepumpen		x			

Quelle: Fraunhofer IEE

Liste der Abbildungen

Abbildung 1: schematische Darstellung des SCOPE-Path Modells	3
Abbildung 2: Schematische Darstellung der sektorübergreifenden Ausbauplanung SCOPE-Path	3
Abbildung 3: Entwicklung der Strombilanz des deutschen Energiesystems in den Jahren 2030 und 2045 basierend auf den Szenarioberechnungen mit SCOPE-Path. Aufgeteilt nach Stromerzeugern (positive Werte) und -verbrauchern (negative Werte).....	9
Abbildung 4: Entwicklung der installierten Leistungen der wesentlichen Stromerzeuger und Stromwandler des zukünftigen deutschen Energiesystems in den Jahren 2030 und 2045	10
Abbildung 5: Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland	13
Abbildung 6: Entwicklung der Strombilanz für die Region Berlin in den Szenariojahren 2030 und 2045. Stromverbrauch (negative Werte) und -erzeugung (positive Werte), aufgeteilt nach den wichtigsten zukünftigen Energieerzeugungstechnologien und Verbrauchergruppen	20
Abbildung 7: Entwicklung der installierten Leistungen der wesentlichen zukünftigen Stromerzeuger in der Region Berlin in den Jahren 2030 und 2045	21
Abbildung 8: Stromversorgung im Szenario KnB 2050 im Vergleich zu 2020	23
Abbildung 9: Stromverbrauch im Szenario KnB 2050 im Vergleich zu 2020	23
Abbildung 10: Entwicklung der Strombilanz für die Region Spree-Neiße in den Szenariojahren 2030 und 2045. Stromverbrauch (negative Werte) und - erzeugung (positive Werte), aufgeteilt nach den wichtigsten zukünftigen Energieerzeugungstechnologien und Verbrauchergruppen	27
Abbildung 11: Entwicklung der installierten Leistungen der wesentlichen zukünftigen Stromerzeuger in der Region Spree-Neiße in den Jahren 2030 und 2045	28
Abbildung 12: Entwicklung des Endenergiebedarfes Strom im Klimaschutzszenario	29
Abbildung 13: Vergleich des Stromverbrauchs in Berlin und Spree-Neiße in den Jahren 2030 (links) und 2045 (rechts).....	32
Abbildung 14: Vergleich der Stromerzeugung in Berlin und Spree-Neiße in den Jahren 2030 (links) und 2045 (rechts).....	33
Abbildung 15: Anteile SV-Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen	37
Abbildung 16: Regionale Spezialisierung Bergbau	38
Abbildung 17: Regionale Spezialisierung Metallarbeit, Mechanik und Maschinen	38
Abbildung 18: Regionale Spezialisierung Gesundheit	39
Abbildung 19: Beschäftigungsentwicklung Gewinner und Verliererbranchen	41
Abbildung 20: Gesundheit und IT Vergleich Niederlausitz und Berlin	42

Liste der Tabellen

Tabelle 1: : potenzielle Technologieprofile Strom 2030 und 2045 national - Ergebnisse Fraunhofer IEE und Pläne BMWK im Vergleich	15
Tabelle 2: potenzielle Technologieprofile Strom 2045 und 2050 Berlin - Ergebnisse Fraunhofer IEE und IÖW im Vergleich	24
Tabelle 3: potenzielle Technologieprofile Strom 2045 und 2050 Spree-Neiße/Lausitz- Spreewald - Ergebnisse Fraunhofer IEE und Regionales Energiekonzept im Vergleich	30
Tabelle 4: Beschäftigungsquotienten ausgewählter Gruppen (Die Quotienten geben an, wie viel mal größer bzw. Kleiner der Anteil einer Gruppe in der jeweiligen Region im Vergleich zum gesamtdeutschen Durchschnitt ist, und sind somit eine Maßzahl für die regionale strukturelle Bedeutung dieser Berufsgruppe im Arbeitsmarkt)	39
Tabelle 5: Beschäftigungsquotienten für IT- und Gesundheitsberufe	42
Tabelle 6: Datengrundlagen zur Modellierung der Stromerzeugungs- und Stromverbrauchsarten	46

Literaturverzeichnis

Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, 2022: Statistischer Bericht [online] https://download.statistik-berlin-brandenburg.de/88e6a518cfcc3301/32d9510b78c0/SB_A06-10-00_2020j01_BB.xlsx (abgerufen am 07.04.2022)

Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, 2020: Bevölkerungsstand [online] <https://download.statistik-berlin-brandenburg.de/46cba9cbfb877b0e/02bceab1193b/bevoelkerungsstand-zeitreihen-2020.xlsx> (abgerufen am 07.04.2022)

Ariadne, 2021: Ariadne-Report: Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - Szenarien und Pfade im Modellvergleich [online] <https://ariadneprojekt.de/publikation/deutschland-auf-dem-weg-zur-klimaneutralitat-2045-szenarienreport/> (abgerufen am 07.04.2022)

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), 2022: Kerninhalte der Referentenentwürfe des BMWK zur Novelle des EEG, WindSeeG und zum EEG-Entlastungsgesetz [online] https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/Kerninhalte_EEG_WindSeeG.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (abgerufen am 07.04.2022)

Bundesregierung, 2011: Bundesregierung beschließt Ausstieg aus der Kernkraft bis 2022 [online] <https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/bundesregierung-beschliesst-ausstieg-aus-der-kernkraft-bis-2022-457246>. (abgerufen am 09.11.2021)

Deutsches Biomasseforschungszentrum, 2020: Bioökonomieatlas [online] https://www.dbfz.de/fileadmin/morebio/Download-Tabellen/Abb.3_Braunkohlefoerderung_und_Beschaeftigte_im_Braunkohlebergbau_1958-2019.xlsx (abgerufen am 07.04.2022)

ENTSO-E, 2015: 2015 – Scenario Outlook & Adequacy Forecast, Brüssel [online] https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/sdc-documents/SOAF/150630_SOAF_2015_publication_wcover.pdf (abgerufen am 07.04.2022)

ESRa Projekt, 2021:Produkt 3.1, Status Quo der energiewenderelevanten Wirtschafts- und Beschäftigungsprofile [online] https://esra-projekt.de/sites/default/files/2021-05/esra_produkt_3.1_final_c.pdf (abgerufen am 07.04.2022)

ESRa Projekt, 2022: Produkte AP1, Einstellungen und Haltungen [online] <https://esra-projekt.de/einstellungen-haltungen> (abgerufen am 07.04.2022)

Gallie, D., 1996 S. 447-473: New Technology and the Class Structure: The Blue-Collar/White-Collar Divide Revisited. The British Journal of Sociology, 47(3)

Grundgesetz, Art. 72 Abs. 2 [online] https://www.gesetze-im-internet.de/gg/art_72.html (abgerufen am 07.04.2022)

Hirschl, Bernd; Schwarz, Uwe; Weiß, Julika; Hirschberg, Raoul; Torliene, Lukas, 2021: Berlin Paris-konform machen. Eine Aktualisierung der Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“ mit Blick auf die Anforderungen aus dem UN-Abkommen von Paris; Berlin [online] <https://www.ioew.de/publikation/berlin-paris-konform-machen> (abgerufen am 07.04.2022)

Institut für Arbeitsmarkt und Berufsforschung (IAB), 2018: Die Lausitz - eine Region im Wandel [online] https://doku.iab.de/regional/BB/2018/regional_bb_0318.pdf (abgerufen am 07.04.2022)

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), 2017: Mehrwert einer regionalen Energiewende im Lausitzer und rheinischen Revier [online] https://green-planet-energy.de/fileadmin/docs/publikationen/Studien/Studie_GPE-IOeW_Jobs_BK_u._EE_final.pdf (abgerufen am 07.04.2022)

International Energy Agency (iea), 2021: net zero by 2050 - a roadmap for the global energy sector [online] <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> (abgerufen am 24.03.2022)

Koalitionsvertrag, 2021: Mehr Fortschritt wagen SPD, Grüne, FDP [online] <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1990812/04221173eef9a6720059cc353d759a2b/2021-12-10-koav2021-data.pdf?download=1> (abgerufen am 07.04.2022)

Landkreis Spree-Neiße, Bürgerservice, 2020: Bevölkerungsentwicklung [online] <https://www.lkspn.de/buergerservice/statistik/bevoelkerungsentwicklung.html> (abgerufen am 07.04.2022)

Referent:innen-Entwurf des BMWK, 2022: Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der Erneuerbaren Energien [online] https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/referentenentwurf-erneuerbaren-energien-und-weiteren-massnahmen-im-stromsektor.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (abgerufen am 07.04.2022)

Referent:innen-Entwurf des BMWK, 2020: Änderungsentwurf Windenergie-auf-See-Gesetz [online] https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/entwurf-eines-gesetzes-zur-aenderung-...und-anderer-vorschriften.pdf%3F__blob%3DpublicationFile%26v%3D8 (abgerufen am 07.04.2022)

Regionale Planungsgemeinschaft Lausitz Spreewald, 2021: Fortschreibung regionales Energiekonzept [online] <https://www.region-lausitz-spreewald.de/de/projekte/regionales-energiemanagement/regionales-energiekonzept.html> (abgerufen am 07.04.2022)

Ressortübergreifende Steuerungsgruppe der Länder Berlin-Brandenburg, 2007: Masterplan Gesundheitsregion Berlin-Brandenburg [online] http://www.alpheios.de/fileadmin/dateien/Masterplan_Endfassung.pdf (abgerufen am 07.04.2022)

Weichenhain, Uwe; Lange, Simon; Koolen, Jan; Benz, Anja; Hartmann, Sandra; Heilert, Daniela; Henninger, Sandra; Kallenbach, Tom, 2020: Potenzial der Wasserstoff- und Brennstoffzellenindustrie in Baden-Württemberg [online] https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/6_Wirtschaft/Ressourceneffizienz_und_Umwelttechnik/Wasserstoff/200724-Potentialstudie-H2-Baden-Wuerttemberg-bf.pdf (abgerufen am 07.04.2022)

Zukunftswerkstatt Lausitz, 2020: Wasserstoffwirtschaft in der Lausitz [online] https://zw-lausitz.de/fileadmin/user_upload/01-content/03-zukunftswerkstatt/02-downloads/studie-wasserstoffwirtschaft-in-der-lausitz.pdf (abgerufen am 07.04.2022)

Zukunftswerkstatt Lausitz, 2019: Standortpotentiale Lausitz S.111 [online] https://zw-lausitz.de/fileadmin/user_upload/01-content/03-zukunftswerkstatt/02-downloads/studie-standortpotenziale-lausitz.pdf (abgerufen am 07.04.2022)